

Дж. Уокер

Физический Фейерверк



Издательство „Мир“

Jearl Walker

The flying circus of physics WITH ANSWERS

John Wiley & Sons, Inc.

NEW YORK

LONDON

SYDNEY

TORONTO



Дж. Уокер

ФИЗИЧЕСКИЙ ФЕЙЕРВЕРК

*(Вопросы и ответы
по физике)*

Второе издание

Перевод с английского
А. С. Доброславского

под редакцией
канд. физ.-мат. наук
И. Ш. Слободецкого



Москва
„Мир“
1989

ББК 22.3
У62
УДК 55 (0.062)

Уокер Дж.

У62 Физический фейерверк: — 2-е изд. Пер. с англ./Под ред.
И. Ш. Слободецкого.— М.: Мир, 1988.—298 с., ил.

ISBN 5-03-001232-X

Книга американского ученого Джирла Уокера, принадлежащая к весьма редкому классу задачников неформального типа, включает более 600 ярких и оригинальных задач-вопросов из различных разделов физики и ответы на них. Написанная с большим юмором, прекрасно иллюстрированная, эта книга развивает любознательность, побуждает глубже и внимательнее присматриваться к происходящим вокруг нас физическим явлениям и процессам.

Адресована всем, кто пытается познать окружающий мир; особенно полезна школьникам-старшеклассникам, студентам физических и технических вузов, преподавателям физики.

у 1704010000—121 59—88, ч. 1
041(01)—89

ББК 22.3

*Редакция научно-популярной
и научно-фантастической литературы*

ISBN 5-03-001232-X (русск.)

ISBN 0-471-02984-X (англ.)

© 1975, 1977 by John Wiley & Sons, Inc.

All Rights Reserved. Authorized translation from English language edition published by John Wiley & Sons, Inc.

© Перевод на русский язык,
«Мир», 1979, 1989.

Утверждение о том, что физика составляет одну из основ современного научно-технического прогресса, в наши дни широко известно. Об этом пишут в научно-популярных журналах и в газетах, говорят по радио, на телевидении. Этим в значительной степени определяется интерес к физическим наукам у большей части нашей молодежи. А то, что физика может быть не только полезной, но и занимательной наукой, показали многочисленные издания книг «Занимательная физика» популяризатора науки Я. И. Перельмана, знакомых нескольким поколениям советских людей. Вместе с тем физика не просто полезна и занимательна, она сопровождает человека на каждом шагу в его повседневной жизни. И хотя об этом многие догадываются, в физической литературе данное обстоятельство не нашло должного отражения. Книга американского физика Дж. Уокера «Физический фейерверк» в значительной степени восполняет существующий пробел. Она написана в форме задач-вопросов с ответами. На некоторые вопросы не сразу ответит и специалист-физик, так как они требуют серьезного исследования. Это объясняется тем, что автор широко использовал в своей книге выдержки из работ различных ученых, посвященных решению конкретных научных проблем. Однако многие вопросы взяты непосредственно из жизни, и для их решения необходимы лишь элементарные знания физики и сообразительность. Такое разнообразие задач по характеру и по трудности — а все они сформулированы в увлекательной остроумной форме, — несомненно, вызовет к книге интерес со стороны самых широких кругов читателей: школьников, увлекающихся физикой, студентов технических и физических вузов, а также научных работников — специалистов-физиков.

Выпуск книги Дж. Уокера безусловно полезное и нужное дело, которое будет способствовать пропаганде физических знаний среди советских читателей, в первую очередь среди молодежи.

Акад. И. К. Кикоин

Предисловие редактора перевода

Есть у меня шестерка слуг.
Проворных, удалых.
И все, что вижу я вокруг,—
Все знаю я от них.
Они по знаку моему
Являются в нужде.
Зовут их: Как и Почему,
Кто, Что, Когда и Где.

Р. Киплинг (перевод С. Я. Маршака)

Книга, которую вы, читатель, держите в руках, не задачник, по крайней мере в привычном понимании этого слова. В задачниках обычно говорится о точечных массах и зарядах, невесомых нитях и стержнях, идеальных источниках и пружинах. В этой же книге речь идет о реальных телах, о том, что мы видим вокруг, хотя часто и не замечаем,— о журчащем ручье, плывущей по небу туче, о радуге и тумане, о шаровой молнии, полете бумеранга и устойчивости велосипеда.

Решение обычной задачи начинается с того, что нужно вспомнить законы, описывающие явление, о котором идет речь, и решается обычная задача до конца — до ответа, который можно проверить, заглянув в конец книги. В данной же книге начинать нужно с другого — с постановки самой задачи. В вопросах, заданных автором, она только намечена, и, прежде чем записать нужные уравнения, необходимо разобраться, что существенно в данном случае, а какими факторами на первых порах можно пренебречь, прикинуть порядок величин, о которых идет речь, найти в справочниках необходимые данные и константы. Краткие ответы, приведенные в конце книги, не дают окончательного решения — они лишь уточняют постановку задачи, указывают возможный механизм того или иного явления. Впрочем, нередко сам автор сознается, что не знает ответа на поставленный вопрос и не встречал его в литературе, или говорит, что известное ему объяснение только одно из возможных (так что читатель может стать первооткрывателем!). Цель автора — спровоцировать читателя на размышления о физических явлениях, его окружающих. В этом отношении данная книга похожа на популярный у нас сборник задач академика П. Л. Капицы.

Многие из вопросов, по-видимому, напомнят читателю детство. Именно в детстве мы задаем себе и старшим многочисленные «почему»: почему звенит струна? почему висит Луна? почему скользят коньки? Став взрослыми, мы начинаем интересоваться кварками и квазарами, отмахиваясь от вопросов наших детей, ответы на которые кажутся нам очевидными. А так ли они очевидны? Полистайте эту книгу. На многие ли «почему» вы в состоянии ответить? И уверены ли

вы, что ваш ответ правилен? Вполне возможно, что, задумавшись об «очевидном», вы захотите провести настоящее исследование. В качестве примера можно сослаться на проблему электризации трением. Мало кто задумывался над этим вопросом, считая его давно решенным. В книге же он появился потому, что автор, просматривая научные журналы, наткнулся на научную статью, посвященную этому вопросу [1290]. Впрочем, есть в книге и вопросы, по поводу которых до сих пор ведутся дискуссии в научных журналах: это, в частности, природа шаровой молнии, эффекты, связанные с полярными сияниями, и т. д.

Хотя многие вопросы взяты из детства, звучат они «повзрослому», так как поставлены физиком. Это означает, что нужно не просто «на пальцах» объяснить, почему, например, жужжит пчела, но и выяснить, чем определяется частота этого жужжания и как ее рассчитать, иначе говоря, оценить величину того или иного эффекта и подкрепить объяснение расчетом или экспериментом.

Несколько слов о структуре книги. В сказке Льюиса Керролла «Алиса в Зазеркалье» есть рассказ о морже, который ведет с устрицами беседы о самых разных вещах. Главы этой книги похожи на беседы ученого моржа. В них обсуждаются вопросы о том, как тормозит автомобиль и почему свистит свисток, рассматриваются природа полярных сияний и проблемы распространения радиоволн... Каждая из глав представляет один из традиционных разделов физики — акустику, механику, молекулярную физику, аэро- и гидродинамику, оптику, электричество. Но разбиение это весьма условно: порой трудно отнести вопрос к какому-то конкретному разделу физики, так как при поисках ответа на него необходимо привлекать и механику, и электродинамику, увидеть аналогии в оптических, механических, акустических и тепловых явлениях. Например, акустическая задача о распространении звука в воде — это одновременно задача и о движении в воде пузырьков разного диаметра, и о тепловых процессах, которые происходят при деформации пузырьков. Нетрудно также найти ее связь с оптикой — с рассеянием света туманом.

Важная часть книги — библиография, включающая более 1600 названий. Это статьи и книги, в которых автор обнаружил тот или иной вопрос и в которых обсуждаются различные стороны рассматриваемого явления. (Ссылки на библиографические источники приводятся после каждой задачи; буквой *d* помечены ссылки на дополнительную литературу.) Статьи позволяют узнать, что известно о данном явлении в настоящее время, сравнить собственное решение с теми, что предложены авторами работ, и увидеть вопросы, пока еще не получившие ответа. Книжки и статьи эти разные: популярные, научно-популярные и строго научные. В зависимости от своей подготовки читатель может найти среди них те, что будут ему доступны и понятны. Большинство журналов, приведенных в списке литературы, имеется в крупных библиотеках нашей страны, и их можно заказать по межбиблиотечному абонементу.

К сожалению, на русский язык из огромного списка литературы переведено только около 60 книг и статей. Поэтому мы попытались дополнить список книгами и журналами, доступными советскому читателю. При этом предпочтение отдавалось материалам, доступным читателю со средним образованием, так как для специалистов найти нужные ссылки не составляет большого труда. Кроме того, мы старались указать именно те статьи, в которых не только качественно объясняется то или иное явление, но и приводится расчет, дается численная оценка эффекта.

Пусть вас не огорчает, что тот или иной вопрос кем-то исследован. Во-первых, если вы не знаете на него ответа, то поиск его будет вашим собственным исследованием, которое принесет вам разочарование, сомнения, а возможно, и радость открытия. И во-вторых, помните, что любой вопрос, с которым вы встретитесь в этой книге или, оглянувшись вокруг, придумаете сами, исследован не до конца, и вам, безусловно, найдется, над чем подумать и потрудиться. Что же касается литературы, то ведь и физики-профессионалы пользуются чужими результатами и редко начинают работу на пустом месте.

Кому интересна эта книга? Прежде всего старшекласникам и учителям: многие из предложенных в книге задач представляют собой прекрасную тему для занятий физического кружка или первого самостоятельного исследования. В качестве примера можно сослаться на статьи, опубликованные в журнале «Квант», которые написаны школьниками [71д, 104д] и посвящены их собственным опытам с капиллярными волнами в струе и наблюдениям над каплями, скачущими по горячей поверхности.

Многие задачи в этой книге будут интересны также студентам и преподавателям вузов. Одни из них могут стать темой первой самостоятельной научной работы, первой публикации в научном журнале, другие подскажут красивую иллюстрацию действия того или иного закона, которой можно воспользоваться на лекции.

Без сомнения, книга доставит удовольствие и инженерам, и физикам, еще не совсем забывшим свое детство и способным не только задумываться над проблемами гравитационных волн и высокотемпературной сверхпроводимости, но и поразмыслить о более «земных» вещах — радуге, росе, приливах или игрушечных волчках.

Элизабет

Все вопросы в этой книге заданы скорее в шутку, и я совсем не намеревался вовлечь вас в серьезные научные размышления. Ответить на одни из них вам будет довольно легко. Другие же невероятно сложны, и взрослые люди зарабатывают себе на жизнь, пытаясь разрешить их. Однако даже самые трудные из этих вопросов все равно предназначены для забавы. Для меня неважно, сколько из этих задач вам удастся решить, — я буду рад, если вы просто задумаетесь над ними.

Прежде всего мне хотелось бы показать, что физика не ограничивается стенами лабораторий. Физика и физические задачи повсюду существуют в том мире, в котором мы живем, работаем, любим, умираем. И я хочу надеяться, что книга увлечет вас и вы сможете увидеть вспышки многокрасочного физического фейерверка в вашей повседневной жизни. Если отныне вы станете думать о физике, когда вам придется готовить обед, лететь в самолете или просто валяться на траве где-нибудь у ручья, тогда я смогу считать, что моя работа не напрасна. Мне будет очень приятно получить от вас отзывы об этой книге вместе с любыми дополнениями и исправлениями к ней (мой адрес: физический факультет Кливлендского университета, Кливленд, штат Огайо, 44115). И еще раз прошу — не относитесь ко всему этому слишком серьезно. Пусть эта книга будет для вас приятным и интересным развлечением.

Джирл Уокер

Дом моей бабушки, Алидо, Техас, 1977

Благодарности

Я ни в коем случае не хотел бы создавать впечатление, будто эта книга написана мной в одиночку. Очень многие давали советы, помогали, спорили, критиковали, поддерживали меня — вообще относились с пониманием. Я писал эту книгу будучи студентом-дипломником Мэрилендского университета и очень признателен Говарду Ластеру и Гарри Кримельмейеру за то, что они поддержали студента, одержимого столь сумасбродной идеей. Дик Берг, тоже из Мэрилендского университета, часами обсуждал со мной задачи и внес немало свежих мыслей. Шерман Поултни не только предложил мне несколько хороших задач, но и ободрял меня, когда мне приходилось ради этой книги жертвовать своей дипломной работой. Моя жена Элизабет перепечатала и отредактировала рукопись. Арт Уэст, в то время тоже дипломник, дал немало ценных рекомендаций при подготовке окончательного варианта книги. Особенно многим я обязан Джоанне Муррей, которая, продираясь сквозь дебри моего английского, читала и редактировала не один вариант рукописи. Я также благодарю Дона Денека, Эдвина Тэйлора, Джорджа Арфкена, Ральфа Люэллина и А. А. Страссенбурга, которые внимательно просмотрели рукопись и сделали много очень полезных замечаний.

Джирл Уокер

1

Прячься под подушку!

Слышишь ли во сне?

Кто-то там крадется в гулкой тишине!



Вибрация трение резонанс

1.1. Скрипящий мел. Почему так ужасно скрипит мел, если мы неправильно держим его, когда пишем на доске? Как влияет на скрип положение мела относительно доски и чем определяется частота издаваемого им звука?

Почему скрипят двери и почему визжат шины автомобиля, когда он резко трогается с места?

1—3; 159; 1д, с. 79—85; 2д, 115д.

Резонанс вибрация трение

1.2. «Поющий бокал». Почему винный бокал «поет», если провести мокрым пальцем вдоль его края? Что именно вызывает звучание бокала и почему палец при этом должен быть влажным и не масляным? Что определяет частоту звука? Каковы колебания кромки бокала: поперечные или продольные? Наконец, почему пучности (максимумы) колебаний поверхности вина в бокале смещены вдоль кромки бокала на 45° от точки, в которой палец касается кромки?

124, с. 154; 159; 4д, с. 103—108.

Связанные колебания

1.3. Вибрация барабана. Если ударить с одной стороны по барабану, то колебаться,

хотя и не одновременно, будут обе его мембраны. Очевидно, энергия колебаний периодически переходит от одной мембраны к другой, и они поочередно почти перестают колебаться. Почему это происходит? Как вы думаете, согласованно ли колеблются мембраны? Чем определяется частота перехода энергии колебаний от одной мембраны к другой?

124, с. 149; 126, с. 474; 170; 5д, с. 407—410; 6д, с. 229—238; 7д, с. 73—76, 119—123.

Гармоническое движение

1.4. Басовые частоты на грампластинке. Если я полностью убираю громкость на проигрывателе и прислушиваюсь к звуку, издаваемому непосредственно иглой, то я хорошо слышу высокие частоты, присутствующие в записанной на пластинке музыке, но почти не слышу низких. Усилитель сконструирован с таким расчетом, что низкие частоты он усиливает гораздо больше, чем высокие. Какие практические соображения заставляют уменьшать уровень низких частот при записи на граммофонные пластинки? (Почему игла плохо излучает низкие частоты? — *Ред.*)

143; 8д, с. 738—742.

Колебания деформация сдвига

1.5. «Поющий» песок. Кое-где в мире, например на некоторых английских пляжах, встречается песок, который

издает под ногами свистящий звук. Скрип песка еще можно как-то объяснить, но я не могу представить, отчего песок свистит.

Быть может, какая-то особая форма песчинок способствует его звучанию?

81, с. 145; 144, гл. 17; 145, с. 140; 146—150; 159; 1483.

Колебания деформация сдвига

1.6. Ревущие дюны. Еще более странным кажется «рев», который издают порой песчаные дюны. Совершенно неожиданно в тишине пустыни дюна вдруг начинает «реветь» с такой силой, что приходится кричать, чтобы тебя могли услышать твои спутники. Ключ к разгадке, возможно, следует искать в том, что в этот момент на подветренной стороне дюны происходит осыпь песка. В таких осыпях нет, конечно, ничего особенного: именно таким образом дюна передвигается по пустыне. Быть может, при некоторых условиях осыпь вызывает сильные вибрации песка, сопровождающиеся «ревом»?

144, гл. 17; 146; 150.

Вибрация стоячие волны

1.7. Фигуры Хладни. Фигуры Хладни получают на закрепленном в центре металлическом диске, на который насыпан песок. Когда по краю диска проводят смычком, песок образует геометрический узор (рис. 1.7) Почему? Вы скажете, ничего особенного:

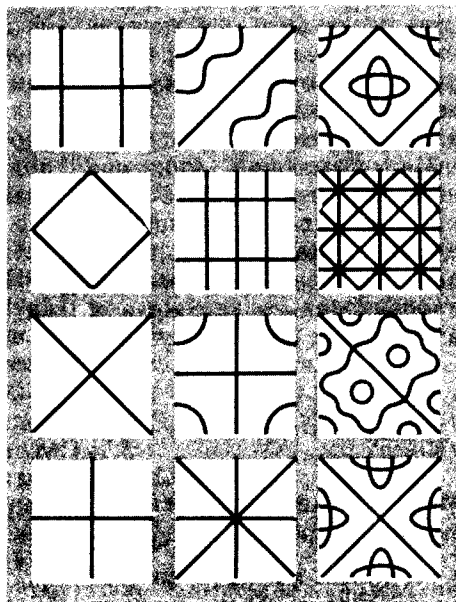
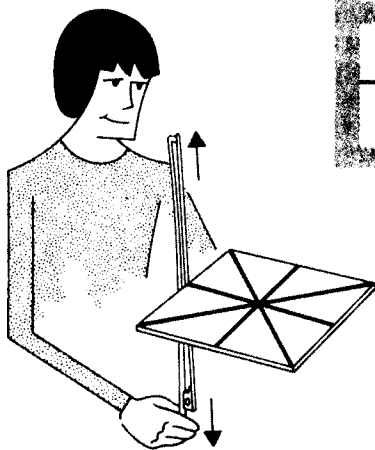


Рис. 1.7. Образование фигур Хладни при движении смычка (некоторые фигуры получаются в том случае, когда пластина закреплена не в центре).

просто-напросто смычок возбуждает в диске стоячие волны. Но тогда объясните, почему при одном и том же движении смычка песок создает один узор, а мелкая пыль — совсем другой. Попробуйте даже смешать песок с пылью: они все равно разделятся и образуют независимые узоры, когда диск начнет вибрировать.

81, с. 129—131; 82, с. 172—180; 124, с. 61, 62; 127, с. 172—176; 128, с. 130, 131; 130—138; 139, с. 207; 141, с. 178—190; 142, с. 88—91; 159, с. 302; 1529; 1551; 4д, с. 103—109; 8д, с. 656—657.

Колебания струны

1.8. **Пошипывая струны банджо, перебирая струны арфы...** Почему у банджо дребезжащий звук, а у арфы — мягкий, певучий? Одно из различий между этими инструментами состоит в том, что струны банджо щиплют медиатором (твердой пластинкой), а струны арфы перебирают пальцами. Почему это приводит к различному звучанию?

82, с. 283; 128, с. 92, 93; 145, с. 89; 4д, с. 64—89; 8д, с. 671—672; 10д, 11д.

Колебания струны резонанс

1.9. **Веревочный телефон.** Как действует веревочный телефон, которым играют дети? Как зависит частота звука на другом конце веревки от ее натяжения и толщины, а также от размера жестянки? Как оценить, насколько больше звуковой энергии передается с помощью веревочного телефона, чем без него?

82, с. 103, 104; 159, с. 221—222; 8д, с. 671—672.

Колебания струны трение

1.10. **Игра на скрипке.** Пошипывать струну, как это делает гитарист, — очевидно, самый простой способ возбудить ее колебания. Но как возбуж-



дается вибрация скрипичной струны при плавном движении смычка? Зависит ли частота звука от нажима смычка и его скорости?

82, с. 219—221, 191—300; 124, с. 98; 126, с. 453—456;

127, с. 101—103; 128, с. 93, 94; 145, с. 89—99; 151; 152, с. 167—170; 153; 1552; 2д; 115 д.

Колебания струны

1.11. «Звучание» резиновой ленты. Подтягивая гитарную струну, вы повышаете ее тон. А что произойдет, если вы увеличите натяжение резинки, растянутой между большим и указательным пальцами? Повысится ли частота ее звучания, если вы раздвинете пальцы? Оказывается, нет. Частота остается прежней, а если и изменится, то становится ниже, а не выше. В чем разница между резинкой и гитарной струной?

154; 155, с. 186, 187; 8д, с. 671—672.

Вибрация фазовые переходы

1.12. Звуки кипящей воды. Когда я подогреваю воду для кофе, то по звуку определяю момент ее закипания. Вначале раздаётся шипение, которое постепенно нарастает, а затем уступает место более резкому звуку. Перед самым же кипением этот звук становится мягче. Как объяснить происхождение этих звуков, особенно смягчение звука перед тем, как вода закипает?

157; 158, с. 295; 159, с. 269; 160, с. 168.

Вибрация

1.13. Журчащий ручей. Вам, верно, случалось когда-ни-

будь солнечным днем лежать на травке, слушая журчание ручейка? Почему журчат ручейки? Почему ревут водопады и стремнины?

Чем вызвано приятное шипение открываемой бутылки лимонада? Всмотритесь в прозрачный лимонад и попытайтесь связать этот звук с образованием, движением и разрывом газовых пузырьков.

145, с. 140; 159, с. 293; 161—163.

Механическое напряжение фазовые переходы

1.14. Когда мы идем по снегу... Иногда снег скрипит под ногами, но это бывает лишь в те дни, когда температура воздуха существенно ниже нуля. Что создает звук и почему его возникновение зависит от температуры? При какой примерно температуре снег начинает скрипеть?

164, с. 140; 165, с. 144; 166.

Поглощение звука

1.15. Тишина после снегопада. Почему после снегопа-

да так тихо? Конечно, машин и людей на улице меньше, чем обычно, но только этим нельзя объяснить тишину, вдруг опустившуюся на город. Что происходит с энергией уличного шума? Почему это случается, когда снег только что выпал?

Подобное ослабление звука наблюдают, например, участники антарктических экспедиций, когда прорывают туннели в снегу: приходится кричать, чтобы быть услышанным на расстоянии пяти метров. Куда исчезает энергия звука?

165, с. 134; 167; 4д, с. 224—225; 12д—14д.

1.16. Разрывание ткани. Почему, когда вы начинаете рвать ткань быстрее, издаваемый ею звук повышается?

1.17. Щелканье суставов. Почему «трещат» пальцы? Почему нужно немного подождать, прежде чем сустав сможет снова щелкнуть?

168.



Рис. 1.18. «Послушай: опять — крик, крак, щелк!»

1.18. Крик, крак, шелк. Почему раздаётся «крик-крак-шелк», когда заливают молоком рисовые хлопья?

1.19. Звук тающего льда. Бросьте кубик-другой льда в ваш любимый напиток и вы услышите вначале потрескивание, а затем такой звук, как будто что-то жарится на сковородке. Откуда возникают эти звуки? Не всякий лёд, впрочем, производит «звук сковородки». Почему?

Айсберги, попадая при дрейфе в южные моря, начинают подтаивать и тоже потрескивают. Их треск часто слышен на судах и подводных лодках, и его называют «айсберговой шипучкой».

169.

Звукопроводность

1.20. Ухом к земле. Почему индейцы, которых мы видим в старых вестернах, обычно встают на колени и припадают ухом к земле, чтобы обнаружить далеких, не видимых глазом всадников? Если можно слышать далекий топот копыт через землю, то почему этот звук не слышен в воздухе?

124, с. 21; 15д, гл. IX.

Распространение звука

1.21. Тембр голоса и гелий. Почему голос становится высоким, если человек вдохнет гелий?

Будьте предельно осторожны, когда вдыхаете гелий. В этом случае легко задохнуться, так как вдыхая гелий,

человек не испытывает никаких неприятных ощущений, поскольку при этом в легких не накапливается углекислый газ. Никогда не вдыхайте ни водород, ни чистый кислород! Водород взрывоопасен, а кислород поддерживает горение. При вдыхании этих газов даже искра разряда (который так часто возникает в одежде) может оказаться смертельной.

170, с. 205; 171, с. 16—17; 8д, 735—738.

Скорость звука

1.22. Помешивая ложечкой в кофейной чашке... Размешивая в чашке растворимый кофе или растворимые сливки, постучите по краю чашки ложечкой. Тон звука, который вы при этом слышите, резко меняется при добавлении порошка, а также в процессе размешивания. Почему?

Постучите по краю пивной кружки, пока садится пена. Тон звука тоже меняется. Почему?

Вы скажете, что, возможно, пена или порошок поглощают звук, вызываемый постукиванием. Допустим, но должна ли тогда меняться высота тона или только громкость звука?

159, с. 310; 173; 15д, с. 235—238.

Скорость звука и температура

1.23. Когда оркестр готовится к выступлению. Почему тон духовых инструментов повышается, когда музыканты

«разыгрываются» перед выступлением оркестра? Почему тон струнных инструментов при этом понижается?

124, с. 49—50; 126, с. 498; 172; 8д, с. 671—672, 735—738.

Интерференция

1.24. Слушая шум самолета, пригнитесь. Я читал, что если, услышав звук пролетающего самолета, пригнуться к земле, то тон звука покажется выше. Другой пример: если стоять у стены неподалеку от водопада, то можно помимо обычного звука водопада услышать еще и негромкий «фон». Чем ближе к стене, тем выше частота этого «фона». Почему в том и другом случае частота слышимого звука зависит от расстояния между ухом и твердой поверхностью?

82, с. 98—100; 145, с. 59; 174—180; 4д, с. 258—260.

Интерференция волноводы

1.25. Труба-свисток. Встаньте перед длинной бетонной трубой и громко хлопните в ладоши. Вы услышите не только эхо хлопка, но и некий характерный звук «вжик», тон которого за долю секунды меняется от высокого до низкого¹. Чем обусловлен этот звук?

181; 182; 44д, с. 22—23.

¹ Крауфорд [181] проводит аналогию между этим звуком и ионосферными «свистами» (см. задачу 6.31).

1.26. Акустика концертного зала. Почему концертные залы обычно строят узкими, с высокими потолками? Если таким образом хотят избавиться от эха, то не лучше ли приблизить стены и потолок к слушателю так, чтобы он не смог различать прямые и отраженные звуки? Кстати, с какой минимальной временной задержкой должны следовать звуки, чтобы слушатель мог воспринимать их отдельно? Почему акустика зала, заполненного зрителями, много лучше, чем пустого?

Если эхо нежелательно, то почему бы не покрыть стены и потолки материалом, поглощающим звук? Даже если не принимать во внимание требований к красоте зала, то и тогда можно заметить, что их строят совсем не так, чтобы устранить все отраженные звуки. Более того, стены и потолки часто покрывают решетками и ячеистыми щитами, отражающими звук во всех возможных направлениях. Напротив зал, лишенный отражений, акустики называют «глухим».

124, гл. 13; 127, с. 531—540; 128, гл. 10; 142, гл. 14; 145, с. 279—293; 152, гл. 9; 158, с. 609—616; 159, с. 265; 170; 171; 183, с. 123—180; 184, гл. 14; 185, гл. 11; 186, гл. 8; 187, с. 291—300; 188—195; 1528; 12d — 14d; 15d. с. 168—176.

Отражение фокусировка

1.27. Акустика исповедальни. Известны помещения, обладающие весьма необычной

акустикой, — некоторые из них фокусируют звуки. По-видимому, такая фокусировка была использована в «кухе Дионисия» в сиракузской темнице, где стены отражали разговоры и даже шепот узников в скрытую трубу, через которую властитель мог их прослушивать.

Можно привести пример и из недавних времен; это старое помещение палаты представителей в Капитолии в Вашингтоне. Его своды были устроены так, что благодаря отражению даже шепот с одного конца зала был слышен в противоположном. Не раз, по слухам, конгрессмены попадали в неловкое положение, когда какой-нибудь секрет их партии, который они поверяли сидящему рядом коллеге, становился широко известным.

Весьма любопытный случай произошел в соборе Джиргенти на острове Сицилия. По форме этот собор напоминает эллипсоид вращения: звук, произнесенный в одном фокусе, почти столь же отчетливо слышен в другом. Вскоре после постройки собора в одном из фокусов по недоразумению устроили исповедальню. Случайно один человек обнаружил второй фокус и стал развлекаться тем, что слушал сам и приводил друзей послушать то, что предназначалось ушам одного только исповедника. Однажды, говорят, в исповедальню пришла его собственная жена — и он вместе со своими друзьями узнал секреты, которые отнюдь не позабавили его [141].

139, с. 194; 141, с. 48; 197, гл. 11.

Распространение звука преломление

1.28. Распространение звука в прохладный день. Отчего в прохладный день звук доносится дальше, чем в жаркий? Это особенно заметно, когда звук распространяется над спокойной водной поверхностью или над покрытым льдом озером. Наоборот, звуки в пустыне распространяются на значительно более короткие расстояния.

81, с. 34—35; 82, с. 107; 124, с. 17; 127, с. 322—325; 142, с. 117—118; 185, с. 309—311; 186, с. 66—67; 187, с. 137; 198, т. 2, с. 132—135; 207, с. 50—52; 209, с. 24, 25; 210, с. 600; 211, с. 474—475; 212; 213, с. 49—52; 8d, с. 729—731; 15d, с. 180—196.

1.29. «Мертвые зоны» при артиллерийском обстреле. В годы второй мировой войны люди не раз замечали, что если двигаться по направлению к удаленному артиллерийскому орудью, то на определенных расстояниях звук его выстрелов пропадает (рис. 1.29). Чем объяснить эти «мертвые зоны»?

Расстояния, на которые порой распространяется звук, также могут вызвать удивление. Например, во время первой мировой войны жители английского побережья слышали звуки канонады из Франции. Как объяснить столь дальнее распространение звука?

150; 165, с. 135; 187, с. 137; 214; 215; 216; 217; 218; 219,

с. 291—293; 313, с. 71; 8д,
с. 730—731; 15д, с. 198—199.

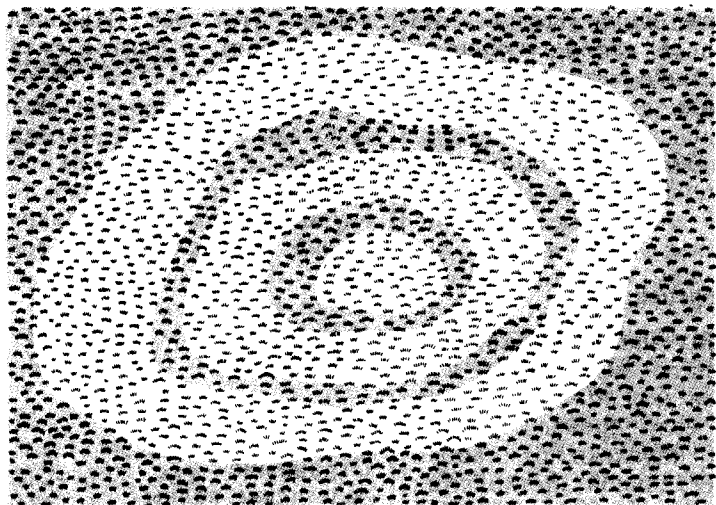


Рис. 1.29. Артиллерия находится в центре. Белые полосы соответствуют областям, где слышна канонада.

Отражение рэлеевское рассеяние

1.30. Эхо. Несомненно, вы знаете, что такое эхо. Это отражение звуковых волн от какого-либо удаленного предмета, не так ли? Но объясните, почему порой частота отраженного звука, который приносит эхо, оказывается выше, чем частота исходного? Почему эхо от высокого звука обычно громче и отчетливее, чем от низкого? Как близко к отражающему предмету можно встать, чтобы еще слышать эхо?

81, с. 31; 82; с. 86—87;
127, с. 311—313; 142, с. 132;
164, с. 426; 182; 198, т. 1;
206.

Рэлеевские волны дальность и интенсивность отражение

1.31. Таинственная галерея шепотов. Лорд Рэлей первым объяснил загадку галереи шепотов, расположенной под куполом лондонского собора Святого Павла. На этой большой галерее очень хорошо слышен шепот. Если, например, ваш приятель шепнул что-нибудь, обернувшись к стене, то вы услышите его, в каком бы месте галереи ни стояли (рис. 1.31, а). Как ни странно, вы слышите его тем лучше, чем более «прямо в стенку» он говорит и чем ближе к ней стоит.

Сводится ли эта задача просто к отражению и фокусировке звука? Чтобы исследовать это, Рэлей изготовил большую модель галереи. В одной точке ее он поместил

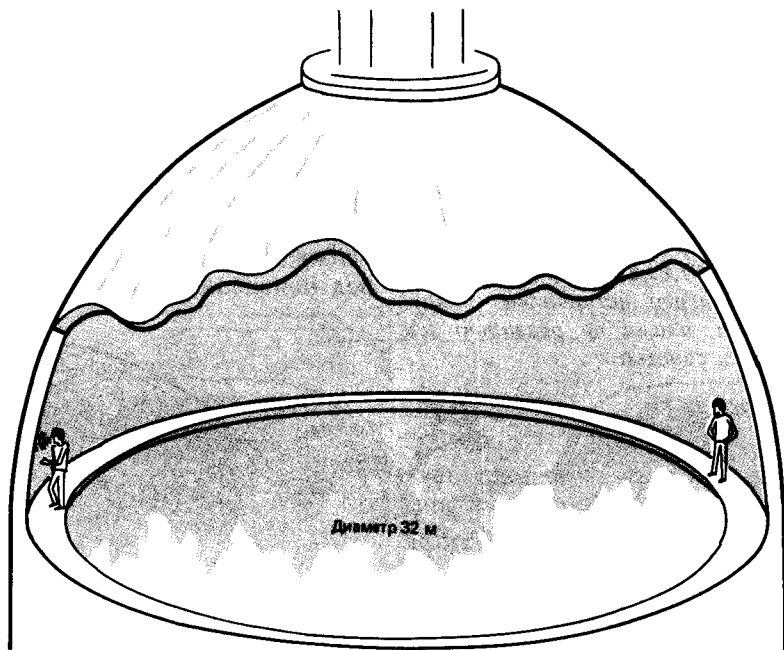


Рис. 1.31,а. Галерея шепотов (в разрезе).

манок — свистульку, которой охотники приманивают птиц, в другой — пламя, которое чутко реагировало на звук. Когда звуковые волны от свистульки достигали пламени, оно начинало мерцать и таким образом служило индикатором звука. Вы, наверное, нарисовали бы путь звука так, как показано стрелкой на рис. 1.31,б. Но, чтобы

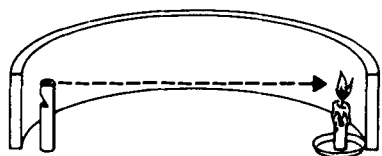


Рис. 1.31,б. Модель галереи шепотов, сделанная Рэлеем. Звук свистка заставляет пламя мерцать.

не принимать это на веру, представьте себе, что где-то между пламенем и свистулкой у стены галереи помещен узкий экран (рис. 1.31, в). Если ваше предположе-

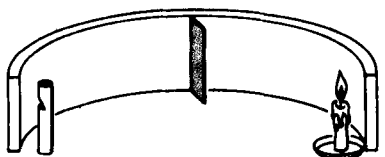


Рис. 1.31,в. Если у стенки модели галереи установлен тонкий экран, пламя не реагирует на звуки свистка.

ние относительно хода звуковых волн верно, то при звуке свистульки пламя все равно должно мерцать, так как экран, казалось бы, находится в стороне! Однако в действительности, когда Рэлей установил этот экран, пламя перестало мерцать.

Каким-то образом экран преградил путь звуку. Но как? Ведь это всего лишь узенький экранчик и расположен он вроде бы в стороне от пути звука. Полученный результат дал Рэлею ключ к разгадке секрета галереи шепотов.

81, с. 32—33; 82, с. 87—92; 127, с. 315—316; 198, т. 2, с. 130—131; 199—205.

Интерференция

1.32. Музыкальное эхо. Как объяснить мелодичное эхо, которое можно иногда слышать, если произвести шум где-то недалеко от забора или лестничной клетки? Как определить высоту тона этого эха?

81, с. 32; 127, с. 313—314; 145, с. 13; 164, с. 426—427; 182; 206; 207, с. 47—48; 208.

Турбулентность преломление

1.33. Звуки торнадо. Моя бабушка всегда предсказывала приближение торнадо по мертвой тишине, которая неожиданно воцарялась перед появлением смерча. По-

чему становилось так тихо? Когда же смерч возникал, раздавался оглушительный рев, похожий на звук реактивного самолета. Чем обусловлен этот рев. Наконец, как говорят, в центре смерча тоже господствует мертвая тишина. Так ли это? Неужели человек, находящийся в центре столба смерча, не слышит хотя бы звуков чудовищных разрушений, происходящих вокруг?

165, с. 144—145; 223, с. 67, 83; 224—226; 150, с. 183—196.

Отражение рэлеевские волны

1.34. Мост эха. Эффект галереи шепотов поможет нам объяснить и некоторые звуковые эффекты, возникающие под аркой моста. Так, если встать у стены такой арки и шепнуть что-нибудь (рис. 1.34), то можно услышать двойное эхо; громкий же хлопок в ладоши производит многократное эхо. Понятны ли вам эти явления? Они могут быть обусловлены либо обычным отражением звука от поверхности воды, либо эффектом

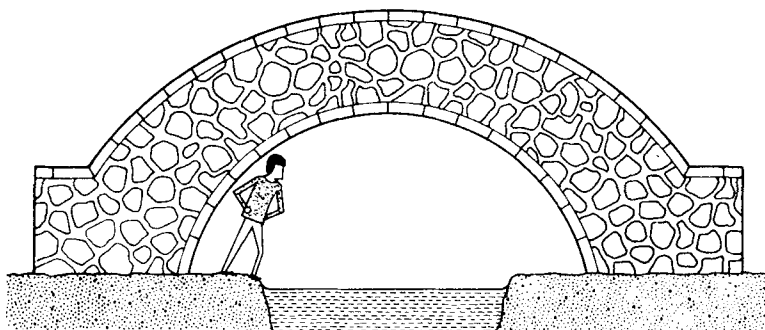


Рис. 1.34. Эхо под мостом.

галереи шепотов, а возможно, тем и другим вместе.

82, с. 87; 202; 203.

Преломление

1.35. Распространение звука при ветре. Почему вы лучше слышите крик находящегося далеко от вас человека, если он кричит «по ветру», а не против ветра? Потому ли, что, как принято считать, в направлении против ветра звук ослабляется сильнее?

81, с. 33—34; 82, с. 107—108; 124, с. 17—18; 127, с. 322—325; 142, с. 119—121; 185, с. 11—13, 311; 186, с. 66—67; 187, с. 137; 207, с. 52—53; 210, с. 599—600; 212; 213, с. 52—55; 222; 196, т. 2; 8д, с. 729—730; 15д, с. 180—196; 16д.



Распространение

1.36. Бронтиды. До наших дней дошли предания о таинственных «небесных» звуках: рокоте, коротких потрескиваниях при совершенно яс-

ном небе и отсутствии каких-либо явных источников звука. Эти звуки, называемые бронтидами, мистпёфферами, можно слышать где угодно: над равниной, над морем, в горах. На основании 200 наблюдений мистпёфферов в Голландии был сделан вывод, что они чаще всего были слышны утром и вечером, реже — в полуденное время и почти никогда — по ночам. В некоторых местах земного шара подобные звуки — совсем не редкость. Например, в районе Бенгальского залива они раздаются столь часто, что местные жители приписывают им божественное происхождение. Чаще всего считают, что такие звуки создают самолеты, когда они преодолевают звуковой барьер.

Можно было бы принять эти таинственные звуки за отдаленные раскаты грома. Но гром редко доносится на расстояния более 20 км. Кроме того, эти звуки порой слышатся и в ясную погоду. Можете ли вы предложить какие-либо другие объяснения?

164, с. 442; 227; 1611, разд. GS.

Дифракция

1.37. Почему «пропадают» крики чаек. В качестве примера звуковой тени, создаваемой предметами, позвольте рассказать вам следующую историю (рис. 1.37). Весной чайки собирались большой стаей и откладывали яйца в мох. Когда молодые чайки учились летать, воздух наполнялся их пронзительными криками. На некотором расстоянии от гнездовья проходила дорога, и сбоку от нее были выложены в ряд большие кучи торфа. Длина каждой из них намного превышала длину волны птичьего крика, благодаря чему создавалась зона довольно глубокой звуковой тени. Против провета между кучами воздух был наполнен до неприятного громким криком, а за самой кучей стояла почти полная тишина. Переход между «громким» и «тихим» участками дороги казался довольно резким [234].

Наблюдались ли бы на дороге такие «тихие» участки, если бы чайки издавали не пронзительные звуки, а «кричали басом»?

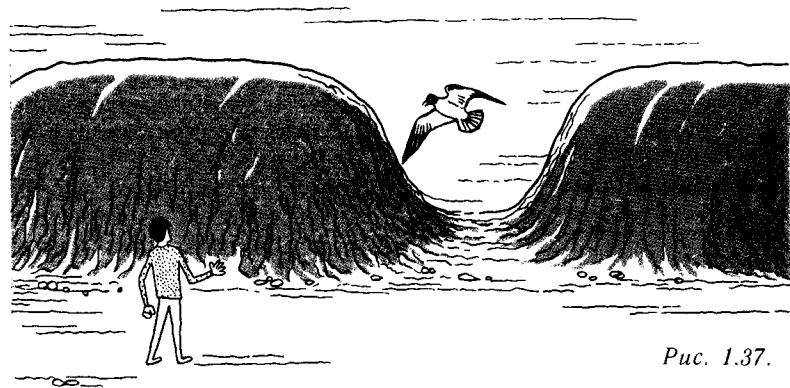


Рис. 1.37.

128, с. 18; 170, с. 423—427, 234, с. 103; 8д. с. 716—719.

Преломление

1.38. Молния без грома.

Нередко мы видим вспышку молнии, но не слышим грома. Как правило, раскаты грома редко распространяются на расстояния более 25 км. Почему? Неужели 25 км — такое уж большое расстояние для звука? Нет, орудийные выстрелы и разрывы снарядов доносятся значительно дальше. Почему же на таком расстоянии не слышен гром?

82, с. 114—116; 142, с. 118; 164, с. 441—442; 219, с. 304—305; 220; 221; 8д, с. 729—731; 15д, с. 180—196.

Преломление

1.39. Подводная лодка крадется «в тени». Хотя системы звуколокации достаточно чувствительны, чтобы обнаружить подводную лодку на очень большом расстоянии, их реальный радиус действия обычно ограничен несколькими километрами (а в

тропиках и того меньше). Рассмотрим, например, случай, когда локатор и подводная лодка расположены примерно на одной глубине. По некоторой причине (которая отнюдь не сводится к простому ослаблению звука в воде) звуковой «луч», направленный на лодку, не достигает ее. Как говорят, лодка находится «в тени», и обнаружить ее невозможно. Почему возникают такие области тени?

171; 185, с. 235; 217; 228, с. 376—379; 229—232; 17д, с. 11—23; 18д.

Дифракция

1.40. Если приоткрыть дверь в шумный коридор... Когда я закрываю дверь своего кабинета, которая выходит в шумный коридор, в комнате становится тихо. Если же дверь открыть настежь, то шум мешает работать. А что если дверь приоткрыть чуть-чуть? Должно быть, это почти то же самое, что и закрыть ее? Однако я убедился, что в этом случае шум ничуть не меньше, чем при широ-

ко открытой двери? Почему же узкая щель так значительно усиливает шум в моем кабинете?

128, с. 19; 155, с. 177.

1.41. Микрофонный эффект.

В эпоху рок-музыки для создания умопомрачительных эффектов широко использовалась обратная связь. Гитарист поворачивался к громкоговорителю, звук которого таким образом воздействовал на звукосниматель электрогитары и вновь усиливался. Аналогичный эффект возникает, когда диктор включает в кабине приемник, настроенный на волну радиостанции, которая ведет данную передачу. Что вызывает «звон» в этих случаях?

Дифракция

1.42. Туманный ревун. Туманный ревун конструируется таким образом, чтобы звук распространялся как можно дальше в горизонтальной плоскости и как можно меньше уходил вверх. Не странно ли, что прямоугольное отвер-

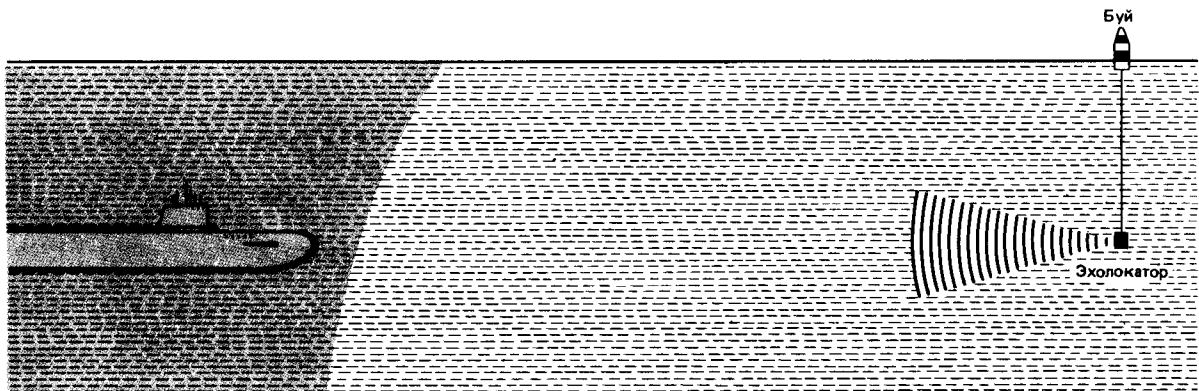


Рис. 1.39.

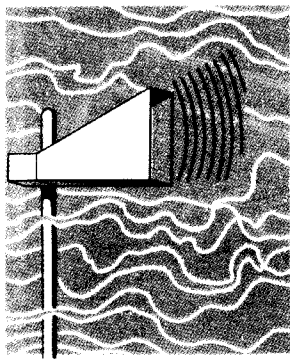


Рис. 1.42.

стие его рупора вытянуто по вертикали (рис. 1.42)? Не является ли такая ориентация самой неблагоприятной?

142, с. 124—125; 145; с. 167; 159, с. 310—311; 170, с. 423—427; 235, с. 78—79; 236; 8д, с. 742; 174д, с. 58.

Дифракция

1.43. Шепот за спиной. Когда ваш приятель говорит нормальным голосом, вы слышите его достаточно хорошо, стоит ли он к вам лицом или спиной. Почему же его шепот слышен только тогда, когда он оборачивается к вам, даже если шепот такой же громкий, как и нормальный голос?

159, с. 231; 198; 237, с. 188; 238, с. 47, 48; 239, с. 220.

Резонанс

1.44. Краевые эффекты в трубах с открытыми концами. Почему, когда в трубе с открытыми концами возбуждаются стоячие звуковые волны, у краев трубы возникают пучности колебаний воздуха (и узлы колебаний

давления)? Так как у закрытого конца трубы образуется узел, то у открытого должна быть пучность, не так ли? А можете вы объяснить, почему все-таки здесь возникает пучность? На самом деле пучность находится не у самого края. Ее положение зависит от некоторых параметров трубы, в частности от ее ширины. Учитываются ли эти отклонения от упрощенной теории при практическом использовании труб, скажем, в органах?

82, с. 136—139; 126, с. 493—496; 127, с. 181, 182; 145, с. 163—165; 240; 241; 4д, с. 127—135; 8д, с. 732—735; 10д.

Резонансные колебания

1.45. Когда тошнит от инфразвука. Инфразвук (звук с частотой, ниже слышимой ухом) вызывает тошноту и головокружение... он может даже убить. Теперь, когда опасность инфразвука для человека установлена, его усиленно изучают и обнаруживают буквально повсюду: вблизи аэродромов, в автомобилях, движущихся с большой скоростью, на океанском побережье, во время гроз и смерчей. Животным и некоторым особо восприимчивым людям инфразвуковые сигналы несут предупреждение о приближающемся землетрясении. Почему инфразвук оказывает такое воздействие на людей и животных? В частности, как объяснить способность инфразвука вызывать внутренние кровоизлияния?

171; 1489—1491; 1534—1536.

Вибрация кавитация резонанс

1.46. Шумящие водопроводные трубы. Почему водопроводные трубы порой начинают рычать и стонать, когда мы открываем или закрываем кран? Почему это не происходит непрерывно? Где именно возникает звук: в водопроводном кране, в части трубы, примыкающей непосредственно к крану, или в каком-нибудь изгибе ее где-то дальше? Почему шум начинается только при определенных уровнях расхода воды? Наконец, почему шум можно устранить, присоединив к водопроводной трубе закрытую с другого конца вертикальную трубку, заполненную воздухом?

183, с. 46; 251; 252.

Резонанс завихрения

1.47. Пылевые фигуры Кундта. Трубка Кундта давно служит простым приспособлением для демонстрации стоячих звуковых волн, но можете ли вы объяснить, как она действует? Трубка Кундта представляет собой длинную стеклянную трубку, в которой насыпано немного легкого порошка (например, пробковой пыли или ликоподия). Один конец трубки запаян, в другом — с помощью пробки укреплен медный стержень (рис. 1.47, а). Если потереть стержень накалифоленной замшей, он начнет скрипеть, а пыль расположится аккуратными кучками вдоль трубки. Видимо, такое распределение обусловлено стоячими звуковыми волна-

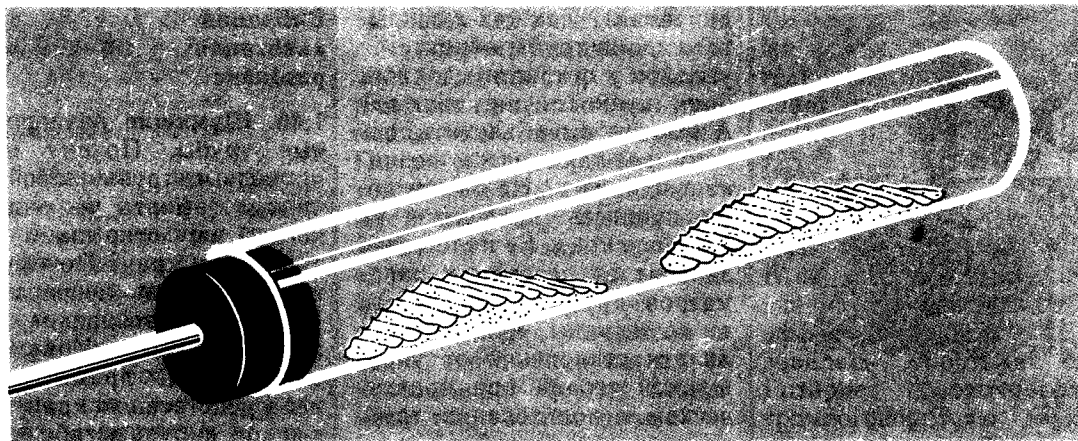


Рис. 1.47,а. Когда стержень натирают замшей, пыль в трубке располагается складчатыми кучками.

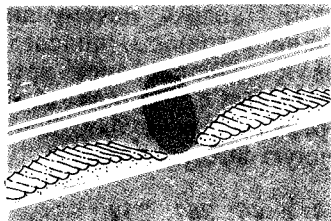


Рис. 1.47,б. Если возбудителем служит громкоговоритель, то помимо кучек пыли образуются еще тонкие пылевые диски, расположенные поперек трубки.

ми. Но как это происходит? Более того, если внимательно присмотреться к такой кучке, то можно заметить, что она покрыта поперечными бороздками. Если стоячие волны образуют кучки пыли, то как возникают бороздки?

Если заменить стержень громкоговорителем, издающим чистый тон, то между кучками в поперечном сечении трубки образуются очень тонкие пылевые диски (рис. 1.47,б). Почему они появляются?

82, с. 208—214; 124, с. 113, 114; 127, с. 188—191, 255—258, 472; 128, с. 22, 23; 130; 141, с. 244—253; 145, с. 220—

222; 198; 207, с. 151—156; 243—250; 1517; 4д, с. 149—153; 173д.

Резонанс кавитация

1.48. Выливая воду из бутылки... Если воду выливать из бутылки, тон бульканья понижается. Если же, наоборот, наливать воду в бутылку, тон повышается. Почему?

4д, с. 123—125.

Резонанс

1.49. Шум морской раковины. Почему, когда мы прикладываем к уху раковину, нам слышится «шум моря»?

82, с. 196, 197; 141, с. 253, 254; 150; 238, с. 57, 58, 65; 8д, с. 735—738.

Резонанс вibrация

1.50. Разговор и шепот. Чем определяется тембр нашего голоса? Почему женский го-

лос выше мужского? Многие молодые люди переживают период «ломки» голоса. Почему это происходит? Как вы переходите от обычного разговора на шепот?

81, с. 113, 114; 124, с. 75—77, 132—136; 127, с. 207—211; 141, с. 238—244; 142, с. 179—181; 145, с. 254, 255; 151; 238, гл. 7; 239; 253, с. 387; 254; 20д.

Резонанс

1.51. Когда вы поете в ванной комнате. Почему в ванной комнате ваш голос звучит громче и приятней (рис. 1.51)?

12д; 20д.

1.52. Голос разбивает бокалы. Оперный певец способен разбить большой винный бокал, спев очень громко определенную высокую ноту. Почему разбивается стекло и почему для этого должна быть спета определенная нота? Почему эта нота должна звучать несколько секунд,

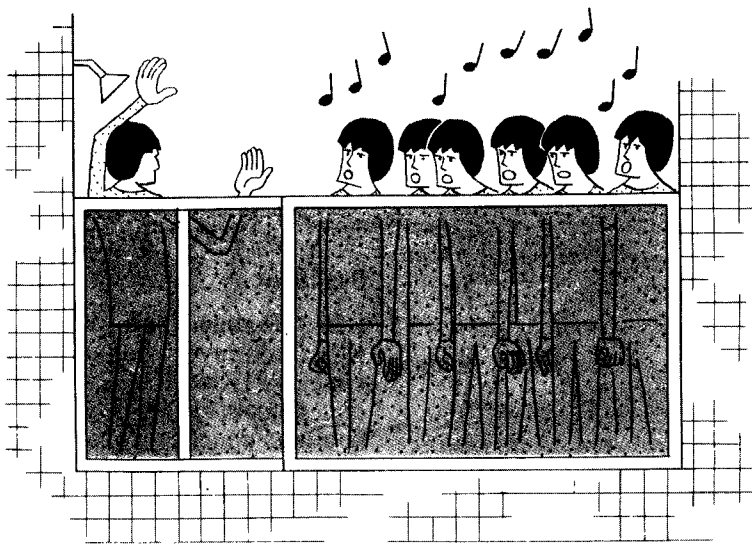


Рис. 1.51.

прежде чем бокал разобьется?

1.53. Завывание ветра. В фильмах ужасов монстры обычно творят свои злодеяния под завывание ветра. Почему воет ветер?

150; 164, с. 442, 443; 1д, с. 109—115; 21д.

Резонанс уравнение Бернулли

1.54. «Музыкальная» игрушка. Конструкция этой игрушки очень проста: всего-навсего кусок гофрированной пластиковой трубки вроде шланга от пылесоса, открытый с обоих концов. Если взять трубку за один конец и крутить над головой (рис. 1.54), раздается музыкальный звук. Чем выше скорость вращения, тем выше тон; переход от одной ноты к следующей происходит не плавно, а скачком. Если вооружить такими игруш-

ками большую компанию, то звук получится устрашающий. В одной из английских постановок шекспировского «Сна в летнюю ночь» фея для пущего эффекта сопровождала такими звуками свое колдовство [1588]. Как образуется звук в этой игрушке и почему переход от тона к тону происходит скачкообразно?

Быть может, вы захотите отмахнуться от этих вопросов, сославшись на тот раз-

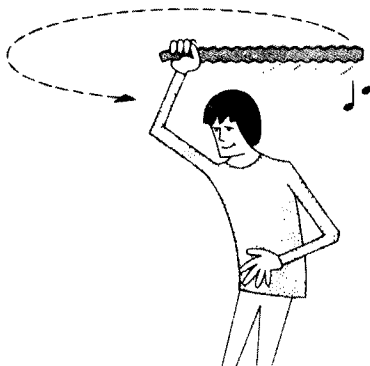


Рис. 1.54. «Музыкальная» игрушка.

дел в учебнике, где говорится о резонансе в открытых трубах. Однако прежде вы должны понять, почему вообще возникает звук, почему его частота зависит от скорости вращения, и представить себе, как движется воздух в трубке. И лишь тогда вы можете сослаться на учебник, в котором объясняется, почему создаются и усиливаются только определенные частоты внутри трубы.

Влияет ли на частоту звука центробежная сила, действующая на трубку?

1588.

Резонанс образование вихрей

1.55. «Поющие» провода. Почему телеграфные провода гудят на ветру? Почему пела на ветру мифическая золова арфа? В частности, должны ли сами провода или струны арфы колебаться, чтобы создать звук? И если они движутся, то в какой плоскости — той, в которой дует ветер, или перпендикулярно ей? Чем определяется частота слышимого звука?

Предположим, вы хотите имитировать свист ветра в проводах, размахивая вилкой с длинными, тонкими зубьями. Как нужно размахивать ею: в плоскости зубьев или перпендикулярно ей? Попробуйте так и так.

Отчего деревья шумят зимой? Почему шумит лес? Все ли деревья шумят одинаково?

82, с. 304—313; 124, с. 114—116; 126, с. 480—482; 127, с. 218—220; 142, с. 215; 145, с. 149—152; 150; 155, с. 188,

189; 159, с. 285—287; 164, с. 443—448; 165, с. 144; 207, с. 156, 157; 256, с. 126—128; 257, с. 123—130; 258—261; 1д, с. 109—115; 21д, 15д, с. 101—102.

Звуки вихрей обратная связь

1.56. Свистящий чайник.

В некоторых типах «свистков» для чайников на пути воздушной струи устанавливают препятствия. Например, «краевой тон» можно получить, направив струю воздуха на клин (рис. 1.56, а). Аналогично, поста-

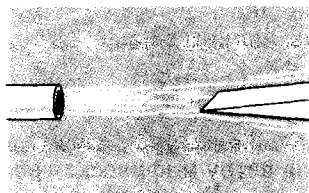


Рис. 1.56,а. Образование «краевого тона».

вив на пути струи кольцо, можно получить «кольцевой тон» (рис. 1.56, б). Наиболее

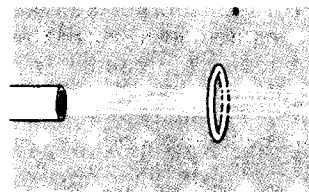


Рис. 1.56,б. Образование «кольцевого тона».

распространены чайники такой конструкции, где на пути пара сделано отверстие, которое и создает звук (рис. 1.56, в). В каждом случае звук зависит от вида препятствия, но как? Что именно

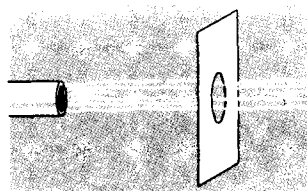


Рис. 1.56,в. Образование «тона отверстия».

издает свист, когда кипит чайник?

124, с. 116; 126, с. 482—485; 127, с. 220—223; 142, с. 216; 145, с. 169—174; 151; 257, с. 130—138; 258; 263—269; 1д, с. 112—115; 4д, с. 127, 130—135.

Резонанс звуки вихрей

1.57. Почему свистит бутылка?

Примером еще одного типа свистка может служить маленькая бутылка из-под лимонада: если подуть поперек ее горлышка, она начинает звучать. Здесь налицо не только препятствие на пути струи (край горлышка), но и полость, примыкающая к этому препятствию. К тому же типу свистков относятся флейты, органные трубы и т. д. Почему все эти устройства производят звук определенной частоты? Каким образом, зажимая пальцами отверстия флейты и изменяя давление воздуха вблизи препятствия, мы извлекаем разные звуки? Влияет ли диаметр горлышка бутылки на частоту издаваемого ею звука? А ее форма? Допустим, я частично заполню бутылку водой, определю ее резонансную частоту с помощью камертонов, а затем встряхну. Форма полости, конечно,

изменится. А резонансная частота?

142, с. 163; 151; 159, с. 246—253; 170, с. 205—208; 310; 1553; 8д, с. 735—738; 10д, 11д.

Резонанс

1.58. Полицейский свисток.

Как действует полицейский свисток? Как и в свистках, описанных выше, здесь есть кромка, поперек которой направлена струя воздуха, и примыкающая к кромке полость. В полости также находится небольшой шарик. Какую роль он играет при свисте? Почему полицейский свисток не свистит под водой?

258; 22д; 23д, т. 4, с. 494.

1.59. Свист губами. В предыдущих задачах мы рассматривали различные виды свистков и пытались понять, как возникает свист в каждом случае. Значительно труднее объяснить свист, производимый губами. Как издается этот звук? Можно ли свистеть под водой?

82; 258.

1.60. Граммофонный рупор.

Вспомните старые граммофоны с их рукоятками и большими рупорами. Для чего были нужны эти рупоры? Чтобы направлять звук в желаемую сторону? Почему использовалась не прямая труба, а расширяющаяся? Если мембрана звукоснимателя непосредственно, без рупора, сообщалась с окру-

жающим воздухом, то звук получался слабым. Каким образом расширяющийся рупор мог усиливать звук?

124, с. 212—214; 186, с. 208, 209; 8д, с. 742; 14д, гл. 5 § 7, гл. 6 § 4.

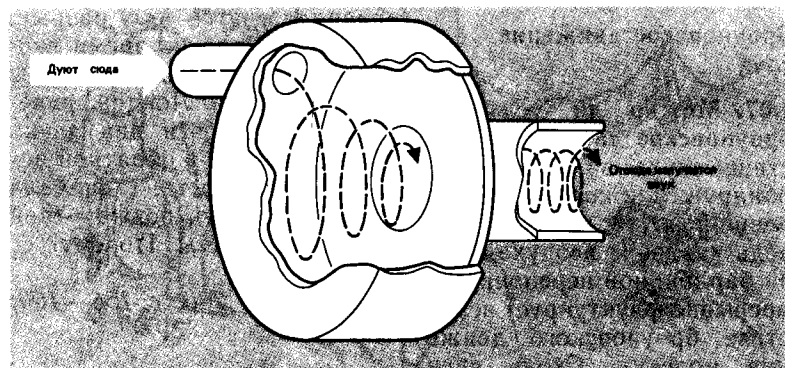


Рис. 1.61. Вихревой свисток.

Звуки вихрей

1.61. Вихревой свисток.

Вихревой свисток (рис. 1.61) издает звук, если дуть в трубку, входящую по касательной в круглую полость. Видимо, в полости возникает вихревой поток, и, когда он выходит через центральное отверстие, раздается свист. В вихревом свистке в отличие от обычного полицейского частота звука зависит от давления двухвального воздуха. Таким образом, меняя давление, на таком свистке можно сыграть какую-нибудь мелодию. Как возникает свист и почему частота зависит от давления?

258; 262.

Вибрация акустический импеданс мощность

1.62. Размеры «пищалок» и низкочастотных динамиков. Почему в большинстве высококачественных систем зву-

ковоспроизведения низкочастотные динамики по своим размерам много больше пищалок (высокочастотных динамиков)?

128, с. 148; 187, с. 272, 273, 280; 228, с. 174, 175; 8д, с. 741—743; 15д, с. 107—112.

Сферические и плоские волны интенсивность и область распространения импеданс

1.63. Рупор-мегафон. Каким образом рупор-мегафон усиливает голос в одном направлении? Может быть, многократные отражения внутри рупора ограничивают распространение звука в стороны? Такое объяснение звучит правдоподобно; но если сравнить размеры рупора с длиной звуковых волн, то становится непонятным, каким образом внутренние отражения могут обеспечить подобную направленность звука.

Итак, почему рупор усиливает голос в одном направлении?

127, с. 205—207; 142, с. 111; 145, с. 239, 240; 159; 213, с. 47; 235, с. 78; 242; 8д, с. 742.

Комбинационные тона нелинейное воспроизведение звука

1.64. Басовые частоты в динамиках малых размеров. Не удивительно ли, что головные телефоны, стереонаушники, портативные транзисторные приемники могут воспроизводить низкие частоты (см. задачу 1.62)? Динамики в них очень малы, однако они воспроизводят низкие частоты. Рупоры старинных граммофонов тоже, казалось бы, не должны были воспроизводить низкие частоты. Почему же мы все-таки слышим их?

82, с. 256—261; 124, с. 29—32, 84—87, 165, 214; 127, с. 400—402; 128, с. 31, 32, 56—59; 151; 152, с. 105—108; 170; 184, с. 403—406; 209, с. 179—187; 228, с. 253—256; 237, с. 66—68; 256, с. 231—245; 270, с. 129—133; 271, с. 50—52; 272, гл. 7, с. 411—413; 273—279; 4д, с. 248—254; 5д, с. 407—410; 6д, с. 229—238.

Эффект Доплера

1.65. Рев гоночных машин и артиллерийских снарядов. Почему нам кажется, что частота рева гоночной машины меняется, когда машина проносится мимо нас?

На полях сражений солда-

ты предугадывают опасность летящего снаряда по издаваемому им звуку. Они прислушиваются не только к громкости, но и к частоте звука, а также к ее изменению. О чем в этом случае говорит им частота звука?

128, с. 19; 8д, с. 731—732; 24д.

Эффект Доплера

1.66. Звуковой локатор летучей мыши. Известно, что летучие мыши для ориентировки в пути и обнаружения насекомых используют ультразвуковой локатор: они излучают ультразвуковой сигнал и принимают отраженный от препятствия. Но как мышь «обрабатывает» эти сигналы? Определяет ли она временную задержку отраженного сигнала, устанавливая таким образом расстояние до препятствия? Реагирует ли она на доплеровское смещение частоты, если объект или она сама движутся? Или, может быть, она определяет положение объекта «методом триангуляции», подобно тому как мы пользуемся бинокулярным зрением? Возможно, однако, что все выглядит значительно сложнее, поскольку некоторые летучие мыши щебечут: частота звука в посылаемом ими импульсе уменьшается примерно от 20 до 15 кГц. Как мышь может использовать такое щебетанье для получения большей информации об объекте?

Каковы минимальные размеры насекомого, которого способна обнаружить летучая мышь, если она излучает

ультразвук с постоянной частотой 20 кГц?

142, с. 353, 354; 280—284; 1493—1497; 25д — 27д.

Броуновское движение слух

1.67. Можно ли услышать броуновское движение. Действие слуха заключается в обнаружении колебаний давления воздуха, не так ли? Но ведь давление воздуха вблизи барабанной перепонки непрерывно флуктуирует вследствие броуновского движения молекул. Сколь велики эти флуктуации? Достаточно ли они сильны, чтобы их можно было услышать? Если да, то почему мы не слышим их? Не должны ли мы из-за этого ощущать постоянный шум в ушах?

311.

Звуковая мощность отношение сигнал/ шум

1.68. Когда в дело вмешивается полиция. Одни вечеринки проходят тихо, другие создают много шума. Можете ли вы грубо прикинуть критическое число гостей, при превышении которого вечеринка становится шумной? Критическим можно считать такой уровень шума, когда голос вашего собеседника более неразличим на фоне шума.

Положим, хозяйка призвала гостей к порядку — на некоторое время воцарилась тишина, а затем разговоры вновь возобновились. Через какое примерно время шум в комнате достигнет прежнего уровня?

285; 12д; 15д, с. 170—177.

Ударная волна

1.69. Звуки ракеты Фау-2. Если бы вы попали в зону артиллерийского обстрела, то вначале услышали бы вой снаряда, затем его разрыв. Однако, когда во время второй мировой войны немцы обстреливали Лондон ракетами Фау-2, эти два звука были слышны в обратной последовательности: сначала разрыв, а чуть позже — вой летящей ракеты. Почему?

142, с. 153; 28д, с. 156—160; 29д.

Слух

1.70. «Эффект дружеской пирушки». Как вы различаете слова собеседника, когда окружающий шум достаточно силен? Если во время шумной вечеринки записать его голос на пленку, то, прослушивая потом запись, вы едва ли его услышите и, уж конечно, не разберете слов. Чем отличается запись от живого разговора?

171; 238, с. 15, 16; 286.

Акустическая проводимость слух

1.71. Собственный голос в записи. Если вы когда-нибудь записывали на магнитофон свой голос, то вас наверняка удивило, насколько высоким он кажется при прослушивании записи. Запись же голосов других людей казалась вам вполне нормальной. Но ваш голос — он был совсем другой. В чем здесь причина?

312.



Акустическая проводимость слух

1.72. Хорошо ли мы определяем направление звука? Благодаря тому, что у нас два уха, мы можем не только слышать звук, но и определять его направление. Если построить график точности определения направления для чистого тона в зависимости от его частоты, то можно увидеть, что наша способность определять на-

правление имеет некоторое довольно постоянное значение во всем диапазоне слышимых частот, исключая участок 2—4 кГц (рис. 1.72). Почему она ухудшается в этом диапазоне, тогда как и для более низких, и для более высоких частот она оказывается заметно лучше?

159, с. 322—329; 1554; 1555; 8д, с. 731; 15д, с. 196—197, 204—207.

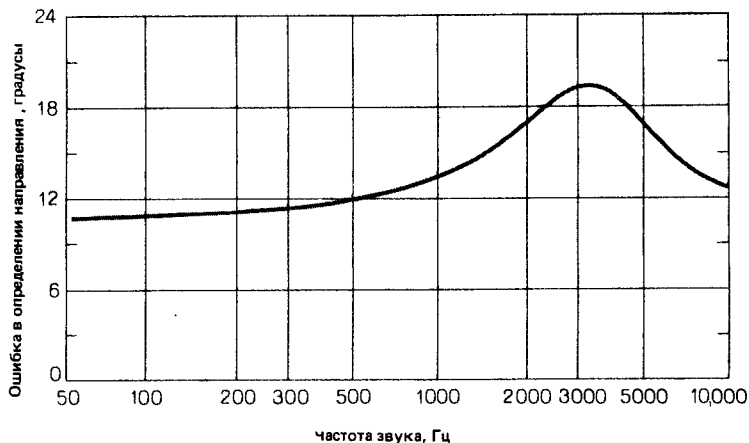


Рис. 1.72.

Ударные волны преломление

1.73. Когда самолет преодолевает звуковой барьер. Что является причиной громового удара, который производят сверхзвуковые самолеты? Возникает ли этот «гром» только в тот момент, когда самолет преодолевает звуковой барьер? Зависит ли он от шума двигателей? Иногда мы слышим не один удар, а два подряд. Почему? Зависит ли «гром» от высоты полета? Как сказывается на этом эффекте режим полета самолета: набирает ли он высоту, теряет ее или совершает разворот? При одних условиях самолет производит «сверхгром» — особенно сильную ударную волну. При других — удар возникает, но не доходит до поверхности земли. Как это объяснить?

288—298; 29д, 30д, с. 145—202; 31д, с. 375—384.

Ударные волны отражение

1.74. Раскаты грома. Когда я был маленьким, мама объясняла мне, что гром как-то связан с молнией. Как же возникает гром, и почему его раскаты слышны довольно длительное время? Всегда ли гром грохочет? Я читал, что в радиусе 100 м от места удара молнии вначале слышен щелчок, затем — треск (как от пастушьего кнута) и только потом — грохот. Что вызывает щелчок и треск? А чуть дальше вместо резкого щелчка слышен взвизг. Почему?

82, с. 114—116; 220, гл. 6;

299, с. 124—127; 300, с. 162, 163; 301; 302—305; 1617; 28д, с. 175—177.

Распространение звука ослабление

1.75. Звуки полярного сияния и замерзшие слова. Можно ли слышать полярные сияния (см. задачу 6.30)? Сообщалось о потрескиваниях и шелестящих звуках (напоминающих «звуки» горящей травы и морозящего дождя), которые связаны с колебаниями интенсивности полярного сияния. Трудно представить, как звуки, возникающие на столь большой высоте (более 70 км), могут доходить до наблюдателя, стоящего на земле, сохраняя заметную громкость, хотя, казалось бы, они должны были претерпеть значительное ослабление на таком большом пути. Недавно было предложено такое объяснение: электроны, образующиеся в атмосфере при полярном сиянии, возбуждают так называемые плазменные акустические волны; последние и производят обычные звуковые волны. Безотносительно к действительному механизму передачи звука, можно ли все же услышать звук, возникающий так высоко? Что происходит с энергией звука при его распространении в атмосфере сверху вниз?

Было и другое, весьма оригинальное объяснение: мы слышим наше собственное дыхание, замерзающее в холодном воздухе (рис. 1.75). Можно ли услышать столкновения кристалликов льда, образующихся в выдыха-

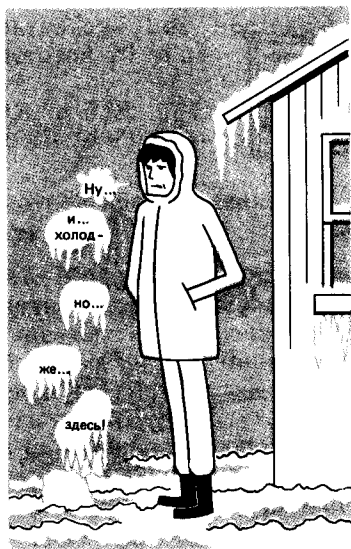


Рис. 1.75.

емом воздухе, если окружающий воздух очень холодный и спокойный? Если да, то как холодно при этом должно быть?

1506—1511; 1532.

Ударные волны

1.76. Темные тени на облаках. В сражении у линии Зигфрида во время второй мировой войны американские военнослужащие замечали, как на фоне белых перистых облаков проходили какие-то темные тени. Они представляли собой дуги окружностей, центры которых располагались на немецкой стороне. Причиной возникновения теней считали тяжелую артиллерию. Что это за тени? Как вы считаете, могли ли они появляться поодиночке или только парами? Наконец, почему облачный фон был

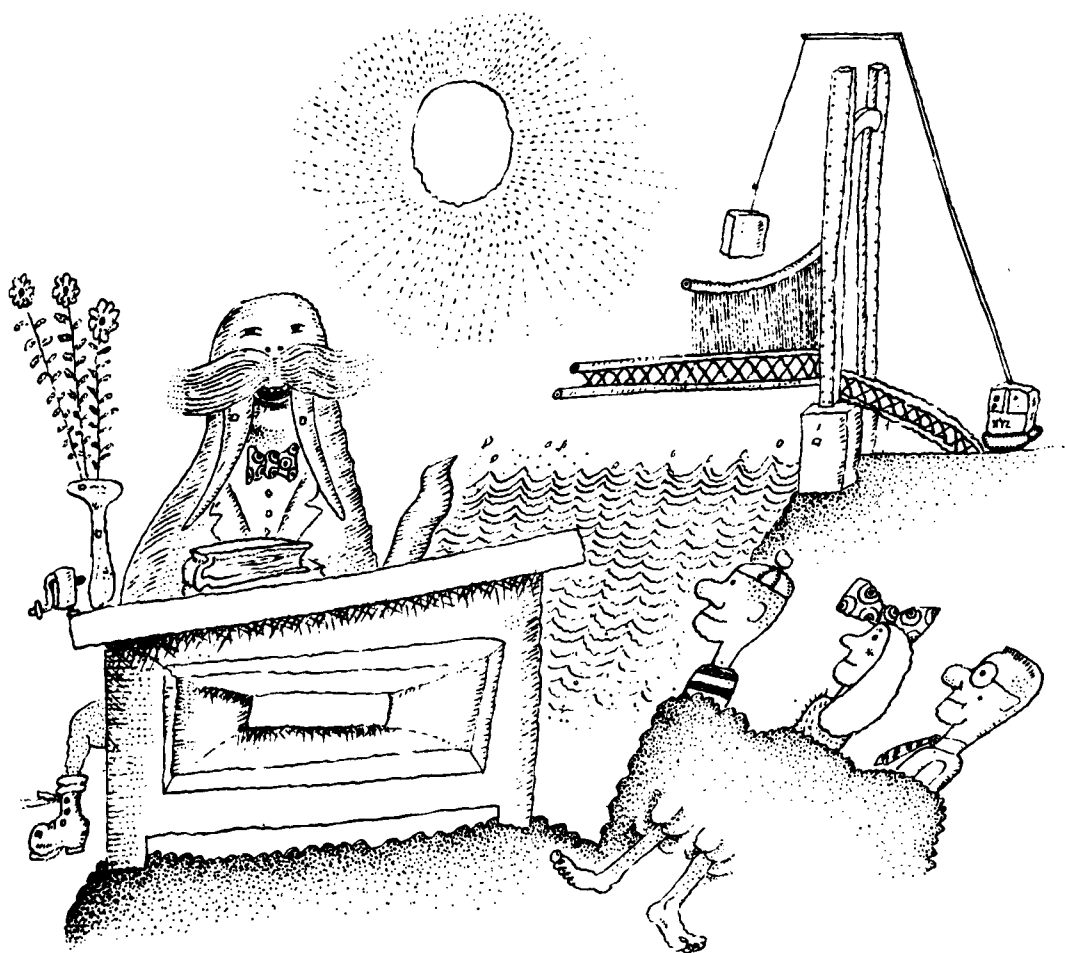
непременным условием для их наблюдения?

142, с. 154; 306—308; 30д, с. 145—202.

1.77. Щелканье бича. Что производит звук, когда щелкают бичом? Попробуйте подкрепить свои догадки примерными расчетами.

82; 159; 288; 309; 32д.

Морж рассуждает о классической механике



Кинематика и динамика прямолинейного движения (2.1—2.22)

Сила уравнение движения
перемещение
скорость энергия
ускорение импульс
поперечное сечение
поток

2.1. Стоит ли бежать под дождем? Допустим, вам нужно перейти улицу под дождем, а зонта у вас нет. Как поступить: бежать или идти шагом? Если вы побежите, то проведете под дождем меньше времени. Тем не менее может случиться, что вы намокнете сильнее, чем если бы шли шагом, так как вы «набегаете» на дождевые струи. Попробуйте произвести грубый подсчет, рассматривая свое тело как прямоугольный параллелепипед соответствующих размеров. Зависит ли ваш ответ от того, какой идет дождь: косой или вертикальный? (Если вам трудно ответить на этот вопрос, попробуйте сначала ответить на другой: как зависит скорость наполнения выставленного на дождь ведра от скорости ветра? — *Ред.*)

2.2. Как ловить «свечу»?
Если при игре в бейсбол¹

¹ Несколько задач этого раздела касаются бейсбола — игры, чрезвычайно популярной в США и почти неизвестной у нас. Мы приведем здесь лишь те сведения о бейсболе, которые могут потребоваться при разборе задач. Бейсбольная площадка имеет форму квадрата со стороной 90 футов (27,4 м.).



В каждом углу квадрата расположены «базы», одна из которых называется «домом». Подающий находится в центре поля. Он бросает мяч игроку команды противника, который в этот момент стоит в «доме» (размер «дома» 17×17 дюймов, или 43×43 см). Этот игрок должен отбить брошенный ему мяч за пределы поля и успеть за время полета мяча добежать вдоль границы поля до следующей «базы».

В игре используются довольно тяжелый тряпичный мяч диаметром около 15 см и деревянная бита длиной около 80 см. — *Прим. перев.*

высокий мяч — «свеча» — падает на вашу часть поля, вы можете поступить двояко: или быстро добежать до места падения мяча и там дожждаться его, или побежать с более или менее постоянной скоростью, чтобы поспеть к мячу как раз в момент его падения. Тогда в первом случае возникает вопрос, как вы угадываете место падения мяча, а во втором — как вы определяете нужную скорость бега? Конечно, главное здесь — опыт, но все-таки что же при наблюдении полета мяча указывает вам, куда и как бежать?

121.

2.3. Стоит ли ехать на желтый свет? Каждый водитель порой оказывается перед необходимостью быстро решить, остановиться или проехать на желтый свет светофора. Это подсказывает ему интуиция, выработанная методом проб и ошибок; однако точный расчет позволяет проанализировать такие ситуации, где интуиция бессильна.

При каких значениях начальной скорости и расстояния до перекрестка следует остановиться (или рискнуть проехать на красный свет), если заранее известны время, в течение которого горит желтый свет, и размеры перекрестка?¹ Определите интервал скоростей и расстояний, при которых вы успеете проехать вовремя. Обра-

¹ Согласно «Правилам дорожного движения» ускорение автомобиля не должно превышать $5,8 \text{ м/с}^2$ (гл. XI, п. 165). — *Прим. ред.*

тите внимание, что при некоторых значениях этих параметров вы можете решать, проезжать или нет. Но, возможно, что скорость или расстояние будут такими, что вы не успеете ни проехать, ни остановиться вовремя — и тогда вас ждут большие неприятности.

123.

2.4. Успеть подставить биты.

Чтобы в бейсболе игрок с битой мог взять мяч, он должен подставить биты в определенном положении. Какую ошибку в оценке расстояния по вертикали и в определении момента удара можно допустить, чтобы тем не менее взять мяч? Сумеете ли вы принять мяч, если определите момент удара с ничтожной ошибкой в 0,01 с?

4.

2.5. Повернуть или остановиться?

Порой от знания физики может зависеть ваша жизнь. Представьте себе, что автомобиль, за рулем которого вы сидите, едет прямо на кирпичную стену, которая находится в конце Т-образного перекрестка (рис. 2.5). Что делать? Тормозить изо всех сил, не допуская заноса, стараясь рулить прямо? Поворачивать на полной скорости или выкруливать вбок, тормозя по мере возможности?

Рассмотрим задачу последовательно. Для начала предположим, что вы успеете вовремя, если будете тормозить, не сворачивая. Будет ли при этом поворот

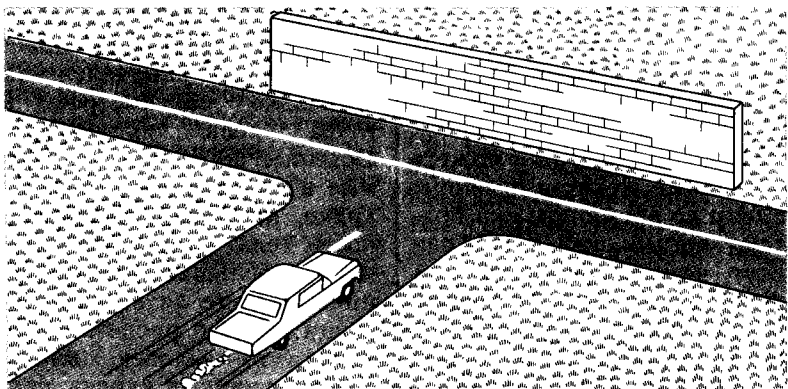


Рис. 2.5. Повернуть или остановиться?

столь же безопасным? Прежде всего, конечно, следует рассмотреть идеальный случай. Затем можно учесть возможность заносов, различие в сцеплении с дорогой передних и задних колес, «усталость» тормозов.

А что если торможение на прямой не спасет вас? Стоит ли тогда стараться повернуть или, может быть, смириться с трагической неизбежностью?

Другой вариант аналогичной ситуации: перед вами на дороге большой предмет. Что лучше сделать: остановиться или попытаться его объехать? Конечно, все зависит от размеров предмета.

Не давайте поспешных ответов. Пусть вы и опытный водитель, но интуиция порой может подвести, а ведь дело касается вашей жизни.

122.

2.6. Секреты игры в гольф.

Как следует замахиваться клюшкой для гольфа, чтобы сообщить мячу максимальную скорость? Хотя большинство игроков предпочло бы, чтобы этот вопрос не

выносился за пределы избранного круга, мы все же попытаемся ответить на него с помощью физики. Каким должен быть начальный угол отклонения клюшки? Когда нужно расслабить кисть руки? Должны ли руки, клюшка и мяч находиться в момент удара на одной прямой?

5; 6; 1613.

Передача импульса движение центра масс

2.7. Прыгающие бобы. Почему скачут прыгающие бобы? Лежа спокойно на вашей ладони, они вдруг начинают подпрыгивать, и эти прыжки повторяются каждые несколько секунд. Не нарушается ли здесь закон сохранения импульса?

7; 8; 9, с. 238.

2.8. Прыжки. Как высоко вы можете прыгнуть? Как рассчитать высоту прыжка? Прыгали ли бы вы выше, если бы у вас были более длинные ноги? Как нужно

держат руки перед прыжком и как они должны двигаться при прыжке, чтобы высота прыжка увеличилась?

Как далеко вы можете прыгнуть? Некоторые спортсмены во время прыжка болтают ногами, как будто они едут на велосипеде. Помогает ли это? Под каким углом лучше всего отрываться от земли? Не равен ли он углу (45°), при котором максимальна дальность полета снаряда?

Почему при прыжках с шестом и прыжках в длину спортсмен делает рывок, а при прыжке в высоту бежит довольно медленно? Разве не во всех этих случаях в момент толчка нужно иметь максимальную скорость?

Одинаково ли вы можете прыгнуть в высоту и длину на морском побережье и в горах? Если высота над уровнем моря имеет значение, то не следует ли учитывать это при регистрации рекордов?

10—13; 38д.

2.9. Медленный мяч. В бейсболе игроку с битой противник часто старается подать «медленный» мяч, считая, что при этом ему будет труднее добежать до «базы». Можно ли это как-то объяснить с точки зрения физики?

14, с. 274.

Импульс соударения

2.10. Удары «каратэ». В секции каратэ меня учили «ко-

роткому» удару кулаком, ногой или ребром ладони. Такой удар направлен на несколько сантиметров в глубь тела противника. Обычные же удары, наносимые в какой-нибудь уличной драке, нацелены на поверхность тела. Какой удар наносит большие повреждения? Можете ли вы при помощи грубого расчета доказать, что человек, владеющий приемами каратэ, способен таким коротким ударом разбить деревянную доску, кирпич, кость? (Подумайте также, как нужно ударять молотком по гвоздю, который вы забиваете в легкую фанерную перегородку? — *Ред.*)

1632; 5д, с. 69—71.

2.11. Молотки. Каким молотком — легким или тяжелым — должен пользоваться скульптор для работы с долотом? Каким молотком лучше забивать гвозди? Когда упругий удар (с отдачей молотка) выгоднее неупругого? Тяжелее или легче сваи должны быть копёр для забивания свай? Ответить на эти вопросы вам, наверное, поможет интуиция, но ее следует подкрепить расчетами.

15; 16, с. 396—399; 8д, с. 145—158.

Упругость

2.12. Мягкие и твердые мячи. Одинаково ли нужно бить по мягкому и твердому мячу? В частности, не должен ли удар по первому

быть «короче», чем по второму?

4; 39д, с. 63—64.

2.13. Тяжелые биты. Почему игрок в бейсбол предпочитает тяжелую биту? Казалось бы, тяжелой бите труднее сообщить большую скорость, чтобы дальше послать мяч. Нужно ли пользоваться тяжелой битой для «бунта»¹? Имеет ли вообще существенное значение масса биты?

4; 8д, с. 145—148.

Движение центра масс

2.14. Движущийся стул. Как известно, движение центра масс тела может изменяться только под действием приложенной к телу внешней силы, однако вы можете проехать через комнату на стуле, не касаясь пола ногами. Если ваши судорожные движения на стуле связаны с внутренними силами, то чем же обусловлена внешняя сила?

Мощность энергии

2.15. Сальто-мортале жука-щелкуна. Если пощекотать лежащего на спинке жука-щелкуна, он подпрыгивает вверх сантиметров на 25, при этом раздается громкий щелчок. Ерунда, возможно, скажете вы. Но, действи-

¹ «Бунт» — обманный трюк, при котором игрок замахивается битой как бы для удара, но на самом деле останавливает мяч, принимая его на биту. — *Прим. перев.*

тельно, жучок без помощи ног делает толчок с начальным ускорением 400 g , а затем переворачивается в воздухе и приземляется уже на ноги. 400 g — удивительно! Еще более удивительно то, что мощность, развиваемая при толчке, раз в сто больше мощности, которую может обеспечить какая-либо из мышц жучка. Как удастся жучку развить такую огромную мощность? Часто ли он способен совершать свои изумительные прыжки? Чем ограничена частота их повторения?

21; 1485; 1531.

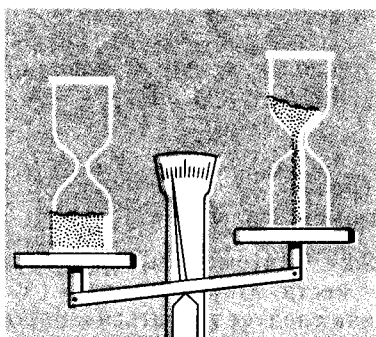
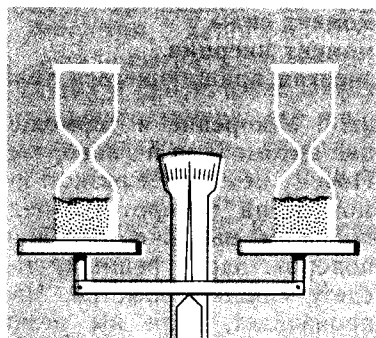


Рис. 2.16. Вес песочных часов.

2.16. «Вес времени». Зависит ли вес песочных часов от того, течет в них песок или нет (рис. 2.16)? Не должны ли часы весить меньше, когда часть песка в них свободно падает?

17; 40д.

Давление сила

2.17. Регулятор давления. Приходилось ли вам когда-нибудь готовить в кастрюле-скороварке? На крышке моей кастрюли имеется трубка, на которую надевается тяжелый цилиндрок. Сбоку цилиндрика просверлены три отверстия разного диаметра, и, надевая цилиндрок на трубку тем или иным отверстием, я регулирую давление в кастрюле (рис. 2.17).

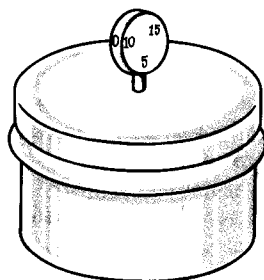


Рис. 2.17. Регулятор давления.

Как работает такой регулятор? Очевидно, выходящий из кастрюли пар в любом случае должен приподнять один и тот же цилиндрок вне зависимости от того, в каком положении он установлен. Почему же, выбирая разные отверстия, я меняю давление в кастрюле?

Упругость

2.18. Мячик как смертельное оружие. Если маленький мячик из очень упругой резины бросить на пол вместе с мячом побольше так, как показано на верхнем рисунке, то после того, как мячи ударятся об пол,

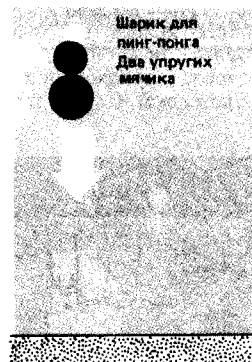
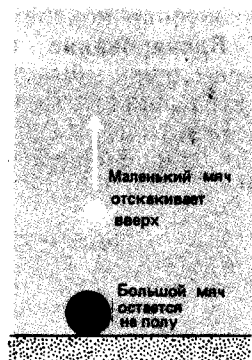
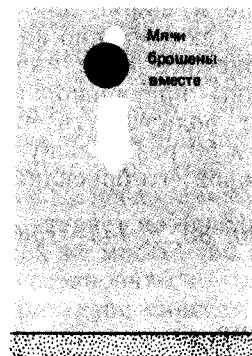


Рис. 2.18. Так отскакивают одновременно брошенные мячи.

маленький мячик подпрыгнет в воздух. Можно так подобрать массу маленького мячика, что большой мяч после удара останется на полу, а маленький подскочит на высоту, почти в девять раз большую той, с которой его бросали.

Попробуйте также бросить большой мяч, мяч поменьше и шарик для пинг-понга, как показано на нижнем рисунке. Если мячи подобраны правильно, шарик может подпрыгнуть на высоту, в 50 раз большую той, с которой его бросили.

18—20; 8д, с. 145—158.

Трение (2.19—2.22)

2.19. Блокирование колес. Если вам нужно быстро остановить машину, следует ли резко нажать на педаль тормоза и заблокировать колеса?¹

2д; 41д.

¹ Опытные водители рекомендуют при торможении на скользкой дороге не выключать сцепления, т.е. не отсоединять колеса от двигателя. Попробуйте объяснить, почему такой способ торможения безопаснее. - *Прим. ред.*

2.20. Автомобильные шины без протектора. Если бы вам предоставилась возможность выбирать между нормальными и широкими шинами без протектора, то какие бы вы предпочли с точки зрения лучшего торможения?

Во время гонок серийных автомобилей на их задние колеса часто надевают широкие шины без протектора. Почему?

Работа мощность

2.21. Трение и автомобильные гонки. Во время автомобильных гонок результаты оцениваются в первую очередь по двум главным показателям: максимальной скорости автомобиля и времени прохождения им дистанции в четверть мили. Чтобы увеличить сцепление колес с дорогой, перед стартом под задние колеса подливают липкую жидкость. Однако увеличение трения, как оказывается, влияет на время, затрачиваемое на прохождение дистанции, но мало влияет на максимальную скорость. Почему?

22; 8д, с. 432—434; 35д.

2.22. Линейка, скользящая по пальцам. Положите дере-

вянную линейку горизонтально на указательные пальцы рук и не торопясь сближайте пальцы (рис. 2.22). Равномерно ли движется линейка по пальцам? Нет, она скользит по очереди то по одному, то по другому пальцу. Почему так происходит?

23; 24; 36д, с. 98—99; 37д.

Кинематика и динамика движения по окружности (2.23—2.55)

Движение по окружности момент силы момент инерции энергия вращающегося тела

2.23. Ускорение и торможение автомобиля на повороте. Почему не следует резко тормозить на повороте? Предположим, вы, уже совершая поворот, вдруг решили, что едете слишком быстро. Что произойдет, если вы резко нажмете на педаль тормоза?

Гонщики нажимают на педаль газа, выходя из поворота, но не на повороте. Почему?

29; 30, с. 8; 2д, с. 433; 44д, т. VIII, с. 325—363.

Трение момент силы

2.24. Автомобиль трогается с места. Много спорят о том, как следует трогаться с места на скользкой дороге. Одни утверждают, что это нужно делать на низкой передаче, другие говорят, что на высокой. Имеет ли вообще значе-

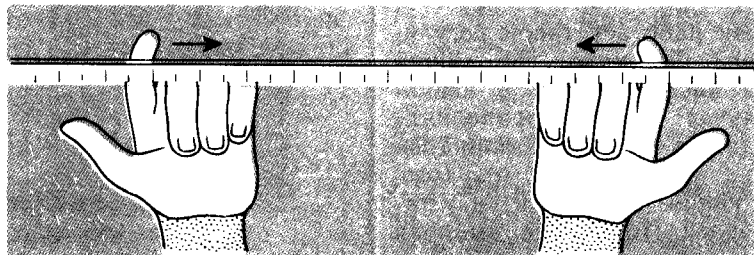


Рис. 2.22. Линейка, скользящая по пальцам.

ние, какая передача включена? Что требуется, чтобы автомобиль тронулся с места? Почему его начальная скорость должна быть малой? Какое преимущество имеет одна передача перед другой? Попробуйте объяснить, как зависит момент силы, действующей на колесо, от передачи, и установить, в каком случае этот момент должен быть больше, а в каком — меньше.

28; 8д, с. 432—434; 35д, 41д.

Закон сохранения импульса и момента импульса действие и противодействие

2.25. Брошенный на льду. Допустим, ваши приятели решили сыграть с вами злую шутку и бросили вас посреди большого замерзшего пруда. Лед настолько скользкий, что вы не в состоянии ни пройти, ни даже проползти по нему к берегу. Как же вам поступить?

Теперь предположим, что

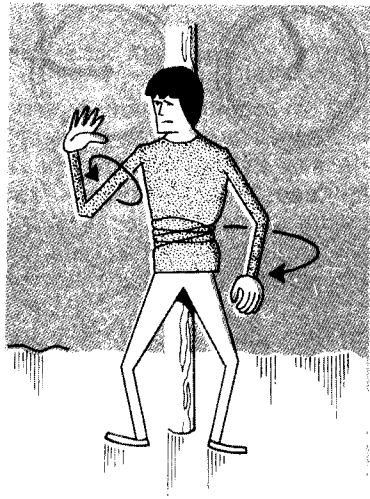


Рис. 2.25.

вас положили на лед на спину. Через некоторое время вы почувствуете, что спина промерзла и вам нужно перевернуться. Как это сделать на таком скользком льду?

Шутка могла бы оказаться еще злее. Например, вас стоя привязали бы к столбу, торчащему где-то посередине льда (рис. 2.25). Как вам повернуться вокруг столба, если ваши руки свободны? Столб слишком гладкий и скользкий, чтобы за него ухватиться, а лед еще более скользкий, и ногами в него не упереться. Что нужно сделать, чтобы повернуться вокруг столба лицом в другую сторону?

9, с. 238; 28д, с. 84—94; 43д, с. 181—182.

Прецессия центр тяжести

2.26. Автомобиль, велосипед, поезд на повороте. Как вы поворачиваете на велосипеде, а точнее, как вы начинаете поворот? Мотоциклист поворачивает, наклоняя мотоцикл, а руль при этом стоит прямо. Иначе обстоит дело с велосипедом. С чем связано это различие?

Для того чтобы поезд на повороте не сошел с рельсов под действием центробежной силы, полотно железной дороги делается наклонным и наружный рельс на повороте часто бывает приподнят. Влияет ли этот наклон на поворот поезда так же, как наклон при повороте мотоцикла? Попробуйте сделать хотя бы грубый расчет, чтобы выяснить это.

И наконец, что вы можете сказать о повороте гоночных автомобилей?

16, с. 535, 536; 24; 35; 36, с. 43, 44; 37, с. 146, 147; 38, с. 89—93; 44; 1612.

Удар импульс линейная кинематика

2.27. Бильярдные удары. Как вы, играя в бильярд, осуществляете «удар с протяжкой» (при таком ударе «свой» шар идет за тем, по которому он ударил) и «удар с отскоком» (когда «свой» шар после удара катится обратно)? Казалось бы, когда движущийся шар ударяет по неподвижному той же массы, сам он должен остановиться.

При ударе «массё» «свой» шар движется по параболе (рис. 2.27, а). (Такие удары в основном запрещены пра-

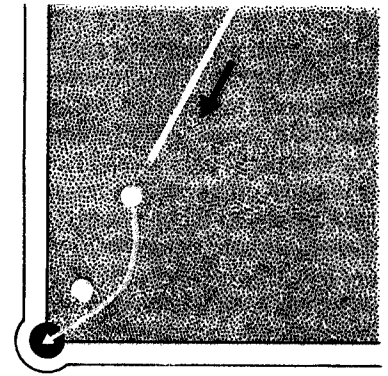


Рис. 2.27,а. Удар «массё».

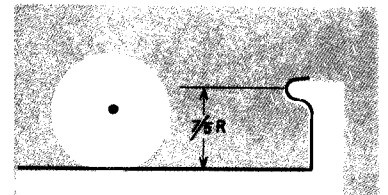


Рис. 2.27,б. Высота бортика.

вилами, поскольку, промахнувшись, игрок может порвать сукно на столе.) Как нужно ударить по шару, чтобы он описал параболу?

Почему бортик бильярдного стола выше центра шара (рис. 2.27, б)? Разве шар не лучше отскакивал бы от него, если бы удар о борт прихо-

дился на уровне центра шара?

14, с. 143—146; 24, с. 222—227; 25; 26, с. 183—186; 27.



Рис. 2.28. Фокусы с упругим мячиком.

2.28. Забавы с упругим мячиком. Современная химическая технология позволяет изготавливать маленькие очень упругие мячики из литой ре-

зины, с которыми можно проделывать довольно забавные трюки (рис. 2.28). Подумайте, как их осуществить, и по-

пытайтесь дать им объяснение.

31; 32.

**Устойчивость
коэффициент полезного действия**

2.29. Конструкция велосипеда. Почему современный велосипед делается именно таким? В прошлом существовало много различных конструкций велосипедов (рис. 2.29, внизу). Одни имели колеса разного диаметра, у других педали соединялись прямо с осью переднего колеса. Отличается ли современный

велосипед большей устойчивостью и большим коэффициентом полезного действия (к. п. д.) по сравнению

со своими предшественниками?

Почему вилка переднего колеса у современного вело-

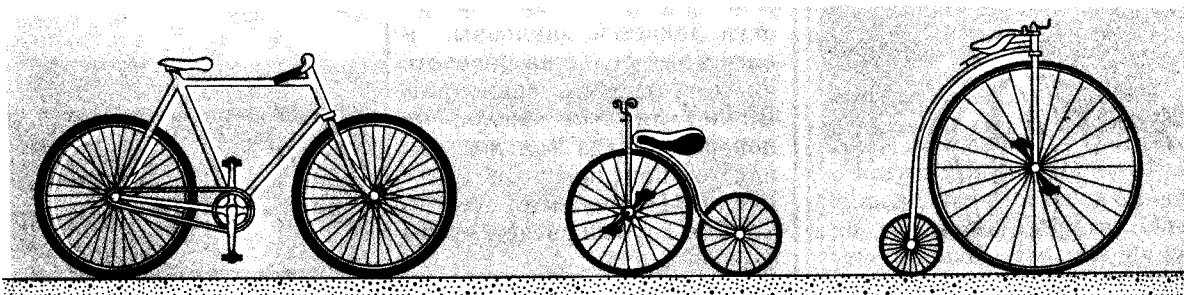
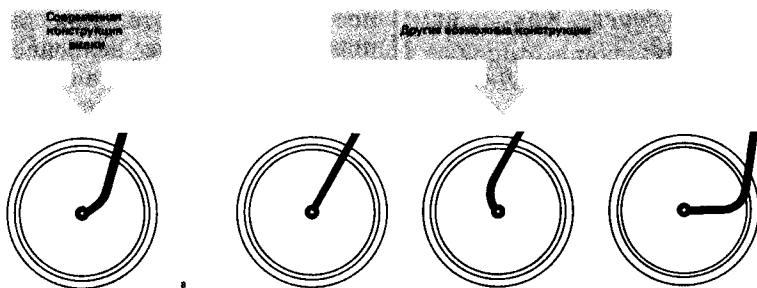


Рис. 2.29.

сипеда изогнута? Сохранит ли велосипед устойчивость, если этой вилке придать другие формы, скажем, такие, как показано на рис. 2.29 (вверху)?

35; 39; 41; 42, т. II, гл. 6; 43.

Резонансное возбуждение

2.30. Хула-хуп. Хула-хуп — это пластмассовый или алюминиевый обруч, который можно крутить на талии, проделывая соответствующие движения телом (рис. 2.30). Это развлечение при-

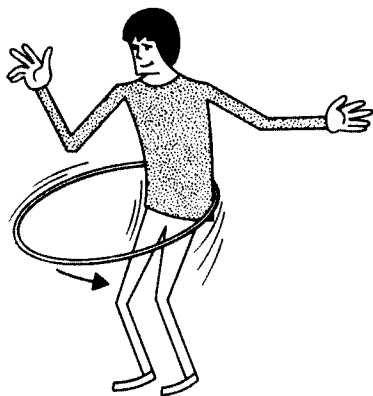


Рис. 2.30. Хула-хуп.

обрело популярность в 50-е годы, но подобные обручи — их крутили на руках или ногах — давно использовались у различных народов в играх и танцах. Американские индейцы, например, танцевали с ними.

Подумайте, благодаря чему хула-хуп крутится и не падает. Сначала резким броском вы заставляете его вращаться у пояса, а затем удерживаете вращательным движением бедер. Должна ли начальная скорость обруча быть больше той, с которой

он будет вращаться в дальнейшем? Как вы поддерживаете его движение? Совпадает ли вращение обруча по фазе с вращением вашего тела? Какова минимальная скорость движения вашего тела?

34.

Устойчивость момент силы

2.31. Как удержаться на велосипеде. Как вы удерживаете равновесие на велосипеде? Поворачиваете ли вы руль в сторону, когда чув-

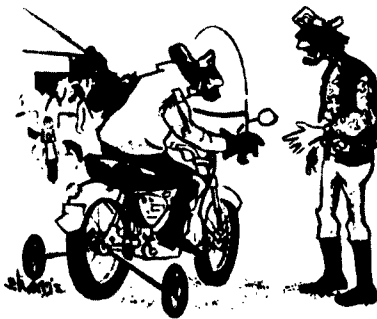


Рис. 2.31. «Никто не любит падать, Рокко, но ты стал слишком выделяться среди нас».

ствуете, что начинаете падать, выравнивая тем самым велосипед, или устойчивость в основном обеспечивается самим велосипедом? По-видимому, он все-таки вносит какой-то вклад в устойчивость, так как если его толкнуть вперед без седока, то он секунд двадцать катится прямо.

Как вы управляете велосипедом и удерживаете равновесие, катаясь «без рук»? Представьте себе, что вы

стоите рядом с велосипедом и наклоняете его вправо. Куда повернется переднее колесо и почему?

24; 35; 36, с. 43, 44; 37, с. 146, 147; 38, с. 89—93; 42, т. II, гл. 6; 43; 44; 39д, с. 73.

Вынужденное вращение

2.32. Лассо в руках ковбоя. Как ковбой крутит своим лассо? Какая минимальная скорость должна быть у лассо, чтобы оно удерживалось в горизонтальной плоскости? А в вертикальной?

33; 120.

Момент инерции устойчивости

2.33. Вращение книги. Если книгу связать резинкой, чтобы она не раскрылась, то ее можно подбросить вверх так, что она будет вращаться вокруг любой из осей, показанных на рис. 2.33. Движение относительно двух из них — обычное, устойчивое вращение. Движение же относительно третьей оси весьма сложное, как бы аккуратно вы ни бросали книгу. По-

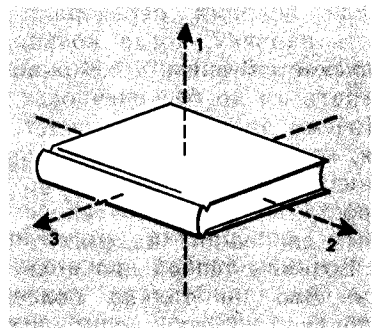


Рис. 2.33.

пробуйте проделать это сами и попытайтесь объяснить, чем вызваны беспорядочные колебания, которые соверша-

ет книга при вращении вокруг третьей оси.

44; 5д, с. 191.

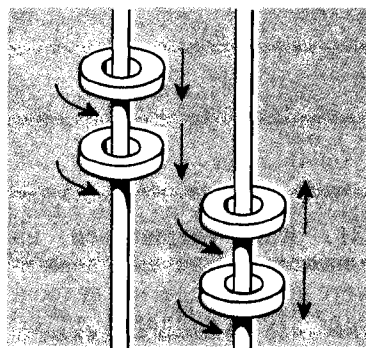
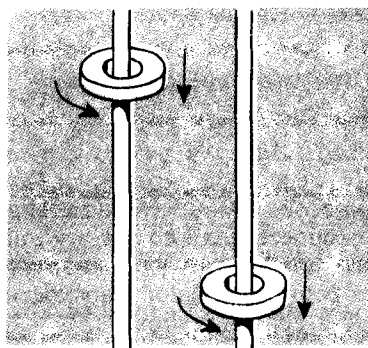


Рис. 2.34.

Сохранение энергии соударения

2.34. Кольцо на палочке. Существует одна простая, но весьма забавная игрушка. Она состоит из кольца довольно большого внутреннего диаметра, которое надето на палочку. Кольцо раскручивают щелчком и палочку ставят вертикально. Кольцо начинает спускаться вниз (гораздо медленнее, чем можно ожидать), и чем ниже оно опускается, тем быстрее вращается, спуск же при этом замедляется (рис. 2.34). Если вовремя переворачивать палочку, когда кольцо спускается вниз, то можно играть им до бесконечности. Почему вращение ускоряется, когда кольцо опускается вниз? И почему кольцо просто не падает с ускорением свободного падения?

Возьмем теперь два кольца. Это не только более забавно — здесь возможны прямо-таки удивительные вещи. Верхнее колечко может

падать быстрее нижнего и столкнуться с ним. Если это произойдет, кольца отскочат друг от друга, и верхнее начнет подниматься. Почему? (Эти опыты удобно проводить с бухгалтерскими счётами. — *Ред.*)

Момент силы центр тяжести

2.35. Как перевернуть каяк? Как эскимос может поставить прямо перевернувшийся каяк, не выбираясь при этом из него?

45; 1563.

2.36. Шины большого диаметра. Будет ли автомобиль двигаться быстрее, если поставить на колеса шины большого диаметра?

Момент инерции устойчивость

2.37. Автомобиль на льду. Что нужно делать, чтобы выправить автомобиль, если его «заносит» в гололед: пытаться вырулить прямо или поворачивать руль в сторону заноса? Почему?

46; 41д, 172д.

2.38. Балансировка колес. Будет ли сбалансировано вращающееся колесо автомобиля, если оно балансировалось статически при помощи обычного пузырькового уровня? Можно ли добиться одновременно статического и динамического баланса колеса, прикрепляя к его ободу один балансировочный груз? А два груза?

47; 5д, с. 191.

Момент силы момент инерции

2.39. Отрывая туалетную бумагу. На некоторых кронштейнах для туалетной бумаги можно отмотать весьма длинный кусок бумаги, не порвав ее, если рулон еще достаточно большой; если же рулон почти использован, бумага обрывается лишь маленькими клочками. Почему? Почему на других кронштейнах наблюдается совершенно обратная картина?

Момент силы момент импульса

2.40. «Блины» на воде. Как объяснить скачки камня по воде? Если бросить камень

так, чтобы он подпрыгивал на влажном, слежавшемся песке, то при отскоках он оставит на песке след. Можно заметить, что сначала камень отскакивает на небольшое расстояние, порядка нескольких сантиметров, потом его «прыжок» увеличивается примерно до метра, затем опять небольшой скачок — и так пока камень не остановится (рис. 2.40, а). Почему это происходит?

Во время второй мировой войны англичане использовали эффект прыгающего по воде камня при бомбежке

немецких плотин. Очень трудно попасть с воздуха в плотину, особенно под огнем зениток. И тогда была создана бомба цилиндрической формы [длиной порядка 5 футов (1,5 м) и чуть меньше в диаметре], которую перед сбрасыванием раскручивали в бомбовом отсеке самолета до скорости примерно 500 об/мин (рис. 2.40, б).

Когда такая бомба ударялась об воду, она начинала подпрыгивать, как брошенный по воде камень, и непрерывно укорачивающимися

скачками «подбиралась» к плотине. Там вследствие вращения бомба не отскакивала от плотины, а начинала катиться по ее основанию в глубину; примерно в 10 м под водой срабатывал взрыватель, который был снабжен датчиком гидростатического давления. Так блестяще была решена задача обеспечить прицельное попадание пятитонной бомбы с точностью до нескольких футов [50].

48; 49; 50; 1486; 42д.

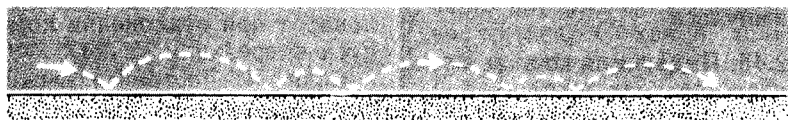


Рис. 2.40,а. Траектория камня, скачущего по песку.

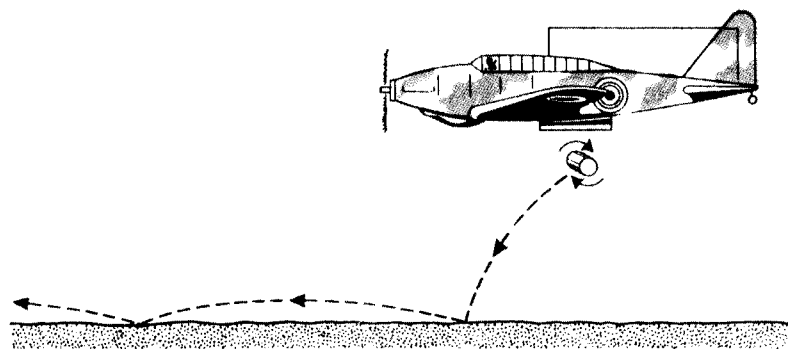


Рис. 2.40,б. Прыгающая бомба.

Момент силы момент импульса

2.41. Дифференциал автомобиля. Когда автомобиль совершает поворот, колеса, движущиеся по наружной дуге, должны вращаться быстрее, чем те, что движутся по внутренней дуге. Как это

может происходить, если «наружные» и «внутренние» колеса (попарно — передние и задние) установлены на одной оси?

24; 52, с. 500, 501; 40д.

Момент инерции

2.42. Установка двигателя на гоночном автомобиле. На некоторых европейских гоночных автомобилях двигатель стоит не спереди и не сзади, а посередине. В Европе гонки обычно проходят

прямо на улицах, поэтому гонщику приходится то и дело поворачивать автомобиль на большой скорости. Какое преимущество имеет расположение двигателя в центре?

Центр тяжести устойчивость

2.43. Хожение по канату. Каким образом канатоходец удерживает равновесие, идя по туго натянутому канату? Как помогает канатоходцу шест, который он держит в руках? (Попробуйте разобратся, как жонглер удерживает в равновесии длинный шест? Какой шест удерживать легче: короткий или длинный? — *Ред.*)

39д, с. 73.

Орбиты момент силы момент импульса

2.44. «Попади в бутылочку». На старинных карнавалах было такое развлечение —

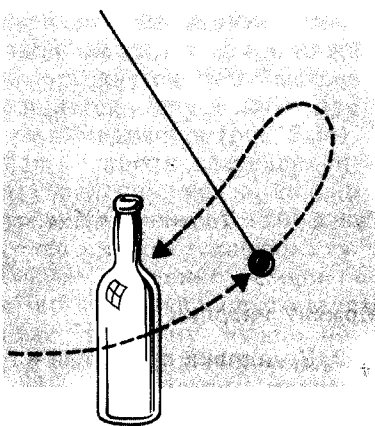


Рис. 2.44. Грузик нужно толкнуть так, чтобы он сбил бутылку, возвращаясь назад.

попасть в бутылку грузиком, подвешенным на веревке точно над ней (рис. 2.44). Правила игры запрещают попадать в бутылку спереди или перебрасывать груз через верх бутылки. И тем не менее фокус, казалось бы, прост; за несколько бросков вы определяете нужную траекторию и — приз в ваших руках! Так попробуйте! И попытайтесь объяснить, почему фокус не удастся. Что нужно сделать, чтобы все-таки попасть в бутылку?

53, с. 184; 50д, с. 76, 209—210.

Момент силы сохранение момента импульса

2.45. Падающая кошка. Всем известно, что если бросить кошку вверх ногами, она все равно приземлится на лапы. Даже бесхвостые кошки обладают этой загадочной способностью. Но если момент внешних сил равен нулю, то момент импульса кошки должен сохраняться. А если это так, то каким образом кошка переворачивается в процессе падения на 180° ? Если же момент импульса не сохраняется, то где и как он должен измениться? В работах [36] и [54] приведены фотографии переворачивающейся кошки; они достаточно ясны, чтобы помочь вам ответить на эти вопросы.

9, с. 238; 36, с. 56, 57; 54; 55; 43д, с. 181—182.

2.46. На лыжной трассе. Чтобы совершить поворот на лыжах, необходимо проделать довольно сложные

вращательные и другие движения телом. Мы рассмотрим некоторые наиболее простые из них.

«Австрийский поворот» начинается с низкого приседания, за которым следует мощный рывок вверх, сопровождаемый поворотом верхней части корпуса. При этом ноги и лыжи поворачиваются в противоположную сторону. Почему? На какой угол поворачиваются лыжи при заданном повороте верхней части корпуса лыжника?

Когда вы спускаетесь с горы, то при нормальном положении корпуса лыжи идут прямо. Движение же корпусом вперед или назад приводит к повороту. Почему? В какую сторону происходит поворот при отклонении корпуса вперед или назад?

Если вы поставите лыжи боком (наружная кромка лыж приподнята так, что они образуют некоторый угол к поверхности), то перенос тяжести тела вперед или назад тоже приводит к повороту, но в направлении, противоположном тому, в котором происходит поворот при обычном положении лыж. Почему? Какими силами обусловлен этот поворот?

55; 1525.

2.47. «Ио-ио»¹. Почему игрушка «ио-ио» возвращается обратно в руку? И что можно сказать насчет «спящей ио-ио», когда колесико спускается вниз и крутится на конце нитки, пока легкий рывок не заставляет его вернуться обратно вверх? Если «спящую ио-ио» опустить на пол, то колесико покатится по полу; это называется «гулять с собачкой».

С этой удивительной игрушкой можно проделать еще более забавный трюк. Когда «ио-ио» «спит», снимите нитку с пальца и зажмите ее между большим и указательным пальцами. Теперь легонько шлепните по руке, которая держит нитку, ладонью другой руки. Как только колесико начнет забираться вверх, отпустите нитку — колесико будет продолжать двигаться вверх по ничем не удерживаемой нитке, аккуратно сматывая ее. Озадачьте своих друзей, поймав игрушку в карман, когда вся нитка будет намотана.

24; 56; 5д, с. 183—184, 176д.

¹ Игрушка «ио-ио» представляет собой маятник Максвелла (см. бд, с. 183) с двумя массивными дисками, укрепленными на концах короткой оси. Ось продета в петлю на конце длинной нити. Вначале нить наматывают на ось. Затем игрушку отпускают, удерживая в руке свободный конец нити. Игрушка начинает падать, вращаясь все быстрее и быстрее и как бы скатываясь по нити.

Когда игрушка окажется в нижней точке, ось может свободно проворачиваться в петле — это будет «спящая ио-ио». При ослаблении нити на ось может наматываться 1—2 витка, трение увеличится, и «ио-ио» начнет подниматься, накручивая нить. Так оно достигнет верхней точки и опять начнет скатываться вниз. — *Прим. ред.*

2.48. Борьба дзюдо. Когда при борьбе дзюдо противник бросает вас на ковер, вы можете смягчить падение, если вовремя ударите рукой по ковра. Почему? Возможно, такое ощущение обусловлено самовнушением; но я на собственном опыте убедился,

что такой эффект действительно есть. Я сам занимался в секции дзюдо, и всякий раз, когда забывал или опаздывал ударить рукой по ковра, падать было больно; если же я делал это вовремя, то испытывал лишь легкое неудобство.

Момент силы момент импульса устойчивость

2.49. Вращение и снос пули. Известно, что при движении в стволе винтовки пуля приобретает вращательное движение. Винтовка, кстати, потому так и называется, что в стволе у нее имеются винтовые нарезки, пройдя через которые пуля начинает вращаться. С какой целью это делается?

Когда пуля вращается против часовой стрелки (если смотреть сзади), ее сносит влево от мишени. При вращении пули по часовой стрелке ее сносит вправо. Почему? Можете ли вы примерно рассчитать величину сноса пули большого и малого калибров?

16, с. 536, 537; 26, с. 154, 155; 36, с. 53, 140—144; 37, с. 148, 274; 38, с. 117—119; 40; 44; 64, с. 393—394; 8д, с. 457.

Центр тяжести момент силы устойчивость

2.50. Книжная башня. Как лучше всего класть книги, если вы хотите составить из них наклонную стопку, причем так, чтобы наклон был как можно больше (рис. 2.50)?

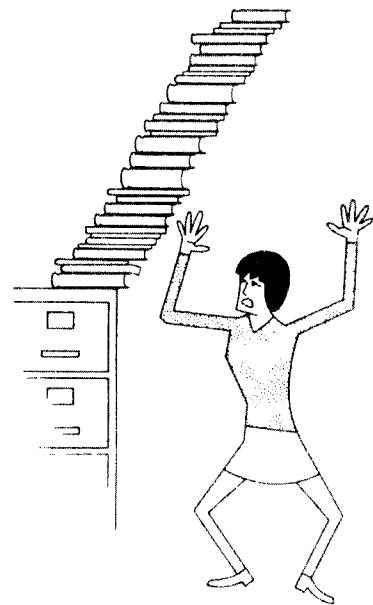


Рис. 2.50. Книжная башня — сюрприз для библиотекаря.

Следует ли класть книги так, чтобы край каждой следующей книги приходился по центру предыдущей?

57—59; 1559; 40д.

Момент импульса момент силы центр тяжести механические напряжения и нагрузки

2.51. Падающие трубы. Когда падает высокая кирпичная труба, она обычно ломается надвое. Почему она не падает целиком? В каком месте, по вашему мнению, должна сломаться труба? Будет ли излом обращен в сторону земли или наоборот (рис. 2.51а)? Постройте из детских кубиков высокую башню и посмотрите, в какую сторону она изогнется при падении? Если падаю-

шая труба не ломается, то может произойти удивительная вещь: во время падения основание трубы поднимется в воздух (рис.

2.51б). Как это может случиться?

9, с. 124, 125; 60—63; 28д, с. 115—117.

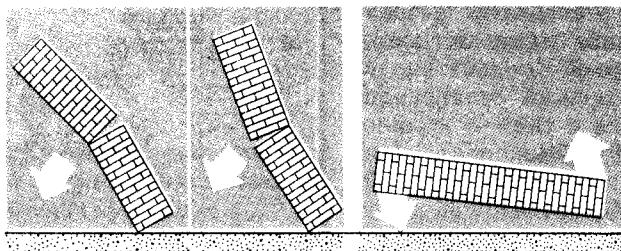


Рис. 2.51. Как ломается труба? (а). Если труба не ломается, то она может «подпрыгнуть» (б).

Силы во вращающейся системе отсчета

2.52. Битва при Фолклендских островах и «Большая Берта». Во время первой мировой войны между британским и немецким флотами произошло знаменитое морское сражение в районе Фолклендских островов, расположенных вблизи южной части Южной Америки (50° ю. ш.). В ходе этого сражения снаряды английских пушек, несмотря на точный прицел, по загадочной причине падали в сотне метров левее немецких кораблей. Прицельные устройства английских пушек не вызывали никаких сомнений, ибо пушки были очень точно пристреляны еще в Англии.

В ту же войну немцы обстреливали Париж из гигантской пушки «Большая Берта», расположенной на расстоянии 110 км от города. Если бы при этом использовалась обычная процедура прицеливания, то снаряды отклонялись бы от цели примерно на 1,5 км.

Что происходило со снарядами?

68—72; 1488; 8д, с. 364—378; 43д, с. 353—356; 45д.

Силы во вращающейся системе отсчета

2.53. Эрозия речных берегов. Почему у рек Северного полушария правый берег подвергается в среднем большей эрозии, чем левый?

24; 72; 73; 8д, с. 378.

2.54. Физика и балет на льду. Балерина на льду — вот прекрасный пример, иллюстрирующий закон сохранения момента импульса. Когда балерина прижимает руки к телу, ее вращение ускоряется именно благодаря сохранению момента импульса (внешние моменты сил при этом отсутствуют).

Это, конечно, так, но как объяснить такое явление

с точки зрения сил, действующих на балерину, — ведь нам гораздо легче оперировать с силами, чем с моментами импульса. Какая же сила ускоряет вращение балерины?

74; 28д, с. 84—94; 43д, с. 172—177, 179—180.

Подъемная сила крыла криволинейное движение

2.55. Бумеранги. Возвращающийся бумеранг сконструирован так, что, когда его бросают на большое расстояние, он возвращается обратно к тому, кто его бросил. Австралийские аборигены бросают бумеранг на 100 м, заставляя его при этом подниматься вверх примерно на 50 м и совершать в воздухе до пяти кругов. Невозвращающийся бумеранг, более удобный для охоты, летит обычно на расстояние до 200 м.

Обычный бумеранг по своей конструкции напоминает кривой банан. Обязательно ли бумеранг должен иметь такую форму? Можно ли сделать возвращающийся бумеранг Х- или Y-образным? Большинство бумерангов предназначены для бросания правой рукой. Какова разница между бумерангами для «правши» и для «левши»? Почему возвращается бумеранг (любой формы)? Почему при возвращении он делает мертвую петлю (рис. 2.55)? Наконец, как зависит траектория полета бумеранга от его ориентации в момент броска?

26, с. 153 154; 37, с. 291—296, 44; 65—67; 1564.

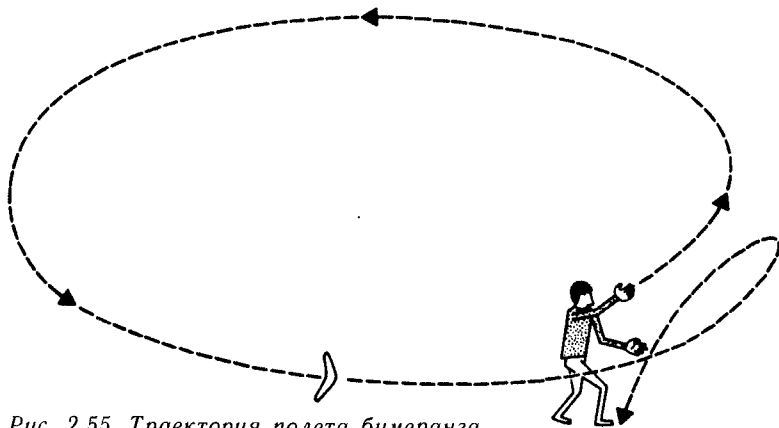


Рис. 2.55. Траектория полета бумеранга.

Периодическое движение (2.56—2.68)

**Момент силы
момент импульса
потенциальная и
кинетическая энергии
центр тяжести**

2.56. Качели. Когда вы качаетесь на качелях, то вначале раскачиваете их до нужной высоты, а затем лишь поддерживаете движение. Как вы достигаете

этого? Что нужно сделать, чтобы висащие неподвижно качели начали раскачиваться? Одинаково ли вы раскачиваетесь стоя и сидя? Можно ли на хорошо смазанных качелях раскачаться так, чтобы перелететь через верх, или есть какой-то предел размаху качелей? Когда вы будете отвечать на эти вопросы, попытайтесь рассмотреть по отдельности качели, подвешенные на цепях или веревках, и качели, укрепленные на жестких стержнях. Какую

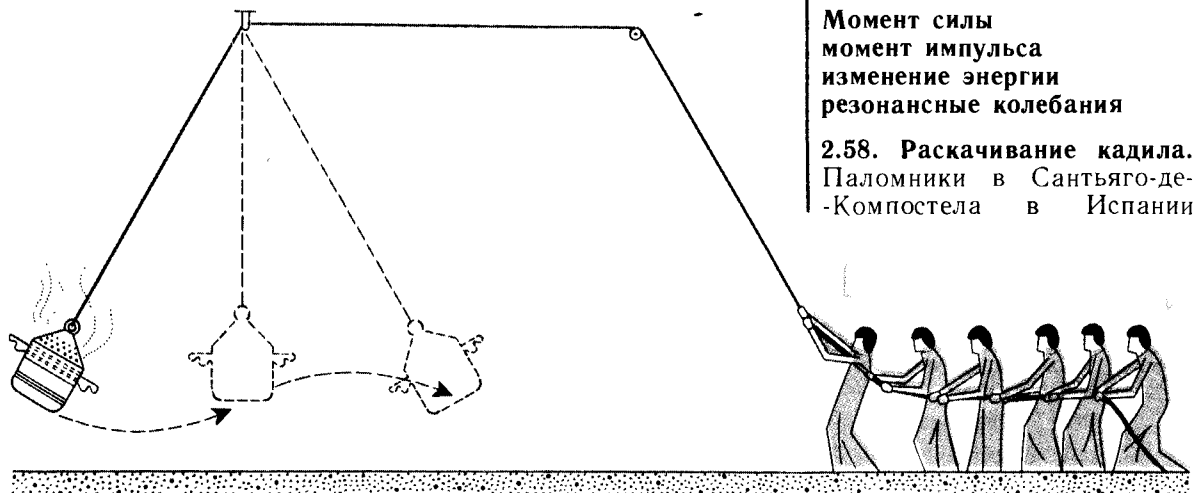


Рис. 2.58.

работу вы совершаете, раскачивая покоящиеся вначале качели до какой-то максимальной высоты?

9, с. 239; 26, с. 245—246; 42, т. 1, с. 179—181; 75—80; 1д, с. 127—135; 31д, с. 105—107; 46д.

Колебания резонанс

2.57. Отряд на мосту. Это случилось в 1831 г. По подвесному мосту близ города Манчестера в Англии проходил военный отряд, маршируя в такт с колебаниями моста. В результате мост обрушился. С тех пор во всех военных подразделениях, перед тем как они входят на мост, стали подавать команду «сбить ногу». Как обычно объясняют опасность, возникающую при маршировке по мосту, и насколько она реальна? Попробуйте сделать численную оценку.

81, с. 59—60; 82, с. 193—194; 1571.

**Момент силы
момент импульса
изменение энергии
резонансные колебания**

2.58. Раскачивание кадила. Паломники в Сантьяго-де-Компостела в Испании

приходят в храм Св. Иакова, где курятся благовония. В большое серебряное кадило, подвешенное к потолку, накладывают древесный уголь и благовонные вещества. Сначала кадило слегка подталкивают, а затем шестеро служителей раскачивают его так, что амплитуда колебаний достигает почти 180° (рис. 2.58). При раскачивании уголь — на радость паломникам — хорошо разгорается. Нас же интересует сам процесс раскачивания. Он осуществляется следующим образом: веревку подтягивают примерно на метр, когда кадило проходит нижнюю точку траектории, и отпускают на такую же длину, когда оно максимально отклоняется от вертикали. Каким образом такое периодическое подтягивание и отпускание веревки увеличивает амплитуду колебаний?

1д, с. 127—135; 6д, с. 172—182; 31д, с. 105—107.

Резонансные колебания

2.59. Вспучивание дороги. На дороге, которая первоначально была ровной, возникает ухаб, а вслед за ним через некоторое время еще один. Кажется, он сам собой вырастает поперек дороги. И дорога — будь то грунтовая, асфальтированная или даже бетонная — становится похожей на стиральную доску, особенно после дождя, когда в складках собирается вода.

Подобное явление наблюдается на трамвайных и железнодорожных путях. Когда по такому деформированному участку проходит

поезд, возникает страшный грохот. Недаром подобные участки называют «ревущими».

Аналогичные «стиральные доски» встречаются лыжникам на лыжне. Почему возникает такая волнообразная («гофрированная») поверхность и чем определяется ее период? Можете ли вы оценить этот период, моделируя описанный эффект в ящике с песком с помощью небольшого колесика?

89; -39д, с. 41, 73; 7д, с. 170—172.

Связанные гармонические колебания

2.60. Как уменьшить качку корабля? Обычно качка корабля создает лишь неприятные ощущения; однако, если волны начинают раскачивать корабль с частотой, совпадающей с его собственной, качка становится опасной. Поэтому на некоторых кораблях устанавливают цистерны, которые частично заполняются водой и служат для уменьшения опасности (рис. 2.60). Размеры таких цистерн тщательно рассчитывают и подбирают так, чтобы собственная частота

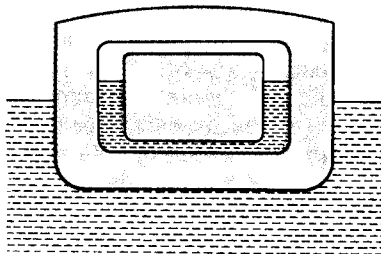


Рис. 2.60. Поперечное сечение цистерны, предназначенной для уменьшения качки корабля.

колебаний находящейся в них воды совпадала с резонансной частотой корабля. Не кажется ли вам это странным? Ведь если собственные частоты колебаний воды в цистерне и корабля совпадают, то каким образом такие цистерны могут уменьшить качку корабля?

44; 88, с. 202, 203; 6д, с. 248; 7д, с. 153—157.

Колебания маятника устойчивости

2.61. Перевернутый маятник и одноколесный велосипед. Представьте себе, что вы перевернули маятник и пытаетесь поставить его вертикально на стержень. Маятник стал неустойчивым и падает при малейшем толчке. Однако если заставить поставку, на которой стоит маятник, достаточно быстро колебаться вверх-вниз, то он будет устойчив по отношению к малым отклонениям.

Подобным же образом удерживают равновесие на

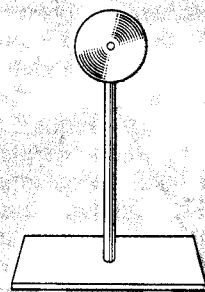


Рис. 2.61. Если заставить подставку достаточно быстро колебаться в вертикальной плоскости, перевернутый маятник не упадет.

одноколесном велосипеде, только в этом случае используются горизонтальные колебания. Почему при колебаниях повышается устойчивость? Чем определяется частота колебаний, необходимая для создания достаточной устойчивости? Можете ли вы объяснить, что происходит с перевернутым маятником, не прибегая к помощи математики.

83—87; 795; 48д; 49д.

Связанные гармонические колебания

2.62. Маятник на пружине.

Мы уже встречались и с пружинами, и с маятниками. А что получится, если груз маятника подвесить на пружине? Если мы точно подберем массу груза и упругость пружины, то будем иметь прекрасную модель связанных колебаний. Если оттянуть пружину строго вертикально, то, как и следовало ожидать, возникают вертикальные колебания, но скоро они прекращаются, и груз начинает раскачиваться подобно маятнику часов (рис. 2.62). Однако через некоторое время груз снова

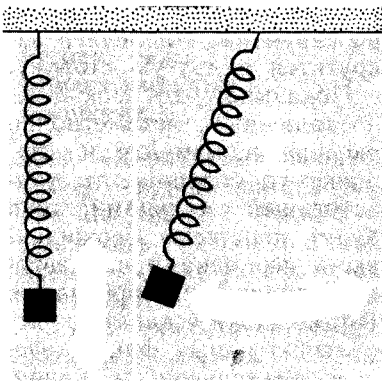


Рис. 2.62.

будет колебаться вертикально. Каким-то образом энергия в системе переходит от одного вида колебаний к другому. Как подобрать массу груза, а также упругость и длину пружины, чтобы в системе осуществлялся такой периодический переход энергии? Почему он вообще происходит и с какой частотой?

1д, с. 115—122; 5д, с. 407—416; 7д, с. 119—123; 6д, с. 229—238.

Связанные колебания маятников

2.63. Молчаливый колокол.

Вряд ли есть толк в колоколе, который не звонит. Однако именно такой колокол был в

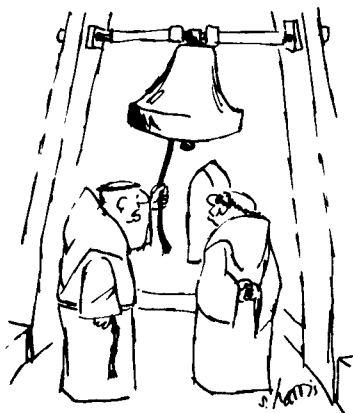


Рис. 2.63. «Он вызывает „диль“, когда положено „дон“».

свое время подвешен в Кельнском соборе. Частоты колебаний колокола и его «языка» случайно оказались такими, что колокол и язык качались в фазе — и, конечно, колокол не звонил. При каких условиях такие маятникоподобные колебания могут совпасть? Какой

выход из создавшегося положения можно найти, кроме как сбросить колокол с колокольни?

16, с. 409—413; 37, с. 148; 6д, с. 239.

Связанные гармонические колебания

2.64. Качающиеся карманные часы. Изменится ли точность хода карманных часов, если их подвесить на цепочке так, чтобы они свободно качались? У многих часов точность хода при этом меняется, хотя они очень точно показывают время, когда находятся в покое.

Если часы подвесить на цепочке (рис. 2.64), то они постепенно начинают раскачиваться и тогда могут спешить или отставать на 10—15 мин в день. Почему часы начинают качаться и почему нарушается точность их хода? Почему, наконец, одни часы при этом спешат, а другие отстают?

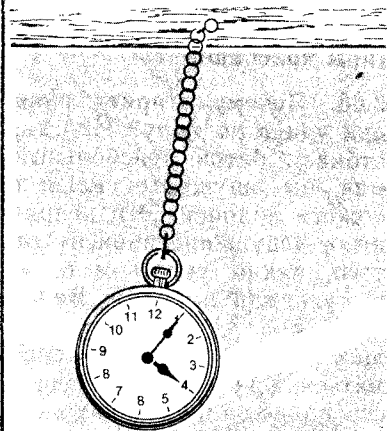


Рис. 2.64. Раскачивающиеся карманные часы.

16, с. 420—424; 24; 42, т. II, с. 85—87; 90; 190; 7д, с. 73—76, 119—123.

Вибрация резонанс стоячие волны

2.65. Колебания земли вблизи водопада. Водопад обрушивается на землю с такой силой, что даже на большом расстоянии вы чувствуете, как дрожит земля. Большинство водопадов имеют одну преобладающую частоту вибраций, которая тем выше, чем ниже водопад. Более того, произведение этой частоты на высоту водопада всегда равно четверти скорости звука в воде. Почему частота вибраций связана с высотой водопада, а их произведение составляет одну четвертую скорости звука?

91.

Импульс типы колебаний

2.66. Почему «горят» руки при ударе по мячу? Иногда, отбивая битой бейсбольный мяч, вы ощущаете сильный «ожог» ладоней. Это неприятное ощущение зависит от того, каким участком биты вы ударили по мячу. Более того, при ударе, вызывающем «ожог», бита может сломаться. Как объяснить существование на бите таких «коварных» участков и где именно они расположены?

4; 8д, с. 657.

Вибрация

2.67. «Парадокс лучника». Как бы точно ни была нацелена стрела, но если тетива спущена и оперенный конец стрелы пролетает, не касаясь лука, то в полете стрела может отклоняться от линии прицела на угол до 7° (рис. 2.67). «Парадокс лучника»

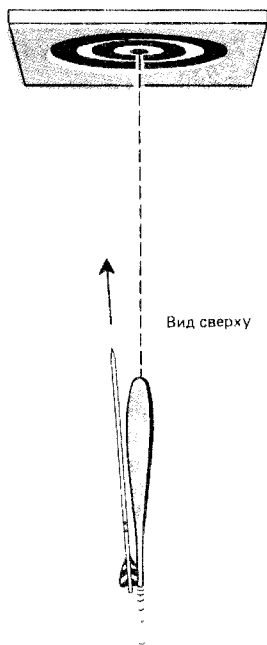


Рис. 2.67. Когда спускают тетиву, стрела не направлена в цель.

заключается в том, что, несмотря на это отклонение, правильно нацеленная стрела все равно попадает в цель. Странно, не так ли? Во-первых, почему возникает отклонение, и, во-вторых, если оно возникло, то почему же стрела попадает в цель?

Скоростная киносъемка стрельбы из лука показывает, что после того, как тетива спущена, стрела вообще не

касается лука, даже в тот момент, когда мимо него пролетает оперенный конец. Как же тогда стрела попадает в цель?

92.

Вибрации фаза вынужденного вращения

2.68. Волшебный пропеллер. Пропеллер на палочке с зарубками — замечательная игрушка, которую вы без труда можете сделать сами (рис. 2.68а). По всей длине одной палочки делаются небольшие поперечные вырезы; на конце ее гвоздиком закрепляется свободно вращающийся пропеллер. Второй палочкой проводят по вырезам. Взяв палочку с зарубками левой рукой так, что большой палец обращен к вам, а указательный находится с противоположной стороны палочки, начинайте водить другой палочкой взад-вперед по зарубкам, как показано на рисунке. Теперь прижмите к палочке с зарубками указательный палец. Пропеллер начнет крутиться. Ослабьте нажим указательного пальца и прижмите к палочке большой палец, продолжая при этом водить другой палочкой по зарубкам. Пропеллер закрутится в другую сторону.

Показывая этот фокус непосвященным, незаметно по очереди нажимайте на палочку то большим, то указательным пальцами: они будут поражены неожиданными переменами направления вращения пропеллера. Вы же можете давать этому явлению самые фантастические объяснения: я, например, говорю, что изменение

направления вращения пропеллера связано с флуктуациями интенсивности космического излучения.

Первый вопрос, на который вам предстоит ответить, — это почему пропеллер вообще крутится. Следующий вопрос потруднее: почему направление его вращения зависит от того, с какой стороны вы нажимаете на палочку.

Если вам хочется сделать этот фокус познатнее, укрепите на палочке четыре пропеллера (рис. 2.68б). Правда, разница тут невели-

ка, потому что все они станут вращаться в одну сторону. И еще одна конструкция, объяснить действие которой значительно сложнее: два пропеллера укрепляются друг за другом (рис. 2.68в). Здесь уже начинаются прямо-таки чудеса: можно заставить оба пропеллера крутиться вправо или влево или же, что гораздо интереснее, можно сделать так, что один пропеллер будет крутиться в одну сторону, а другой — в другую.

93—96; 1487.

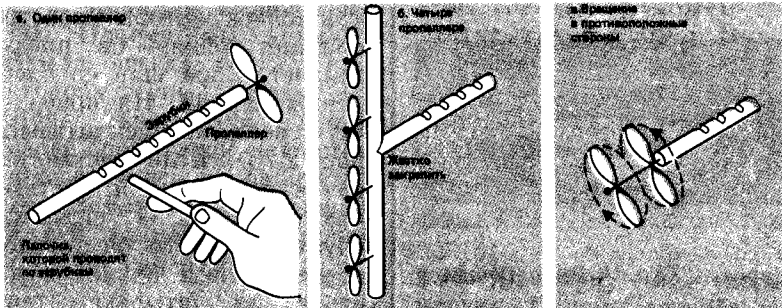


Рис. 2.68. Волшебный пропеллер [Leonard R. W. Amer J. Phys., 5, 175 (1937).]

Гироскопические явления (2.69—2.73)

Момент силы момент импульса прецессия

2.69. «Характеры» волчков. Почему вращающийся волчок не падает? Можно ли объяснить это только с точки зрения сил, не рассматривая моменты?

Сила тяжести стремится повалить волчок — значит, на него должна действовать еще какая-то сила, направ-

ленная вверх. Чем она обусловлена?

Как объяснить различные «характеры» волчков? Одни крутятся спокойно, другие прецессируют (рис. 2.69) как безумные. Одни всегда крутятся ровно, другие, прежде чем перейти к устойчивому вращению, качаются. Вращение одних затухает плавно, равномерно, другие резко останавливаются. Как объяснить это разнообразие «темпераментов» волчков?

36; 37, гл. 1; 43d, с. 263—273, 277—278.

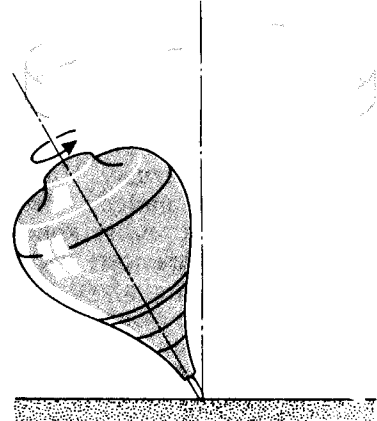


Рис. 2.69. В результате прецессии ось вращения волчка сама вращается вокруг вертикальной оси.

2.70. «Диаболо». Старинная игрушка «диаболо» представляет собой катушку в виде двойного конуса, которую раскручивают ниткой, обоими концами привязанной к палочкам (рис. 2.70). Раскручивают «диаболо» так: опускают правую руку вниз, затем плавно поднимают ее вверх — «диаболо» начинает крутиться. И так, руку резко опускают и плавно поднимают до тех пор, пока ка-

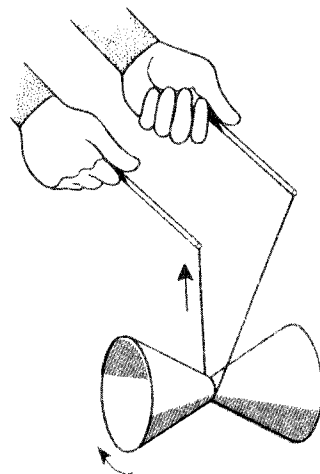


Рис. 2.70.

тушка хорошенько не раскрутится.

Почему «диаболо» намного устойчивей, когда вращается? Впрочем, и при вращении иногда приходится выравнивать катушку. Предположим, например, что обращенный к вам конец катушки опустился. Как нужно двигать палочками, чтобы катушка снова встала горизонтально? Или, допустим, вам захотелось повернуть катушку влево. Что для этого нужно сделать?

36, с. 40, 41, 120, 121; 37, с. 458, 459; 43д, с. 263—273.

2.71. Закрученное яйцо.

Всем известно, как можно без труда отличить вареное яйцо от сырого: их нужно закрутить на столе. Вареное яйцо будет вращаться «стоя», сырое — нет. Почему?

Есть и другой способ различить вареное и сырое яйца; нужно запустить яйцо волчком, потом притормозить его пальцем и снова отпустить. Вареное яйцо остановится, а сырое продолжит вращение. Почему?

36, с. 5, 6, 51, 155; 37, с. 16, 17, 264—272; 108; 109; 110, с. 123.

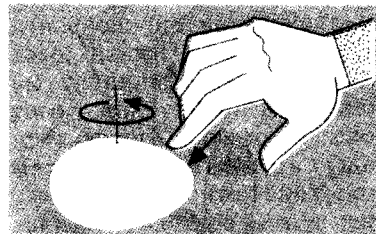


Рис. 2.71. Так узнают, сырое яйцо или вареное.

2.72. Своенравные «кельты». Некоторые найденные в Англии каменные орудия первобытных людей ведут себя странно, когда их запускают волчком. Эти камни, называемые «кельтами», имеют эллиптическую форму. Если закрутить их вокруг вертикальной оси, то одни крутятся нормально, другие же — всегда только в одном направлении. Когда эти своиравные камни пытаются закрутить в противоположном направлении, они останавливаются, покачиваются в течение нескольких секунд, а затем начинают вращаться в свою излюбленную сторону. Причем некото-

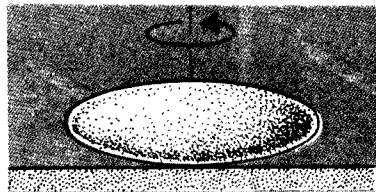


Рис. 2.72,а. Вращающийся «кельт».

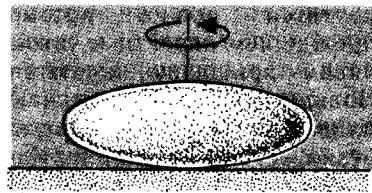
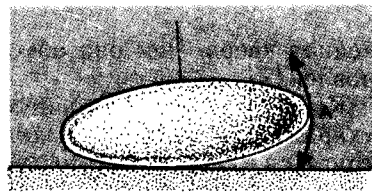


Рис. 2.72,б. «Кельт», который после толчка в точке А сначала покачивался, через некоторое время начинает крутиться.

рые камни крутятся всегда в одну сторону, а другие — в другую.

Если слегка ударить по концу такого камня, скажем, в точке А (рис. 2.72,б), то он начнет покачиваться. Но вскоре покачивание прекратится, и камень станет вращаться вокруг вертикальной оси.

Попробуйте изготовить деревянные модели своиравных «кельтов» и попытайтесь объяснить их странные характеры.

26, с. 204, 205; 36, с. 7—54; 37, с. 363—366.

2.73. Волчок-перевертыш.

Есть волчок, который просто поражает меня, — он представляет собой шар со срезанным верхом. На поверхности среза укреплен штырек (рис. 2.73). Если поставить волчок сферической частью вниз и, взяв за штырек, запустить его, то он тотчас перевернется и начнет крутиться на штырьке, тем самым поднимаясь против силы тяжести. Почему это происходит? Какая сила заставляет волчок подниматься? Не противоречит ли вашей интуиции то, что он неустойчив вначале, но приобретает устойчивость, когда крутится на штырьке?

Подобным образом ведут себя детские перстеньки с гладким камнем. Футбольные¹ мячи и крутые яйца тоже предпочитают крутиться вертикально.

36, с. 5—6, 51, 155; 97—108; 109; 43д, с. 279.

¹ Имеется в виду мяч для американского футбола, яйцевидной формы. Прим. перев.



Рис. 2.73.

Гравитация (2.74—2.79)

**Сила тяжести
орбиты
момент импульса
момент инерции
кинетическая
и потенциальная энергии**

2.74. Видимая сторона Луны. Почему мы видим с Земли всегда только одну сторону Луны? Потому что Луна вращается вокруг своей оси с такой скоростью, что, двигаясь по орбите вокруг Земли, всегда обращена к ней «лицевой» стороной. Случайно ли это?

26, с. 369; 111; 8д, 392—397; 43д, с. 360—366; 50д, с. 94, 226.

2.75. Спутники-наблюдатели. Предположим, мы хотели бы, чтобы какой-то спутник постоянно вел наблюдения над интересующим нас районом Земли. Мы оснащаем его фотоаппаратурой и подбираем его орбиту и скорость так, чтобы спутник «повис» над заданным участком. Но мы не можем запустить такой спутник. Вместо этого мы запускаем несколько спутников, которые поочередно «дежурят» над данным районом Земли. Почему?

2.76. На Луну — по «восьмерке». Почему астронавты летят на Луну по траектории, имеющей форму «восьмерки» (Земля — Луна —

Земля), а не по эллиптической орбите? Требуется ли путешествие по «восьмерке» (рис. 2.76) меньших энергетических затрат?

53д, гл. 7.

2.77. Притяжение Луны Землей и Солнцем. Как велико притяжение Луны к Солнцу по сравнению с ее притяжением к Земле? Кажется бы, раз Солнце «не забирает» у нас Луну, значит, Земля притягивает ее сильнее. На самом деле это не так: Солнце притягивает Луну почти в два раза сильнее, чем Земля. Почему же мы до сих пор не потеряли Луну?

177.

2.78. Как составить карту Индии? Я читал, что в Индии трудно проводить геодезические изыскания, так как отвесы, используемые геодезистами, вследствие притяжения Гималайскими горами отклоняются к северу, а не направлены к центру

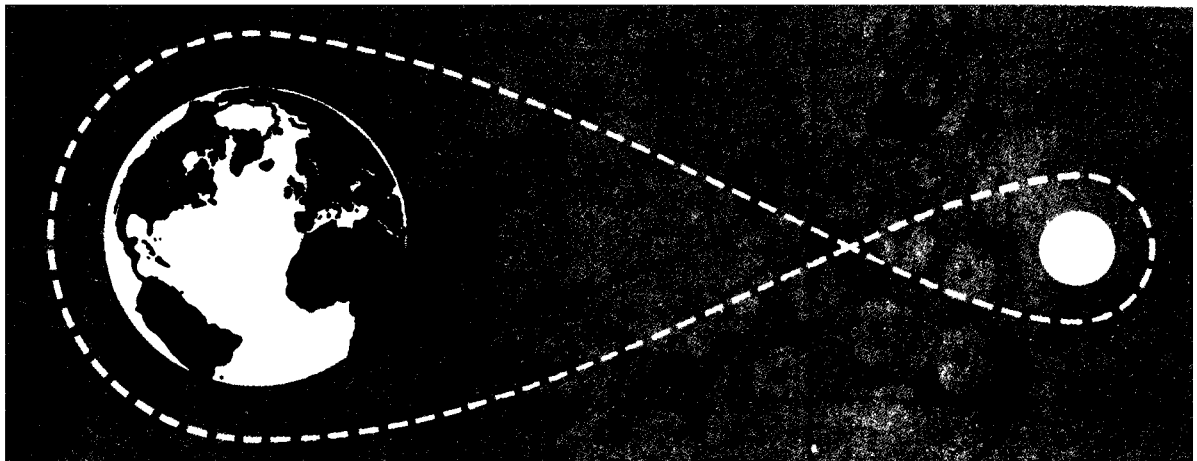


Рис. 2.76.

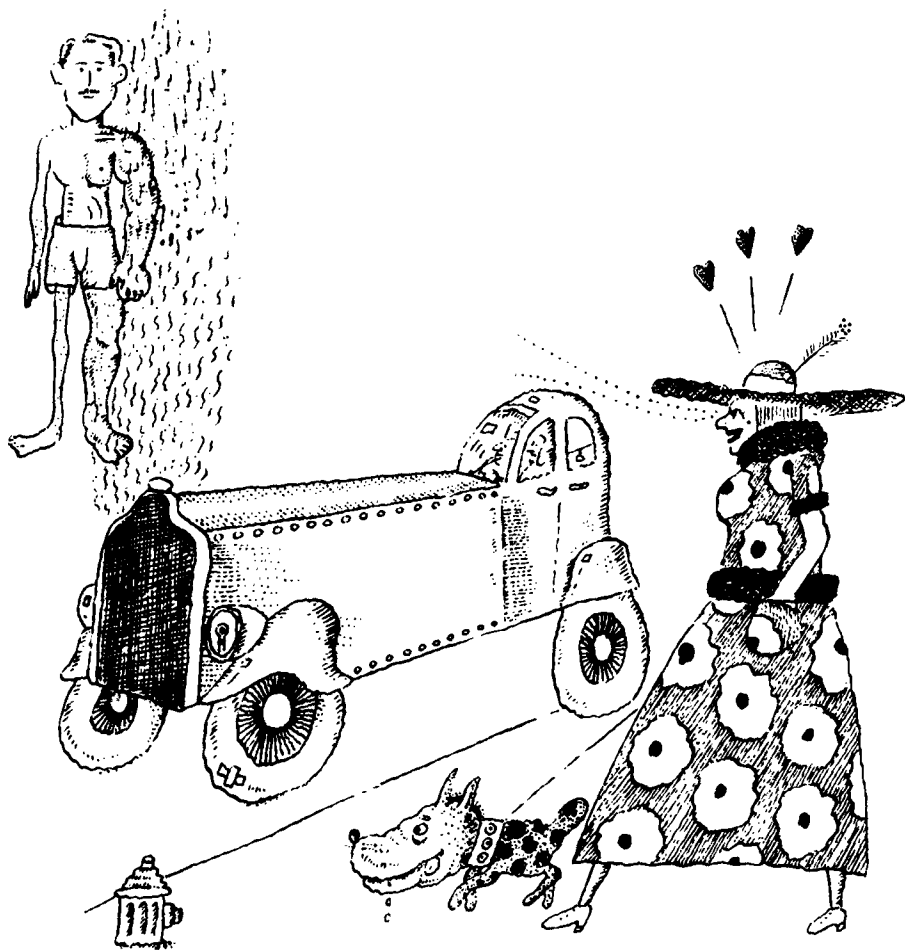
Земли. Верно ли это? Неужели этот эффект столь велик, что может помешать точной геодезической съемке?

13; 118; 119.

2.79. Сопротивление воздуха ускоряет движение спутника. Искусственные спутники не вечно крутятся вокруг Земли. В конце концов атмосфера Земли, как бы ни была она разрежена на большой высоте, тормозит их движение. Но знаете ли вы, что линейная скорость спутника, движущегося по круговой орбите, увеличивается из-за сопротивления воздуха? Спутник на орбите движется с таким положительным ускорением, как если бы сила сопротивления воздуха вдруг поменяла знак и стала «толкать» спутник вперед. Как это объяснить?

112—116; 28д, с. 65—68; 51д; 52д, с. 287.

Тепловые фантазии
и прочие
удовольствия



Давление (3.1—3.9)

Закон Бойля — Мариотта атмосферное и гидростатическое давления парциальное давление

3.1. «Дородная» стюардесса. Лос-Анджелес (АП). Что произойдет со стюардессой, надевшей надувной купальник, когда при наборе высоты в салоне самолета понизится давление?

Ты прав, Герман, — купальник надуется.

Как сообщил в пятницу корреспондент газеты «Лос-Анджелес Таймс» Мэтт Уэйнсток, именно такое неприятное происшествие случилось на борту самолета, направлявшегося в Лос-Анджелес. Журналист тактично не назвал авиакомпанию и имя девушки.

«Когда она увеличилась в объеме примерно до 46-го размера, то в отчаянии стала искать выход из положения. На глаза ей попала одна пассажирка, у которой шляпа была заколота небольшой булавкой. Выхватив булавку, стюардесса приготовилась вонзить ее себе в грудь.

Однако другой пассажир — иностранец — решил, что стюардесса выбрала такой, далеко не лучший, способ совершить харакири, и бросился к ней, чтобы помешать.

Вскоре порядок был восстановлен, но раскаты смеха еще долго не смолкали».

Уэйнсток утверждал, что это реальный случай. Хорошо еще, что такие купальники боятся проколов.

Можете ли вы рассчитать, как зависит объем гру-

ди стюардессы в купальнике от давления в салоне самолета?

3.2. Как испечь пирог высоко в горах? Почему необходимо внести изменения в рецепт пирога, если его придется печь на высоте более 1000 м над уровнем моря? В этом случае, как написано на коробке с полуфабрикатом, нужно добавить больше муки и воды и выпекать пирог при более высокой температуре.

316, с. 184—186.

Давление влажность

3.3. Барометр — альпийская хижина. Одна из самых замечательных вещей моей бабушки — это барометр, сделанный в виде альпийского домика. Когда атмосферное давление падает, из домика выходит маленький человечек, чтобы предупредить о надвигающейся буре. В хорошую погоду из домика появится маленькая женщина.

Как действует этот барометр: действительно ли он измеряет атмосферное давление? Я заметил, что если его повесить в ванной комнате, то он предсказывает плохую погоду гораздо чаще. Почему?

317, с. 201; 308, с. 209.

3.4. Буря и колодец. Моя бабушка утверждает, что во время бури из ее колодца легче качать воду, но для питья такая вода часто не-

пригодна из-за сильного осадка. Она говорит, что это не зависит от того, идет дождь или нет. Было замечено также, что мощность артезианских скважин увеличивается во время бури, причем это также не связано с дождем. Почему скважины реагируют на бурю? Возможен ли противоположный эффект, и если да, то при каких условиях скважина перестает давать воду?¹

318, с. 143.

Упругость поверхностное натяжение

3.5. Один воздушный шарик надувает другой. Надуйте два одинаковых шарика, один чуть больше другого, и соедините их между собой короткой трубкой (рис. 3.5). Как поведут себя шарики? Будет ли меньший шарик надуваться за счет большего? Интуиция, возможно, подсказывает вам именно это, однако в действительности происходит обратное: меньший шарик уменьшается, а больший — увеличивается. Почему? Аналогичную картину можно наблюдать и на мыльных пузырях.

321; 322; 54д; с. 335—336; 55д.

¹ Этот эффект может послужить причиной неприятности, которая ожидает неосторожного авиапассажира, если он оставит в кармане костюма обычную перьевую авторучку: она может «потечь» и испачкать костюм. — *Прим. ред.*

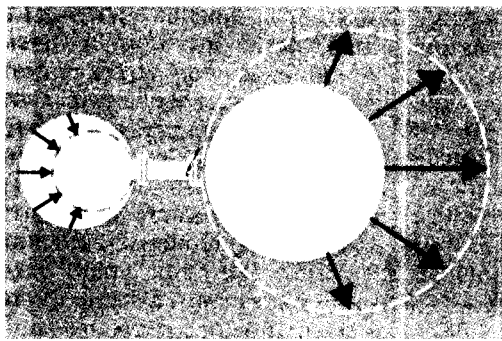


Рис. 3.5.

Закон Бойля — Мариотта парциальное давление

3.6. Реконпрессия шампанского. Когда было закончено строительство тоннеля под Темзой в Лондоне, городские власти решили отметить это событие в самом тоннеле.

Но там, к сожалению, шампанское показалось им лишним обычной игристости. Зато, когда они поднялись на поверхность, вино забур-

лило у них в желудках, стало раздувать жилеты и едва не запенилось из ушей (рис. 3.6). Одного высокопоставленного чиновника пришлось срочно спускать обратно для реконпрессии. Как объяснить случившееся?

314, 315; 54д, с. 362—365.

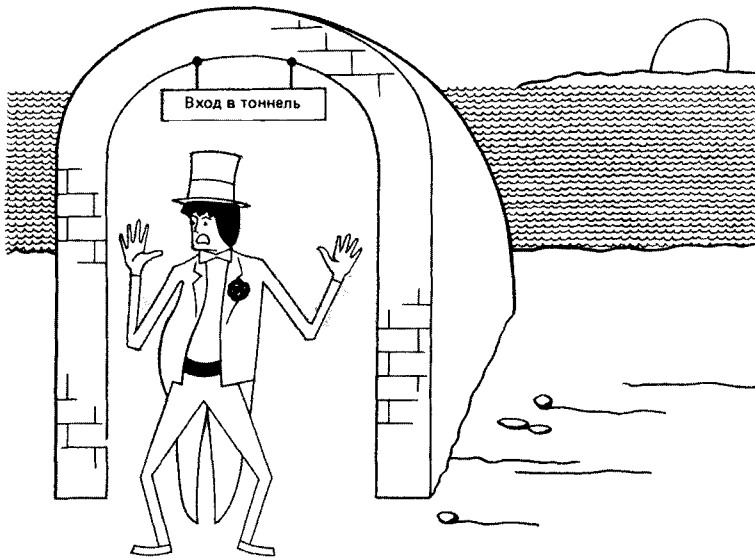


Рис. 3.6. Пить шампанское под землей опасно.

3.7. Срочное всплытие. Допустим, вы плаваете с аквалангом на большой глубине (скажем, около 30 м) и вам необходимо срочно подняться на поверхность. В баллоне воздуха только на один вдох, но его должно хватить на весь подъем, иначе вы погибнете. Как вы станете всплывать? (Это отнюдь не академический вопрос: экипажи подводных лодок отрабатывают такое всплытие на тренировках.) Следует ли вам выдыхать воздух по мере всплытия или нужно стараться удержать его? Возможно, на первый взгляд это покажется странным, но тем не менее воздух нужно выдохнуть, иначе вы пропали. Неопытные аквалангисты, случается, погибают во время тренировок в бассейне именно из-за того, что при быстром всплытии на поверхность вовремя не выдыхают воздух. Почему?

Установлено, что наша потребность сделать очередной вдох определяется не количеством углекислого газа в легких, а его парциальным давлением. Поэтому считается, что при всплытии наиболее опасный, критический, момент наступает не у поверхности, а на некоторой глубине. Когда же вы проходите критическую точку, ваша потребность совершить вдох уменьшается. Почему? Какова эта критическая глубина? Как быстро следует всплывать на поверхность? Что случится, если вы всплываете слишком быстро?

325—328.

3.8. «Логово ветра». Вы, наверное, замечали, что в пе-

щерах застойный воздух. В иных это действительно так, однако есть пещеры (спелеологи окрестили их «логовами ветра»), где у входа постоянно дует сильный ветер. Почему? Еще более странны «дышащие» пещеры, в которых воздух то входит внутрь, то выходит. Что вызывает такое движение воздуха?

318, с. 143, 144; 319; 320.

3.9. График декомпрессии.

При глубоких погружениях под воду всегда существует опасность кессонной болезни, при которой растворенный в крови и тканях тела азот образует пузырьки. Это не только вызывает болезненные ощущения, но и угрожает опасностью, порой — смертельной. Поэтому выход на поверхность производится постепенно, чтобы азот выходил из тканей без образования пузырьков. Вам, наверное, приходилось это видеть в кино: ныряльщик в процессе всплытия время от времени останавливается на определенных глубинах. Где, по вашему мнению, он остается дольше: у самой поверхности, на максимальной глубине или где-то посередине? Я бы сразу отверг первое предположение, однако график декомпрессии (рис. 3.9) говорит, что самые длительные остановки нужно делать именно у поверхности. Почему? Как глубоко можно нырнуть, чтобы произвести всплытие без остановок?

323; 324; 56д.

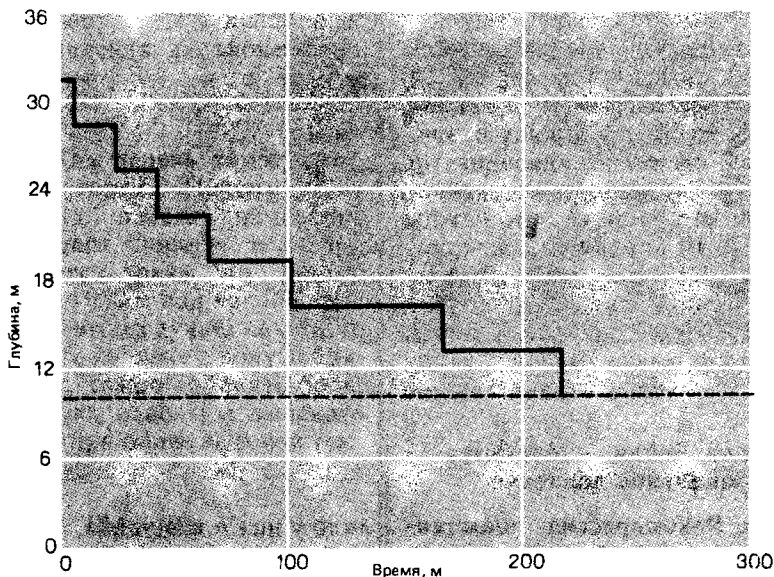


Рис. 3.9. График декомпрессии после пребывания в течение часа на глубине 60 м (согласно рекомендации ВМС США). Пунктирной линией обозначено давление на уровне моря. [Schenck H. Jr. Amer. J. Phys., 21, 277 (1953).]

Тепловое расширение и сжатие тел (3.10—3.15)

3.10. Горячая вода выключается сама. Когда приоткрывают кран с горячей водой, поток воды постепенно уменьшается и может даже совсем прекратиться. С холодной водой подобных неприятностей не случается. Почему же так плохо ведет себя горячая вода? Почему это происходит только в том случае, когда кран открывают в первый раз, а потом вода уже течет нормально?

Тепловое расширение

3.11. Лопающиеся трубы. Почему водопроводные трубы иногда лопаются зимой? Если вода всего лишь намер-

зает на внутренние стенки трубы, то труба не испытывает большой нагрузки и, казалось бы, лопаться не должна. Кроме того, труба обычно лопается не там, где замерзает лед. Так почему же разрываются трубы? Иногда во избежание разрывов открывают находящиеся на улице краны, чтобы из них непрерывно капала вода? Помогает ли это? Наконец, справедливо ли широко распространенное убеждение, что трубы с горячей водой лопаются чаще, чем с холодной? (Если вы ответили на эти вопросы, попробуйте объяснить, почему трещина в лопнувшей трубе всегда параллельна ей. Труба никогда не лопается поперек.— Ред.)

253, с. 136, 137; 338, с. 35, 36; 339; 39д, с. 82, 74.

3.12. Медицинский термометр. Когда вы измеряете температуру, тепло вашего тела заставляет ртуть в градуснике расширяться. Почему сужение в капилляре (рис. 3.12) не дает упасть столбику ртути после того, как вы измерили температуру? Ведь при расширении ртуть прошла через это су-

жение. Почему же она не проходит через него, когда сжимается? (Подумайте еще над тем, почему измерение температуры термометром продолжается довольно долго — около 10 мин, а «стряхнуть» термометр можно практически сразу же после измерения температуры.— *Ред.*)

Почему показание термометра на мгновение уменьшается, если термометр сунуть в горячую воду? (Не перегревайте термометр, иначе он лопнет.)

160, с. 114; 317, с. 117, 118; 129; 329, с. 50; 330, с. 41; 331, с. 6; 57д.

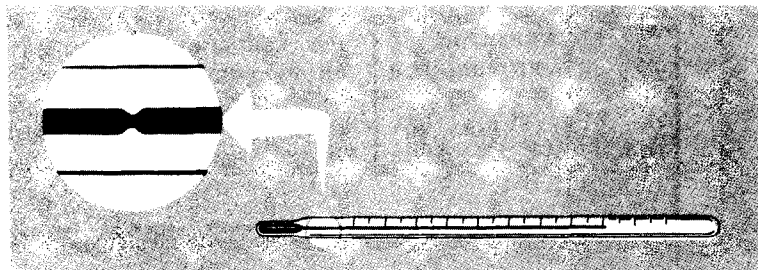


Рис. 3.12.

3.13. Нагревание резиновой ленты. Растяните ненадутый резиновый шарик и коснитесь его лицом. Он теплый. Теперь отпустите его. Он стал прохладным. Почему?

Если резиновую ленту нагреть, она укорачивается.

Почему резина ведет себя противоположно металлу? Чем отличается ее структура от структуры металла? На рис. 3.13 изображен двигатель, действие которого основано на этом свойстве резины. Вместо спиц его

колесо имеет резиновые ленты — при нагревании их длина уменьшается. Из-за смещения центра тяжести колесо начинает поворачиваться.

155, с. 244; 332, т. 4, гл. 44, § 1; 333—337; 59д.

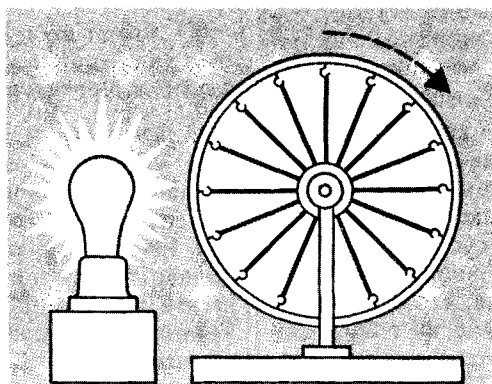


Рис. 3.13. Тепловой двигатель на резиновых лентах. [Фейнман Р. и др. Фейнмановские лекции по физике.— М.: Мир, 1966—1967, 1976—1978.]

3.14. Ход часов. Поскольку металл при нагревании расширяется, а балансир ручных часов сделан из металла,

то, казалось бы, часы должны идти по-разному в холодную и в жаркую погоду?

9, с. 82; 160, с. 125; 317, с. 129; 329, с. 43; 330, с. 90; 331, с. 23.

Выталкивающая сила нелинейные колебания

3.15. Колебания в U-образной трубке. Если U-образную трубку, на концах которой имеются открытые резервуары, нагревать и охлаждать в местах, указанных на рис. 3.15, то уровень воды

в трубке начнет колебаться (если только площади поверхности резервуаров больше некоторой критической величины). Уровень воды в коленах такой трубки колеблется в пределах примерно 1 мм с периодом от 20 с до 4 ч, что, в частности, зависит

от поперечного сечения трубки. Казалось бы, расположение колен трубки и нагревателей совершенно симметрично, почему же в ней возникают колебания и чем определяется их период?

340; 39д, с. 43, 75.

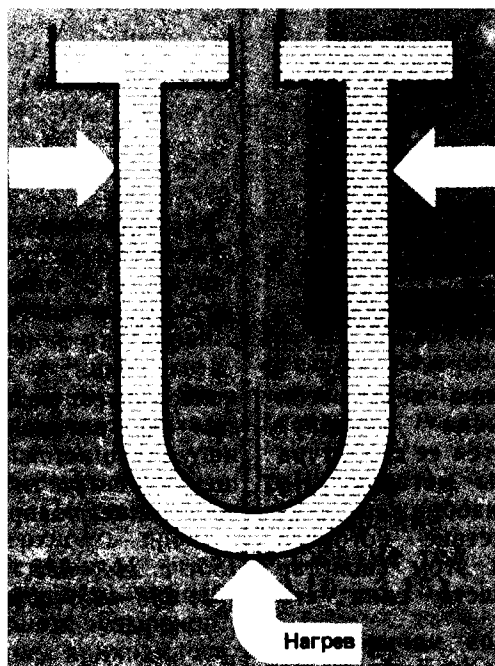


Рис. 3.15. Если U-образную трубку нагревать и охлаждать в местах, показанных на рисунке, вода начнет колебаться между правым и левым коленами. [Welander P. *Tellus*, 9, 419 (1957).]

Адиабатические процессы

3.16. Нагрев велосипедного насоса. Почему ниппель велосипедной камеры нагревается, когда вы накачиваете ее насосом? Может быть, из-за трения воздуха, проходящего через ниппель? Однако почему в таком случае ниппель не нагревается, если накачивать камеру от баллона со сжатым воздухом на станции техобслуживания?

341; 54д, с. 118—123, 58д.

Конденсация

3.17. Почему западные склоны гор более зеленые? В США западные склоны гор и холмов, как правило, имеют более густой зеленый покров, чем восточные? Бывает даже так, что восточный склон практически гол, а западный покрыт густой растительностью. Почему?

360, с. 162—165; 67д, с. 483—484.

Адиабатические процессы

3.18. «Чинук» и сумасшествие. «Чинук» — это теплый сухой ветер, который кое-где спускается со Скалистых гор. Его действию, например, подвержен город Денвер в штате Колорадо (рис. 3.18). Температура в зоне этого ветра может на 30° С превышать температуру окружающего воздуха, а его скорость достигает 130 км/ч. Кажется непонятным, почему теплый ветер спускается с холодной горы? Ведь теплый воздух

должен подниматься вверх, не так ли? Старинное предание утверждает, что «чинук» согревают дýхи индейцев, погребенных в горах.

Ветры, подобные «чинуку», встречаются отнюдь не только в районе Денвера. В Швейцарии такой ветер носит название «фен», на острове Шри-Ланка — «каччан», в Южной Африке — «берг», в Южной Калифорнии — «Санта-Ана». Но все эти ветры сухие и горячие.

Есть у них и другая неприятная особенность — говорят, что, когда они дуют, люди и животные сходят

с ума. В период таких ветров возрастает преступность, увеличивается число насилий и убийств, случается больше дорожных происшествий — люди ведут себя менее разумно, чем обычно. Возможно, это все бабушкины сказки, однако, видимо, здесь есть и доля правды. Какое физиологическое воздействие может оказывать сухой теплый ветер на человека? Не скрывается ли тут какая-либо реальная причина, приводящая людей к безумию?

164, с. 217, 218; 343, 344, с. 94—98; 345—358.

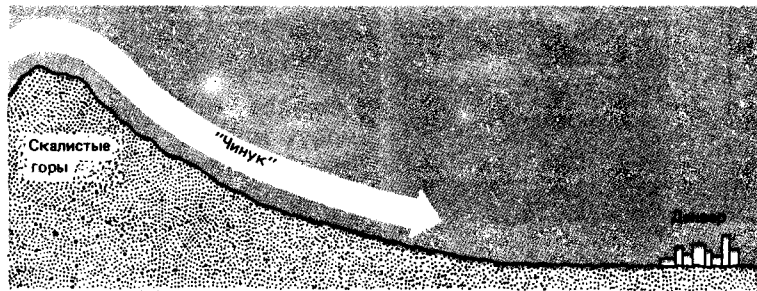


Рис. 3.18. Ветер «чинук», спускающийся со Скалистых гор.

Адиабатические процессы

3.19. Лимонадный туман. Обращали ли вы внимание на облачко тумана, которое по-



является у горлышка бутылки с охлажденным лимонадом или шампанским сразу, как только ее открывают (рис. 3.19)? Чем это объясняется?

342; 54д, с. 118—123, 347—351.

Рис. 3.19. Туман у горлышка только что открытой бутылки холодного шампанского.

3.20. Автомобиль с открывающимся верхом. Хорошо, если у вашего приятеля есть автомобиль с открывающимся верхом. Как приятно в жаркий день прокатиться с ветерком в таком автомобиле! Никакая жара не страшна. Однако странно — ведь показания термометра должны быть одинаковы, с ветерком или без ветерка. Проверьте это. Измерьте температуру на заднем сиденье, когда машина стоит и когда она движется. Скорее всего, вы обнаружите, что при движении машины термометр показывает примерно на $0,5^\circ\text{C}$ меньше. Почему? (Попробуйте также проверить, не понижается ли при быстрой езде температура крыши автомобиля.— *Ред.*)

359.

Адиабатические процессы поглощение излучения

3.21. Долина смерти. Долина смерти — самое низкое место на Американском континенте и самое жаркое место в мире. Температура здесь может несколько дней подряд держаться на уровне 50°C , однажды была даже зарегистрирована температура 57°C . Нет ли с точки зрения физики какого-либо противоречия в том, что в столь низком месте бывает так жарко? Напротив, не должно ли в долине быть относительно прохладно, поскольку на вершинах гор, окружающих долину, воздух холодный, а, как известно, горячий воздух поднимается вверх, а холодный опускается вниз?

223, с. 200; 67д, с. 480—484.

**Адиабатические процессы
конденсация
скрытая теплота
фазового перехода
излучение**

3.22. Холодные вершины. Почему холодно на вершинах гор? Разве на единицу площади в горах приходится иное количество солнечного тепла, чем на уровне моря? И разве холодный воздух не должен спускаться вниз?

**Конденсация
выталкивающая сила
адиабатические процессы**

3.23. Что удерживает облако? Почему облако не «рассыпается»? Почему в малооблачную погоду часть неба закрыта облаками, а часть — совершенно чистая. Не кажется ли вам, что облака должны были бы распределяться по небесному своду более равномерно? (А почему облако не падает? — *Ред.*)

363, с. 44—67; 365; 60д, 63д.

3.24. Грибовидные облака. Почему при наземных ядерных и других мощных взрывах образуются грибовидные облака?

371, с. 202, 203; 372; 373.

**Образование облаков
устойчивость
выталкивающая сила**

3.25. Дыры в облаках. Иногда в ровном облачном покрове можно видеть загадочные — обычно довольно большие — круглые дыры. По-видимому, это не случай-

ная игра природы. Образование этих дыр пытались объяснить по-разному: за счет сгорающих в атмосфере метеоров или загрязнения ее химически активными веществами. Так почему же возникают такие дыры в облаках?

362; с. 91; 374—379; 60д—63д; 65д; 66д.

**Образование облаков
конденсация**

3.26. Облака в горах. Если вам приходилось жить вблизи гор, то вы, наверное, об-

ращали внимание на неподвижные облака, которые часто образуются у горных вершин. На рис. 3.26,а показаны два типа таких облаков. Как они образуются?

Порой вблизи вершины можно также наблюдать еще более загадочные «волнообразные» облака (рис. 3.26,б). Чем объясняется их пространственная «периодичность»?

164, с. 301—303; 360, с. 86—88; 361, с. 14—21, 39; 362, с. 64—73; 363, с. 75—82; 364, с. 229; 365—370; 67д, с. 480—484.

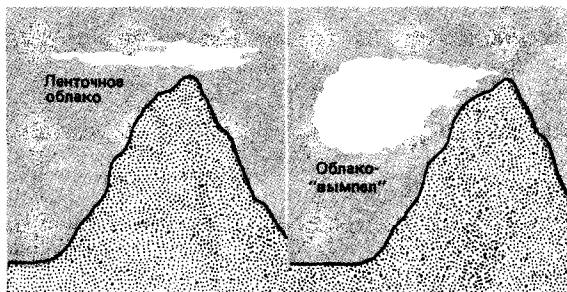


Рис. 3.26,а. Два типа облаков у горных вершин.

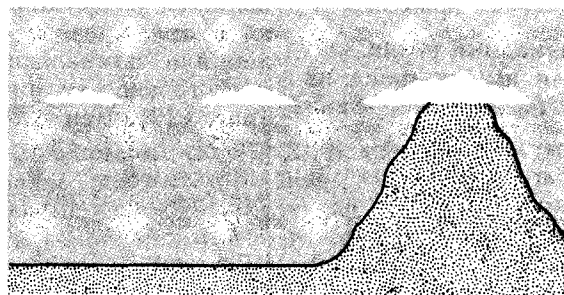


Рис. 3.26,б. «Волнообразные» облака у горной вершины.

**Ударная волна
конденсация**

3.27. Сферическое облако при ядерном взрыве. В некоторых случаях ядерный взрыв со-

провождается образованием тонкого сферического облака (рис. 3.27). Почему оно воз-

никает и как быстро оно расширяется? Будет ли такое облако заметно ослаблять радиацию, порождаемую взрывом?

219, с. 311, 312; 371, с. 34; 30д, с. 182—191, 197—198.

пельки молекулы воды? Почему капельки образуются на стекле именно в этих точках, а не в других? Чем отличаются эти точки?

Почему тарелка становится влажной после того, как на ней полежит горячий пирог? (По тем же причинам запотевают очки и окна автомобилей. А почему появляется иней на стенах кирпичных домов при резком потеплении? Кстати, почему запотевшее от дыхания стекло быстро высыхает, если на него подуть? — *Ред.*)



Рис. 3.27.

Поглощение выталкивающая сила конденсация испарение

3.28. «Сжигание» облаков.

Когда ранним летним утром небо бывало затянуто низкими облаками, моя бабушка говорила, что солнце их «сожжет» и день будет солнечным. И действительно, чуть позже облака часто исчезали. Может быть, бабушка была права и облака на самом деле «сгорали» от поглощаемого ими тепла? Верно ли это?

363, с. 76; 364, с. 273, 274.

Образование облаков устойчивость выталкивающая сила

3.29. «Барашки» на небе. Почему на небе иногда появляются облака в форме «барашков» (рис. 3.29)? Почему эти «барашки» порой бывают разделены яркими просветами?

362, с. 54—56.

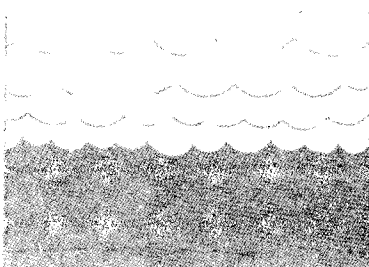


Рис. 3.29. «Барашки» в облаках.

Конденсация

3.30. Причины тумана. За последнее десятилетие лондонские туманы стали слабее. Одна из причин этого заключается в том, что теперь для отопления все реже используются угольными каминами. Как угольные камины могут влиять на туман? И что вообще вызывает туманы?

388, с. 480—510; 64д.

3.31. Конденсация дыхания.

Если в холодный день подышать на оконное стекло, на нем образуются капельки. Почему? Точнее, что именно заставляет собираться в ка-

388, с. 428; 389.

Конденсация адиабатические процессы вихри выталкивающая сила

3.32. Инверсионный след самолета.

Почему за самолетом часто возникает видимый инверсионный след? Почему это происходит не всегда? Если пристально взглянуть в след, то можно заметить, что в действительности он состоит из двух или более тонких полосок, которые затем расплываются и становятся неразличимыми. Почему вначале образуется несколько следов? Как объяснить существование просвета между самолетом и началом следа? Отчего след «вспучивается» и «взрывается» так, что становится похожим на нанизанную на нитку «воздушную кукурузу» (рис. 3.32)?

Возможно, вам посчастливилось увидеть не только сам след, но и его темную тень на облаках. Но еще более интересен темный след, который оставляет самолет, летящий в облаке. Как образуется этот след?

362, с. 120—129; 364, с. 73, 74; 380—387; 1537; 54д, с. 354—355; 66д.



Рис. 3.32. Инверсионный след самолета, напоминающий нанизанную на нитку «воздушную кукурузу».

Образование пузырьков

3.33. Пузырьки в соленой воде. Почему если соленую воду лить в соленую, то образуется больше пузырьков, чем если пресную воду лить в пресную?

390.

Выталкивающая сила уравнение Бернулли

3.34. Тяга в печной трубе. В хорошем камине дым всегда идет в трубу (а не в комнату), даже если огонь разложен не прямо под ней. Почему возникает тяга в трубе

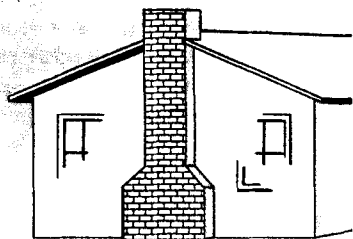


Рис. 3.34. Дым идет из трубы клубами.

и почему она тем лучше, чем выше труба? Почему тяга улучшается в ветреную погоду? Почему, наконец, из некоторых труб дым идет клубами?

44; 318, с. 225—230; 364, с. 216, 217; 391, с. 111, 112; 392, с. 108—112; 393; 394.

3.35. Костры. Во многих местах, где пока еще разрешается разводить костры, запрещают разводить их днем. Как это можно объяснить?



[С разрешения Дж. Харта, компания «Филд энтерпрайзис».]

3.36. Дым сигареты. Почему дым от сигареты вначале поднимается ровной струйкой, а затем, через несколько сантиметров, начинает клубиться? (рис. 3.36)?

339, с. 175, 176; 400.

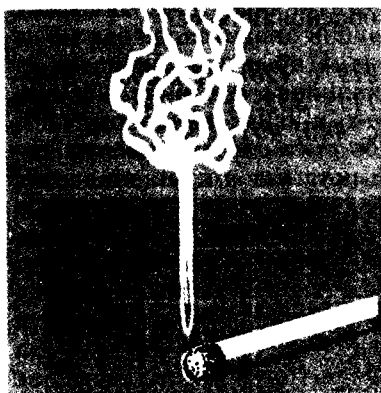


Рис. 3.36.

**Выталкивающая сила
устойчивость
время релаксации**

3.37. Дым заводских труб. Казалось бы, в безветренную погоду дым из заводской трубы должен подниматься вертикально вверх, а при ветре идти под некоторым углом к вертикали. Однако нередко при ветре, равномерно дующем в горизонтальном направлении, наблюдаются картины, приведенные на рис. 3.37, а. Чем объяснить такое разнообразие форм дымовой струи? Особенно любопытна последняя из них — волнообразная. Почему иногда горизонтальная струя делится надвое с подветренной стороны трубы (рис. 3.37, б)?

364, с. 207—212; 395—398;
67д, с. 480—484.

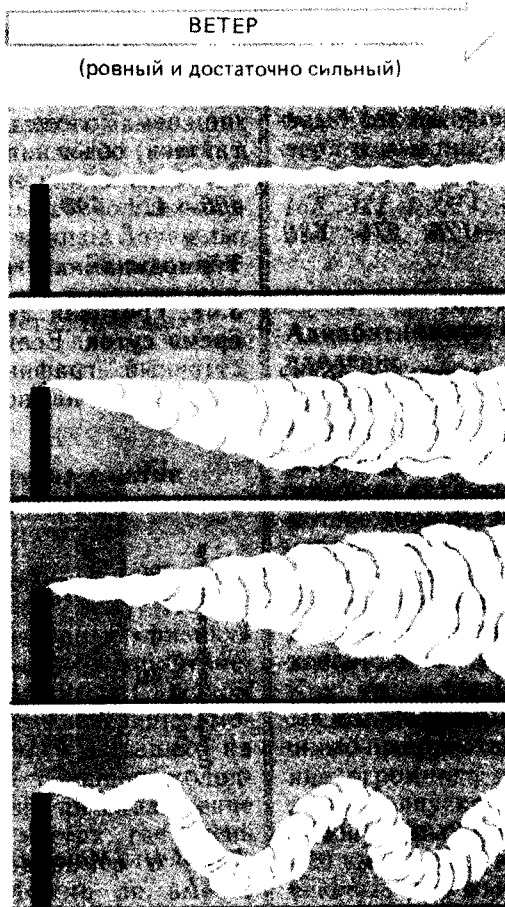


Рис. 3.37, а. [Bierly, Hewson. *J. Appl. Meteorology*, 1, 383 (1962).]



Рис. 3.37, б. Раздваивающийся шлейф дыма (вид сверху).

**Рост ледяных кристаллов
капиллярность
поглощение излучения**

3.38. Оттенки ледовых покровов. Если поздней весной, когда лед уже начинает подтаивать, посмотреть издали на ледовый покров рек или

озер Северной Аляски, то некоторые участки его покажутся темными, а некоторые — светлыми. Если вы вздумаете прогуляться по та-

кому льду, то очень скоро на собственном горьком опыте убедитесь, что темный лед очень слаб и его следует обходить. Почему же лед бывает темным и светлым и почему темный лед слабее?

338, с. 120—126; 376; 68д.

Переохлаждение свободная энергия

3.39. Когда замерзает вода?

Почему вода обычно замерзает при 0°C ? В чем особенность этой температуры? В ряде случаев вода может оставаться в жидком состоянии и при температурах ниже нуля: так, в облаках обнаруживались капли воды при -30°C . При каких условиях возможно такое переохлаждение воды?

Можно ли нагреть лед выше 0°C так, чтобы он не растаял?

338; 389; 402—404; 67д, с. 472—476.

Замерзание скрытая теплота перехода испарение

3.40. Замерзание холодной и горячей воды. В холодных странах, таких, как Канада или Исландия, хорошо известно, что горячая вода, выставленная в мороз на улицу, замерзает скорее, чем холодная. Возможно, вам это покажется вздором, однако это отнюдь не бабушкины сказки: даже Фрэнсис Бэкон в свое время отмечал данный факт.

Наполните несколько сосудов различной формы теплой и холодной водой и поставьте их в морозный день за окно

или в морозилку холодильника. И не удивляйтесь, если в каком-нибудь из сосудов теплая вода замерзнет раньше, чем холодная, а попытайтесь объяснить, почему?

405—411; 69д.

Термодинамика грозы

3.41. Грозовая активность и время суток. Если построить суточный график грозовой активности на всем земном

шаре, то максимум этой кривой придется по лондонскому времени на 7 ч вечера, а минимум — на 4 ч утра. Другими словами, когда в Лондоне 7 ч вечера, на мир обрушивается наибольшее число гроз. Правдоподобно ли существование такой временной зависимости? Каковы физические обоснования ее?

219, с. 123—124; 300, с. 109—111; 332, т. II, гл. 9; 388, с. 445; 401; 63д.

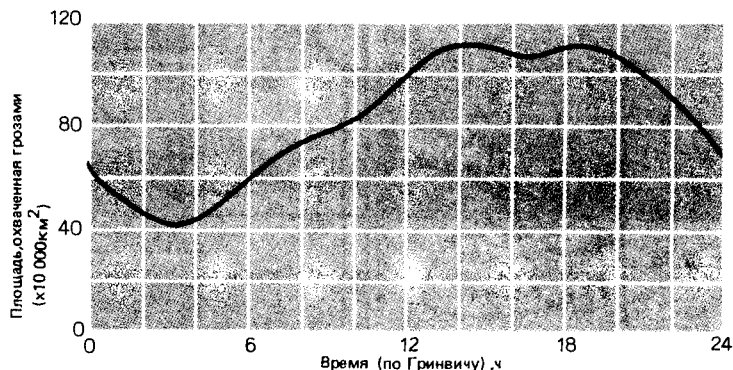


Рис. 3.41. [Malan D. J. *Physics of Lightning*, Engl. Univ. Press, Ltd.]

Теплопроводность

3.42. Почему палец примерзает к металлу? Если дотронуться до холодного металла, например до ванночки для льда, только что вынутой из морозилки, то палец может примерзнуть к нему. Будьте осторожны, если решите испытать это на себе: кожу, приставшую к металлу, легко повредить! Откройте заранее воду в раковине и, взяв ванночку, сразу подставьте ее и руку под струю. И уж ни в коем случае не вздумайте, как это делают некоторые неразумные дети, лизнуть ван-

ночку — это может кончиться очень плохо.

Почему палец «прилипает» к ванночке? Насколько холодным должен быть металл, чтобы палец примерз к нему?

39д, с. 45, 78.

Скрытая теплота перехода

3.43. Как сохранить лед? Почему лед дольше не тает, если завернуть его в мокрую газету?

160, с. 166.

Зависимость плотности от температуры конвекция теплоизоляция

3.44. Замерзающий пруд. Почему пруд на поверхности замерзает прежде, чем в глубине, и намного раньше, чем вблизи дна? (Причина здесь далеко не единственная). Если бы все происходило иначе, то пресноводная рыба водилась бы только в тропиках.

В судоходных реках и озерах, чтобы предотвратить образование льда и тем самым обеспечить прохождение судов, по дну прокладывают трубы с отверстиями, благодаря чему в воду попадают пузырьки воздуха. Если даже лед уже образовался, то из-за пузырьков он начинает подтаивать, и через четыре-пять дней исчезает полностью. Каким образом пузырьки очищают реку или озеро от льда?

158, с. 288; 403; 412, с. 495, 496; 413, с. 139; 414, с. 4—6, 58—61.

Теплопроводность фазовые переходы

3.45. Ходьба на лыжах. Почему лыжи скользят по снегу?

Одинаковы ли механизмы скольжения лыж по снегу и коньков по льду? Можно ли кататься на лыжах по поверхности других замерзших веществ или вода (снег) в этом смысле уникальна? Может ли сильный холод помешать скольжению? Зачем лыжи смазывают? Почему эбонитовые лыжи скользят много лучше металлических?

421—424.

Адиабатическое сжатие давление фазовые переходы

3.46. На катке. Почему коньки скользят по льду? Постарайтесь объяснить «физику» этого явления на практических примерах. Слишком теплая погода, очевидно, может помешать катанию на коньках. А слишком холодная? Хорошо ли скольжение на льду в местах, где очень холодно, например в Гренландии? Можно ли вместо обычного льда использовать для конькобежного спорта другие вещества, например «сухой лед» — твердую углекислоту? Теперь представьте себе, что вам нужно пройти

по льду, но у вас есть возможность выбора: идти по гладкому льду или по шероховатому. Как вы думаете, будет ли какой-то из них более скользким?

166; 321, с. 274; 414, с. 111—113; 418, с. 129; 419; 420.

Адиабатическое сжатие давление фазовые переходы

3.47. Снежная лавина. Как резкое потепление или механическое сотрясение вызывают снежную лавину? Почему лавины часто возникают вечером, когда, наоборот, происходит похолодание? Утверждают, что обвал может вызвать даже тень лыжника. Как это можно объяснить?

Обычно сухой снежной лавине предшествуют появления огромного снежного облака, спускающегося по склону горы со скоростью до 320 км/ч и способного валить вековые деревья и крушить стальные мосты. Рассказывают об одном случае, когда захваченный лавиной лыжник (рис. 3.47) двигался вместе со снегом с такой скоростью, что в нижней части спу-

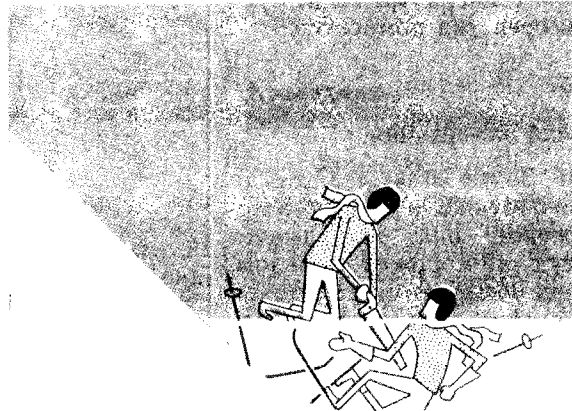
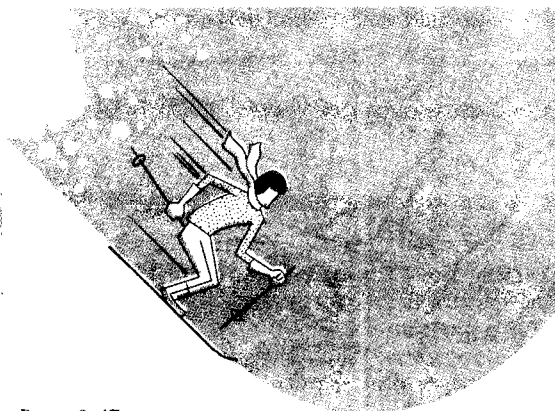


Рис. 3.47.

ска воздух в результате сжатия нагрелся настолько, что снег частично подтаял. Через несколько минут, однако, снег снова смерзся. Поэтому, когда чудом оставшегося в живых лыжника нашли спасатели, его пришлось выпиливать из снега пилой.

415—417.

Теплопроводность фазовый переход

3.48. Как лепится снежок? Почему нельзя слепить снежок при очень низкой температуре? Вообще, как лепится снежок? При какой примерно самой низкой температуре еще можно слепить приличный снежок?

166.

Теплопроводность фазовый переход

3.49. Шипы на шинах и песок в гололед. Зимой в гололед улицы часто посыпают песком, а на шины автомобилей надевают шипы. Почему ни то, ни другое не дает желаемого эффекта при температуре ниже нуля (по шкале Фаренгейта, $0^\circ \text{F} = -17,8^\circ \text{C}$), а при температуре выше нуля эти средства помогают?

166.

Точка замерзания

3.50. Зачем солят лед? Когда моя бабушка делает дома мороженое, она обкладывает сосуд для мороженого льдом, а лед посыпает солью. Зачем она сыпет соль? Кстати, зачем посыпают солью лед на дорогах? По-видимому, на оба вопроса вы ответите одинаково: чтобы понизить тем-

пературу замерзания. Да, это так. Но каким образом это может сделать соль? Известно, что в очень холодную погоду соль не улучшает дорожных условий. Какова же самая низкая температура, при которой еще есть смысл посыпать дорогу солью?

Насколько холодно должно быть, чтобы соленый водоем начал замерзать сверху?

413, с. 187, 188; 414, с. 3, 4, 12—15, 47, 48; 54д, с. 451; 67д, с. 496—498.

Точка замерзания

3.51. Антифриз в радиаторе. Почему смесь антифриза с водой замерзает при более низкой температуре, чем чистая вода? А каким образом антифриз предохраняет двигатель от перегрева летом? Если антифриз так хорош, то почему бы не заполнять радиатор только им и обходиться совсем без воды? (Согласно рекомендациям большинства фирм — изготовителей антифризов, количество антифриза в смеси не должно превышать 50%.)

330, с. 227, 228; 67д, с. 496—498.

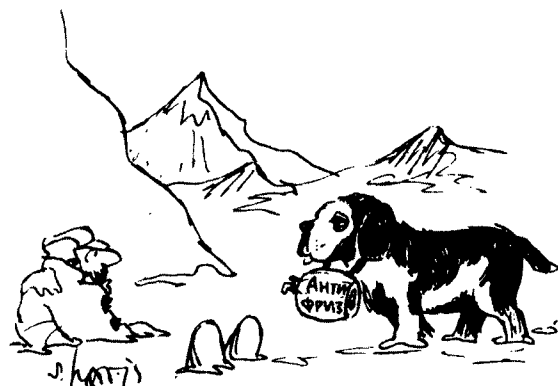
Скрытая теплота перехода

3.52. Влажность и прохлада. Почему, выходя из-под душа или из бассейна, вы ощущаете прохладу? Попробуйте оценить скорость потери тепла в этих случаях. (Для оценки эффекта охлаждения при ветре в настоящее время иногда используют так называемый «фактор ветроохлаждения».)

Почему больных, чтобы облегчить им боль, порой растирают метиловым спиртом? Почему для этой цели не применяют просто воду?

Когда я был маленьким и ездил с родителями отдыхать, обычно на переднее крыло машины мы прикрепляли холщовую сумку с водой. Как бы жарко ни было, вода в сумке оставалась прохладной. Почему? Можете ли вы рассчитать ее температуру при заданных температуре воздуха, влажности и скорости автомобиля?

158, с. 324; 427, с. 64; 428; 429.



Точка заморзания

3.53. Обледенение карбюратора. В иные дни (даже при температуре воздуха около $+5^{\circ}\text{C}$) карбюратор моей машины замерзает, и она не заводится. На рис. 3.53 показано, как дроссельная заслонка примерзает, прекра-

щая подачу воздуха к двигателю. Почему это происходит? Когда вероятность заморзания больше, в сухую или влажную погоду? Может ли это случиться при температуре ниже 0°C ?

426.

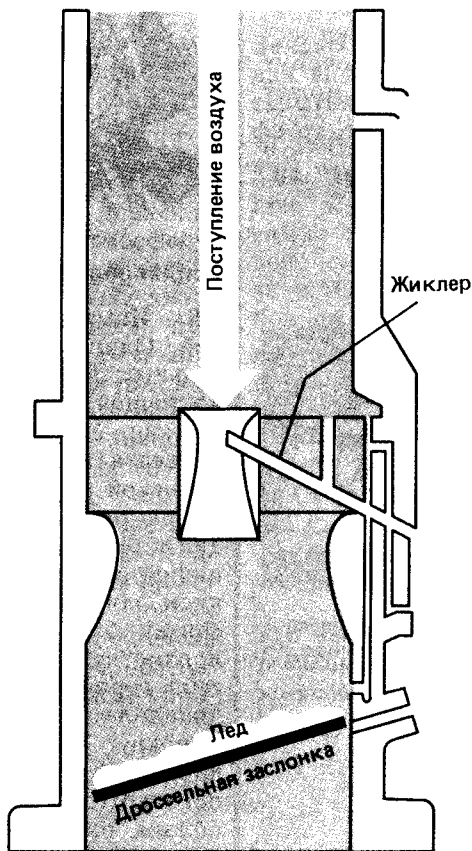


Рис. 3.53. Обледенение карбюратора.

Скрытая теплота перехода диффузия

3.54. Какой лед едят на Севере? Жители Севера знают, что свежеморозивший морской лед слишком соленый, чтобы растапливать его на воду; для этой цели хорош только старый, многолетний лед. На

своем жизненном опыте они убедились также в том, что опреснение воды ускоряется, если льдину вытащить из моря на берег. Особенно это заметно в теплые сезоны — весной и летом. Почему соле-

ность замерзшей воды уменьшается со временем и почему она уменьшается скорее в теплые месяцы, когда, казалось бы, вследствие более сильного испарения концентрация соли в воде должна возрастать?

338, с. 95—97; 414, с. 26—28; 425; 70д, с. 151—156.

Скрытая теплота перехода

3.55. Зачем кастрюлю накрывают крышкой? Почему вода закипает скорее, если кастрюля накрыта крышкой? Возможно, таким путем уменьшают потерю тепла. Но что именно уменьшается: конвекционные потери или потери на излучение? Температура крышки, которой накрыта кастрюля, почти равна температуре кипения воды, поэтому и конвекция воздуха, и излучение должны оставаться в этом случае такими же, как при открытой кастрюле. Почему же все-таки в закрытой кастрюле вода закипает быстрее?

54д, с. 356—358.

Конвекция скрытая теплота перехода

3.56. Зачем открывать духовку? Моя бабушка утверждает, что в сырую погоду духовка согревается скорее, если некоторое время подержать ее открытой, а затем, буквально перед включением, закрыть. Так ли это, и если да, то почему?

160, с. 174.

Скрытая теплота перехода

3.57. Таз с водой спасает овощи. Моя бабушка ставит большой таз с водой в погребе рядом с овощами, чтобы предохранить их от мороза. Как соседство с водой может спасти овощи?

160, с. 161; 329, с. 70; 438.

Скрытая теплота перехода

3.58. Вход в ледник. До изобретения холодильника жители тех районов земного шара, где бывает достаточно суровая зима, запасали лед в ледниках с тем, чтобы пользоваться им летом. Но чтобы иметь хороший ледник, нужно было правильно расположить его, а точнее — ориентировать по странам света. Дверь ледника должна была выходить на восток, чтобы утреннее солнце просушивало влажный воздух внутри. Но ведь в этом случае солнце, по-видимому, и согревало бы ледник больше, чем если бы дверь была обращена на север или на юг. Почему же влажность опаснее, чем небольшой дополнительный нагрев?

439.

Теплопроводность проводники тепла скрытая теплота перехода

3.59. Приспособление для жаренья мяса. Как быстрее поджарить большой кусок мяса? Можно насадить его на железный прут, как обычно делают, когда пекут картошку. Тепло тогда лучше проникает внутрь мяса, и оно готовится быстрее. Однако

в США, например, продается специальное приспособление, предназначенное для этой цели. Оно представляет собой закрытую с обоих концов трубку, внутри которой проходит смоченный водой фитиль (рис. 3.59). Утверждается, что такая трубка проводит тепло в 1000 раз лучше, чем сплошной стержень, в результате время готовки сокращается вдвое. Но почему? Чем полая трубка может быть лучше сплошного стержня и причем тут фитиль и вода?

430—432.

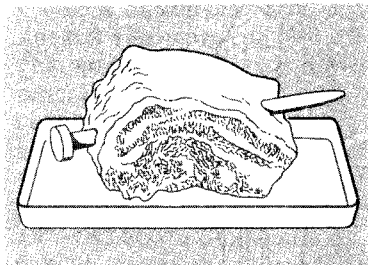
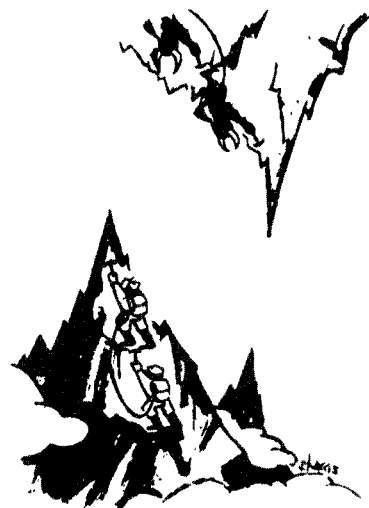


Рис. 3.59. Приспособление для жаренья мяса (из рекламного проспекта компании «Хорайзон индастриз»).

Давление и фазовый переход скрытая теплота перехода

3.60. Самая высокая гора. Почему на Земле нет гор, скажем, в десять раз выше Эвереста? (Вершина Никс Олимпика на Марсе выше Эвереста более чем вдвое.) От чего зависит предельная высота горных вершин и какова она?

440.



Теплопроводность

3.61. Испытание кипящей водой. Один из самых удивительных примеров искусства восточной магии — испытание кипящей водой, которому подвергались последователи японской религии Синто.

Участник действия подходил к огромному котлу с кипящей водой, резким движением погружал в него две связки бамбуковых прутьев и, взметнув их вверх, осыпал себя горячим дождем. Вода попадала в огонь под котлом, и вокруг клубились облака пара — так продолжалось, пока котел не пустел. Тогда облака рассеивались, и все видели человека целого и невредимого; это служило подтверждением всемогущества Синто.

Кипящая вода, несомненно, должна была сжечь кожу человека, так что здесь наверняка скрывался какой-то фокус. Конечно, вам не стоит проделывать этот трюк. Однако попытайтесь ответить на вопрос: помогло ли бы человеку, если бы это жестокое испытание началось в тот мо-

мент, когда вода только-только закипала? Какова в это время температура воды?

449.

Фазовый переход скрытая теплота перехода образование пузырьков

3.62. Точка кипения воды.

Что мы имеем в виду, когда говорим, что вода в кастрюле кипит? Сто градусов по шкале Цельсия — такова общепризнанная температура кипения воды при давлении воздуха в одну атмосферу. Можно ли говорить о какой-то определенной точке кипения? Почему иногда при том же давлении воду можно нагреть до температуры выше 100°C и при этом она не закипит? Почему, наконец, утверждают, что, как только вода нагреется до 100°C , дальнейшее поступление тепла не повышает ее температуру, а лишь увеличивает скорость испарения? Почему воду в глубине сосуда нельзя нагреть выше 100°C , обеспечивая дополнительный приток тепла?

441; 54д, с. 356—358; 67д, с. 465—466; 72д.

Скорость испарения

3.63. Соляное кольцо вокруг лужи.

Когда в гололед тротуар посыпают солью, она по мере испарения лужи откладывается вокруг нее кольцом. Почему? Подобное явление, только в большем масштабе, обнаруживается на озерах в засушливых местностях. Вы можете наблюдать его даже у себя на кухне, если

приготовите в стакане насыщенный раствор соли в горячей воде и дадите ему постоять. Через месяц стакан снаружи и изнутри покроется солью. Как соль оказалась снаружи стакана?

360, с. 21—23; 458.

Законы идеального газа давление паров скрытая теплота перехода фазовый переход

3.64. Пьющая птичка. «Пьющая птичка», — наверное, самая популярная игрушка, действующая по законам физики. Она представляет собой стеклянную птичку, ко-

Фетр или
перышки на голове



торая качается туда-сюда и «пьет» из стаканчика с водой (рис. 3.64,а). Для того чтобы птичка пришла в движение, ее головку нужно смочить водой. Птичка начинает медленно раскачиваться до тех пор, пока ее головка не опустится в воду. Тогда птичка выпрямляется, и теперь все повторяется без посторонней помощи. Пока в стаканчике есть вода, птичка будет раскачиваться. Что заставляет ее двигаться?

Быть может, эта птичка способна разрешить энергетические проблемы грядущего века. Представьте себе: где-нибудь у берегов Калифорнии мы соорудим гигантскую птицу, которая, качаясь, будет снабжать энергией все западное побережье США. Правда, это может породить культ «пьющей птицы», и все мы каждое утро начнем вместе с птицей отбивать поклоны (рис. 3.64,б).

433—437; 1457.

Рис. 3.64,а. Пьющая птичка.

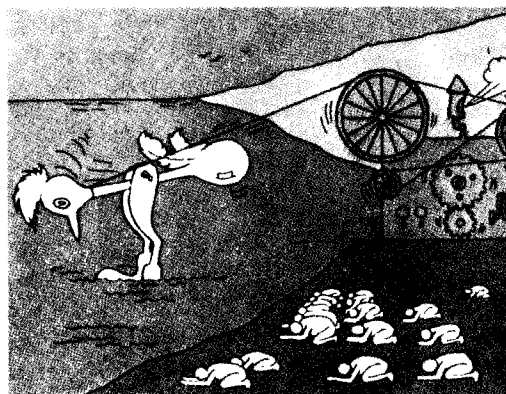


Рис. 3.64,б.

Давление паров

3.65. Капли, пляшущие на горячей сковороде. Если брызнуть водой на горячую сухую сковородку, то на ней начнут прыгать и плясать капли. Почему вода не испаряется сразу? Почему капли движутся? Как это ни удивительно, но капли испаряются быстрее, если сковорода менее горячая. Почему?

Рассмотрите внимательно прыгающую каплю и вы заметите, что она принимает

самые разнообразные формы. В действительности капля вибрирует, но глаз не в состоянии уследить за столь быстрым движением, поэтому вы видите какую-то «усредненную» форму. Чтобы увидеть отдельное состояние капли, придется пользоваться стробоскопом или применить скоростную киносъемку. На рис. 3.65 зарисованы основные формы капель. Почему капли вибрируют?

155, с. 234; 160, с. 171, 172; 330, с. 254; 442—446; 71д.

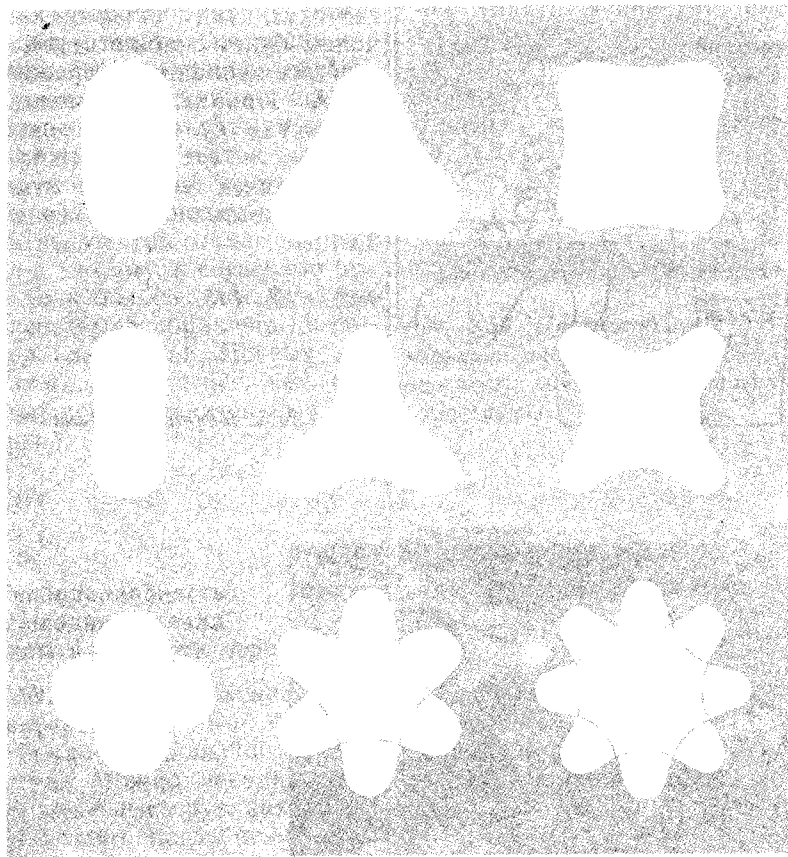


Рис. 3.65. [Holter N. J., Glasscock W. R. J. *Acoustical Soc. Amer.*, 24, 682 (1952).]

«Взрыв» пара конвекция

3.66. Гейзеры. Что вызывает извержения гейзеров; почему некоторые гейзеры, как, например, Верный служака, извергаются через строго определенные промежутки времени? Может ли источником тепла для гейзера служить простая теплопередача через окружающие породы или здесь требуется более быстрый нагрев?

Предположим, вы хотите сделать искусственный гейзер с постоянным источником тепла, как показано на рис. 3.66. Какой длины должна быть трубка и какой мощности требуется нагреватель? С какой частотой и на какую высоту будет извергаться такой «гейзер»?

450—452; 73д; 74д.

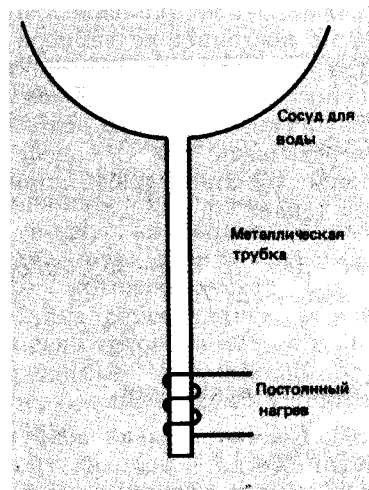


Рис. 3.66. Искусственный гейзер [по материалам Тэйлора и Боли.]

Давление пара

3.67. Кофейник. Как действует мой старый, не электри-

ческий, кофейник? Почему трубка в середине должна быть довольно тонкой? Вся ли вода имеет температуру кипения, когда кофейник начинает «булькать»?

253, с. 110, 111; 1533.

Скрытая теплота перехода

3.68. Батареи отопления с одной трубой. Большинство систем отопления имеет радиаторы с двумя трубами — входной и выходной, однако есть система, в которой к батарее подходит одна труба (рис. 3.68). И, как ни странно, утверждают, что подводимый к батарее пар и выходящая из нее вода находятся при одной температуре. Как они могут иметь одинаковую температуру, если батарея согревает комнату? Откуда берется излучаемое радиатором тепло?

318, с. 6—8; 418, с. 143.

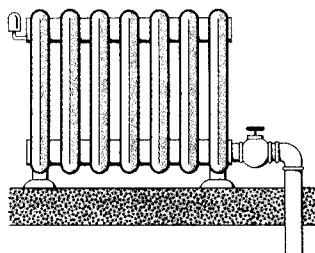


Рис. 3.68.

Пар теплопроводность излучение

3.69. Можно ли лизнуть раскаленную кочергу? Хождение по огню издавна считалось одним из чудес восточной магии. Однако лишь



совсем недавно это явление было исследовано наукой. Однажды в перерыве футбольного матча в присутствии тысяч зрителей была даже устроена демонстрация этого чуда. Более того, люди, ходящие по огню, способны на мгновение погружать руки в расплавленный металл и даже трогать и лизать (!) раскаленную докрасна кочергу без малейшего ущерба для своего здоровья. Вы, вероятно, подозреваете здесь какой-нибудь подвох, однако все эти «подвиги» можно объяснить с точки зрения обычной физики. Я лично окунал пальцы в расплавленный свинец, и они остались целы; но вам этого делать не советую, так как подобные опыты очень опасны и могут привести к весьма неприятным последствиям. Как видно из рисунка, даже физика не в состоянии спасти слишком самоуверенного ученого.

Но вот профессиональный фокусник трогает языком

раскаленную кочергу. Что предохраняет его язык не только от серьезного ожога, но и вообще от неприятных ощущений? Почему металл обязательно должен быть чрезвычайно горячим? Опасно ли проделывать такой фокус с менее горячим металлом? Существует ли какая-то оптимальная скорость хождения по огню? В частности, может ли случиться, что человек идет слишком быстро?

330, с. 254, 255; 447; 448; 710, 1700.

«Взрыв» пара конвекция

3.70. Удары в трубах отопления. Что вызывает звуки, похожие на удары молота, в радиаторах парового отопления?

253, с. 155; 318, с. 9, 15; 453.

Поглощение тепла излучение

3.71. Алюминиевая фольга для хранения пищи. У обычной пищевой фольги одна сторона блестящая, а другая — матовая. Какая из сторон должна быть наружной, когда в фольгу заворачивают продукты, например картофель, который собираются печь? Какая сторона фольги должна быть снаружи, если продукты предназначены для замораживания? Существенна ли эта разница?

3.72. Старые лампочки накаливания. Почему лампочка накаливания со временем становится серой? Равномерно ли она темнеет или какая-то сторона темнеет больше?

3.73. Раскаленный докрасна: насколько это горячо? Наверное, вы знаете, что если сильно нагреть предмет, то он начинает светиться. Раскаленная докрасна кочерга в камине — один из примеров этого. Можете ли вы оценить температуру, при которой свечение кочерги становится видимым? Зависит ли это от того, из чего сделана кочерга: из черного чугуна или блестящей стали?

1583; 75д; 76д, с. 682—710.

3.74. Холодильник охлаждает комнату. Однажды в очень жаркий день я решил охладить свою комнату в общежитии, открыв дверцу холодильника (рис. 3.74). Насколько я мог преуспеть в этом?

40д, с. 68, 261; 77д.

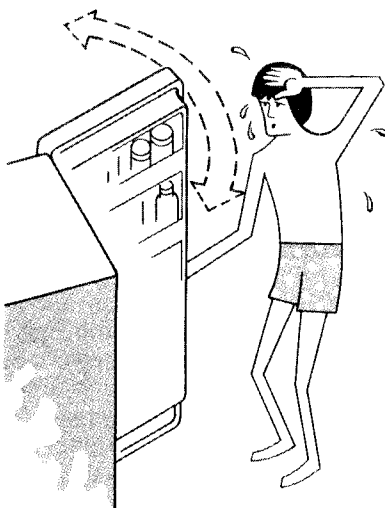


Рис. 3.74. Холодильник в роли кондиционера.

Поглощение и передача тепла

3.75. Черные формы для пирогов. Почему донышки некоторых форм для пирогов зачернены?

Если вы решили сами

испечь пирог и хотите, чтобы он поджарился снизу, то вам лучше воспользоваться сковородкой из термостойкого стекла, а не из металла. Если же вы располагаете только металлической формой, то вам следует отдать предпочтение зачерненной форме перед блестящей. Почему? Теоретически вы, наверное, уже знаете, как ответить на этот вопрос. Но правы ли вы? Попробуйте проверить на простых опытах.

Излучение

3.76. Архимедовы «лучи смерти». Во время нападения римлян на Сиракузы около 214 г. до н. э., согласно преданию, город спас Архимед. Он сжег римский флот солнечными лучами, отраженными от зеркал. Как рассказывают, на берегу выстроились много солдат, которые одновременно направляли солнечные зайчики на каждый из кораблей — так был уничтожен весь флот противника.

В те времена не было слишком больших зеркал — как же мог Архимед осуществить подобное? Можете ли вы оценить, сколько зеркал, скажем, площадью 1 м^2 каждое, понадобится, чтобы поджечь менее чем за минуту темное дерево на расстоянии 100 м ? Если расстояние до цели меняется, то какими должны быть зеркала: вогнутыми или плоскими? Если они плоские, то какие размеры имеет солнечный зайчик на дереве? И наконец, мог ли все-таки Архимед уничтожить таким образом римский флот?

1574—1580; 1615; 1616; 78д.



Давление нелинейные колебания

3.77. Игрушечный пароходик. Игрушечный пароходик (рис. 3.77) приводится в движение совершенно невероятным способом. Небольшой котел соединяют двумя трубками с кормой кораблика. Когда под наполненный водой котел ставят зажженную свечу, образующийся в нем пар выталкивает из трубок воду, и суденышко

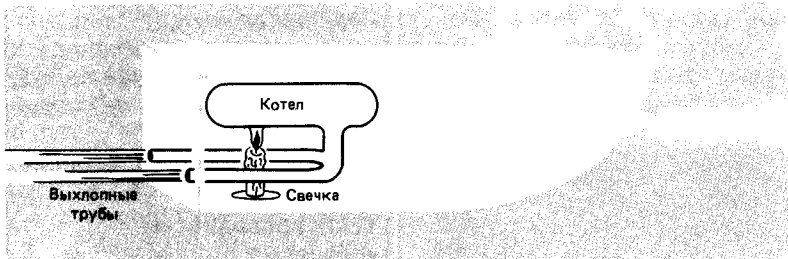


Рис. 3.77. Игрушечный пароходик в разрезе [Finnie I., Curl R. L. Amer. J. Phys., 31, 289 (1963).]

Теплопроводность удельная теплоемкость

3.78. Почему предметы кажутся холодными? Не должны ли все предметы, находящиеся при одинаковой температуре, создавать у нас одинаковое ощущение тепла или холода? Вы без малейшего колебания надеваете на себя одежду, имеющую комнатную температуру, примерно 20°C , но попробуйте сесть раздетым в сухую ванну, которая, казалось бы, должна иметь ту же температуру, и вы почувствуете, как велика тут разница. Почему? (Почему зимой металлические предметы кажутся более холодными, чем,

движется вперед. Казалось бы, когда вода в котле кончится, кораблик должен остановиться — но нет, вода засасывается через трубки в котел, и процесс начинается сначала. Так пароходик, фыркая, плывет вперед. Почему всасывается вода? Почему, когда она всасывается, пароходик не движется назад с той же скоростью, с какой он двигался вперед?

454—457.

например, деревянные или кирпичные? — *Ред.*)

462.

Излучение конвекция фазовые переходы

3.79. Белые одежды в тропиках. Почему люди носят в тропиках белую одежду (если они, конечно, действительно это делают)? Считается, что белая одежда прохладнее. Реален ли и измерим ли этот эффект? Если кожа у людей белая, то есть ли смысл в белой одежде?



Рис. 3.79. «Беда не в том, что жарко и влажность высока — всему виной этот проклятый чистошерстяной бурнус на подкладке».

Какое излучение солнца — ультрафиолетовое, видимое или инфракрасное — несет в основном тепло? Как белая одежда ведет себя по отношению к каждому из этих видов излучения? Какая доля получаемого нами тепла приходится непосредственно на солнечные лучи, а какая берется от окружающей среды? Наконец, если вам придется идти по пустыне, то что лучше: одеться в белое или вообще снять одежду?

344, с. 58, 59; 459—461.

Поглощение тепла и теплопроводность

3.80. Чугунные сковородки. С давних пор по неведомым причинам предпочтение отдается чугунным сковородкам перед стальными. Все повара — и профессионалы, и любители — в один голос клянутся, что в чугунной посуде пища прожаривается более равномерно и меньше

пригорает. Есть ли этому какое-то физическое обоснование?

Излучение нагревание поток тепла теплопроводность

3.81. Почему «отстают» времена года? Почему зимой холодно, а летом жарко? Может, зимой Земля дальше всего от Солнца, а летом ближе всего к нему? Нет, в действительности как раз наоборот (рис. 3.81).

Какие месяцы, по-вашему, должны быть самыми холодными, а какие — самыми

жаркими? С точки зрения теории самыми холодными скорее всего должны быть ноябрь, декабрь и январь, а самыми теплыми — май, июнь и июль. Однако и метеорологическая статистика, и ваш собственный опыт свидетельствуют, что самые холодные месяцы — это декабрь, январь и февраль, а самые теплые — июнь, июль и август. Как говорит моя бабушка, солнце на лето — зима на мороз. Почему в действительности погода «отстает» на месяц от теории?

388, с. 7.

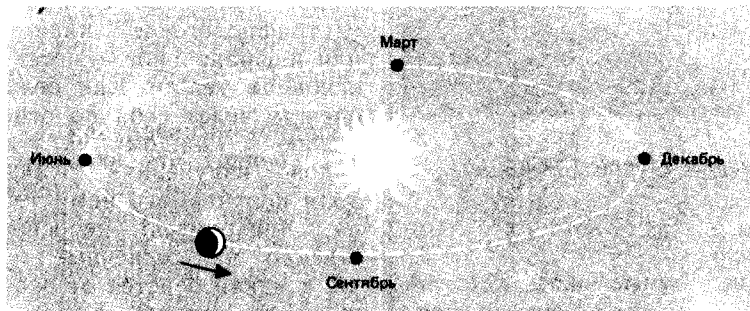


Рис. 3.81. Обращение Земли вокруг Солнца (масштаб не выдержан).

Температура кинетическая теория излучение

3.82. Температура в космосе. Какова температура в космическом пространстве? Что покажет термометр, который космонавт возьмет с собой, выходя в открытый космос?

79d.

Излучение

3.83. Парники. Парник устраивается таким образом,

чтобы растения в нем находились в тепле. Как это достигается? Нужно ли для парника особое стекло или подойдет любое?

«Парниковый эффект» учитывают, когда говорят о неприятных последствиях промышленного загрязнения атмосферы. Так, огромное количество сверхзвуковых самолетов, летающих на больших высотах, может привести к катастрофическому потеплению земного климата. Почему это вызывает опасения и как общее

загрязнение атмосферы может создать «парниковый эффект»? Это, конечно, очень сложный вопрос. Некоторые ученые, напротив, утверждают, что загрязнение атмосферы приведет не к потеплению, а к похолоданию на земном шаре и в конечном счете к наступлению нового ледникового периода. Любопытные рассуждения о влиянии облаков на приток солнечного излучения к Земле содержится в очень интересном научно-фантастическом романе Фреда Хойла «Черное облако»¹.

219, с. 153, 154; 388, с. 22; 466, с. 33, 34; 467—469; 1544; 1545.

Теплопроводность конвекция излучение

3.84. Почему вам холодно? Почему вам будет холодно, если вы холодным зимним днем выйдете в поле раздетым? Каким образом тело теряет тепло: путем теплопроводности или как-то иначе? Почему вам тепло в шубе? Ведь шуба тоже проводит тепло.

В холодный день, находясь в помещении, постоите некоторое время лицом к окну, а потом отвернитесь от него. Скорее всего, вы ощущали прохладу на лице, когда оно было обращено к окну. Почему? В конце концов, температура воздуха не изменилась, когда вы отвернулись от окна.

В фильме «Космическая

¹ Хойл Ф. Черное облако. Альманах научной фантастики, вып. 4.— М.: Знание, 1966.— Прим. ред.

одиссея: 2001» астронавт выходит на несколько секунд в открытый космос без защитного скафандра. (Артур Кларк, автор одноименного романа, считает, что это возможно без особого вреда для астронавта). Будет ли у человека ощущение холода при такой прогулке в космосе?

Каким образом некоторые люди приспособляются работать на сильном холоде? Некоторые религиозные фанатики, чтобы доказать стойкость своего духа, даже предпочитают противоестественно холодные условия существования. Уникальный пример приспособленности к холоду обнаружил Чарлз Дарвин у индейцев племени Яган в Южной Америке: при температуре, близкой к 0° С, они едва прикрывают плечи меховой накидкой. Какие физические изменения должны происходить в организме, чтобы подобная адаптация к холоду стала возможной?

Почему, наконец, вы дрожите, когда вам холодно?

253, с. 140—142; 344, гл.



Рис. 3.84. «Он был слишком раздражителен».

4, 5; 412, с. 498; 428; 459; 460; 463—465; 79д.

Потери тепла

3.85. Теплоизоляция паропроводов. Открытые паропроводы часто обматывают асбестом, чтобы уменьшить потери тепла. Отсюда, казалось бы, можно было заключить, что асбест хуже проводит тепло, чем воздух. Иначе зачем тратиться на асбестовую изоляцию? Но нет — асбест проводит тепло лучше воздуха. Зачем же тогда обматывать трубы,— может быть, именно этого и не следует делать?

253, с. 74.

Конвекция

3.86. Куда дует ветер в грозу?

И вам синоптик ни к чему, чтоб знать, куда подует ветер.

Боб Дилан, «Подземный ностальгический блюз»

Если гроза происходит

где-то в нескольких километрах от вас и движется по направлению к вам, то куда дует ветер: в сторону грозы или в вашу сторону? Скорее всего, вы заметите, что по мере приближения грозы направление ветра меняется. Почему?

300, с. 4; 362, с. 47; 363, с. 105, 106.

Конвекция

3.87. Серебристые волны от пальца. Насыпьте немного мелких алюминиевых опилок в плоскую банку с древесным спиртом, закройте ее крышкой и поставьте в холодильник. Когда банка достаточно охладится, достаньте ее и приложите сбоку палец. Возле пальца образуются быстро расходящиеся серебристые волны (рис. 3.87). Что порождает эти волны? (Алюминиевый порошок нужен только для того, чтобы сделать их видимыми.) Что случилось бы, если бы банка со спиртом находилась при комнатной температуре

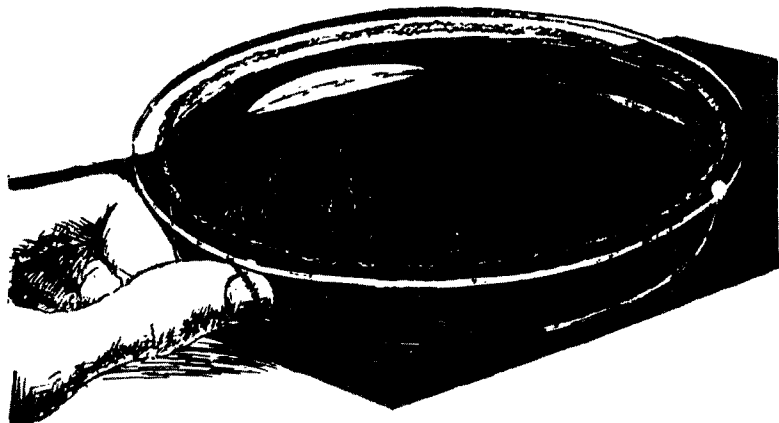


Рис. 3.87. Волны, идущие от пальца в чашке со спиртом. [Stong C. L. The Amateur Scientist.— Scientific American. 1967.]

и вы бы прижали к ней не палец, а кусочек льда?

472.

Конвекция

3.88. Рои насекомых над деревьями. Часто незадолго до захода солнца над вершинами деревьев можно видеть темные облачка (рис. 3.88.). Они похожи на дым, однако при ближайшем рассмотрении оказывается, что это плотные рои насекомых, чаще всего комаров, которые собираются над деревьями. Рои эти вытянуты вверх и резко очерчены — порой создается впечатление, что дерево горит. Такие рои можно наблюдать также над телевизионными антеннами и церковными шпилями. Рассказывают, что однажды пожарная команда выехала по тревоге тушить пожар в церкви, но обнаружила, что над церковью клубится не дым, а рой насекомых. По-

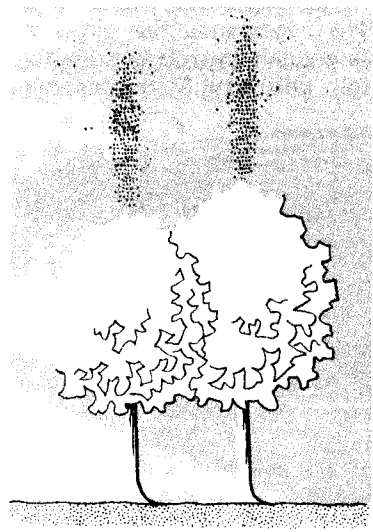


Рис. 3.88. Рои насекомых над деревьями [Science, 152, 387 (1966).]

чему насекомые собираются в такие тучи?

473—480.

Конвекция

3.89. Рои креветок и «чертово колесо». Мелкие прибрежные рачки (креветки), всплывающие к поверхности большими роями, тоже порой напоминают шлейф дыма (рис. 3.89). Эти «шлейфы»,

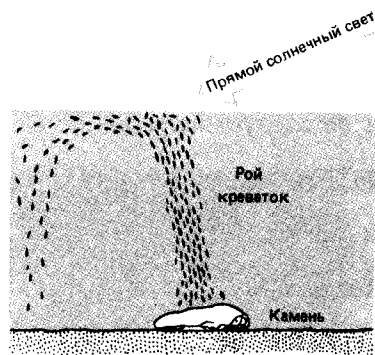


Рис. 3.89.

которые иногда занимают несколько кубических метров, всегда наблюдаются над подводными камнями. Более того, креветки никогда не собираются над камнями, лежащими в тени, а только над теми, которые освещены солнцем. Несмотря на это, рой креветок в своем движении часто уклоняется от солнечных лучей. Вопросы, возникающие в этой связи, очевидны. Почему креветки всплывают в таком количестве лишь над освещенными солнцем камнями? Если они стремятся к солнечному свету, то почему при движении они уклоняются от солнца?

Креветку в таком «шлейфе» несет к поверхности мо-

ря; здесь она отделяется от роя и снова плывет ко дну. Затем ее опять притягивает к рюю, так что в целом ее движение напоминает «чертово колесо»? Почему это происходит?

481.

Фазовый переход скрытая теплота перехода теплообмен в организме человека

3.90. Тепловой удар. Если вам приходилось в разгар лета подстригать косилкой газон — я это неоднократно проделывал в Техасе, — то вы не могли не подивиться тому, что ваше тело остается относительно прохладным. При большой физической нагрузке в организме вырабатывается значительное количество тепла — до 1400 ккал в час, и если бы тело каким-то образом не рассеивало это тепло, то его температура вполне могла бы повышаться градусов на 15 в час. Конечно, это очень скоро привело бы к роковым последствиям. Как же рассеивается тепло? Можете ли вы проследить путь, которым организм избавляется от излишнего тепла?

Для меня подстригать газон в полуденную жару раз в неделю невыносимо — жара изматывала меня вконец. Но некоторые люди способны делать это каждый день без особого утомления. Каким-то образом их организм приспособливается к работе в жару. Что же конкретно происходит? Ведь тепло в организме вырабатывается столь же интенсивно, значит, должен как-то меняться ме-

ханизм рассеивания избыточного тепла.

Высокая температура воздуха в Техасе переносится сравнительно легко, потому что там низкая влажность. Почему жару гораздо труднее переносить при высокой влажности?

344, с. 57—59; 482.

Охлаждение теплопроводность тепловое излучение

3.91. Как остудить кофе? Допустим, вы только что приготовили чашечку черного кофе, но до начала занятий осталось еще пять минут. Если вы хотите принести кофе в класс возможно более горячим, вам следует решить, когда наливать в кофе сливки: сейчас или уже в классе? Когда лучше класть сахар? Когда и как долго размешивать его? Если вы не хотите размешивать, то стоит класть в чашку ложку или нет? Имеет ли значение, какая у вас ложка — пластмассовая или металлическая? Изменился ли бы ваш ответ, если бы сливки были не белыми, а черными? Зависит ли ответ от цвета чашки? Попробуйте подкрепить свои рассуждения хотя бы простейшими расчетами.

Перенос тепла и температура

3.92. Проявление моментальной цветной фотографии «Поляроид». Когда вы делаете цветной снимок фотоаппаратом «Поляроид»¹ в холодную погоду, при проявлении вы должны согреть металлическую пластинку хотя

бы на теле. В противном случае баланс цветов на снимке будет нарушен: холодные красящие вещества не успеют вовремя перейти на позитив. Почему в данном случае температура влияет на скорость перехода красок?

497.

¹ В фотоаппарат «Поляроид» заряжают фильм-пакет, в котором находятся негатив, позитивная бумага и проявляющие вещества. После того как экспозиция произведена, пакет вынимают из аппарата, при этом ампулы с проявляющими веществами раздавливаются и красящие вещества переходят с проявляющегося негатива на позитив. В теплую погоду проявление происходит непосредственно при изъятии пакета из аппарата, в холодную — рекомендуется накладывать фильм-пакет на согретую металлическую пластинку. — *Прим. перев.*

Конвекция теплопроводность излучение скрытая теплота перехода

3.93. «Острова тепла». Почему температура воздуха в городе на 3—5° С выше, чем в окрестности (рис. 3.93)? Очевидно, что в городе большое количество тепла выделяется промышленными

объектами. Но помимо этого, как влияют на температуру многоэтажные здания, значительные пространства, покрытые камнем и бетоном, быстрый сток дождевой воды, уборка снега, наличие пыли в воздухе, туманы, «смоги» и т. п.?

Метеорологи, составляя температурную карту города — большого или маленького, — всегда обнаруживают там «остров тепла», расположенный вблизи городского центра. По мере удаления от центра температура воздуха понижается. По этой причине, кстати, в центре города цветы весной начинают распускаться раньше, чем на окраинах и в пригородах.

344, с. 78—81; 483—493.

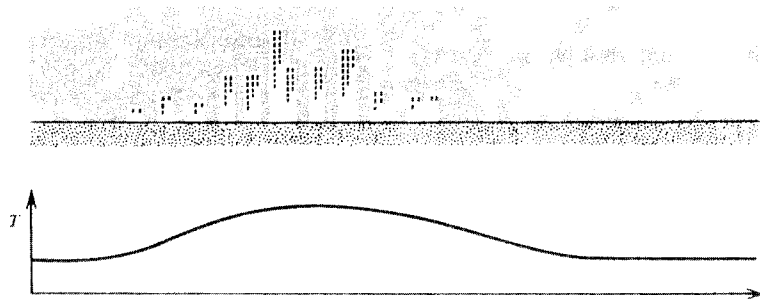


Рис. 3.93. «Острова тепла» в городе.

Кинетическая теория законы идеального газа

3.94. Полная кинетическая энергия в нагретой комнате. Печь согревает воздух в комнате. Повышается ли при этом внутренняя энергия воздуха (то есть кинетическая энергия молекул воздуха) в комнате? Кажется бы, ответ вполне ясен: энергия несомненно зависит от температуры, следовательно, если воздух нагревается, то и внутренняя энергия должна увеличиваться. Однако путем другого рода рассуждений можно показать, что внутренняя энергия воздуха не изменяется. Как это сделать?

343; 494—496.

Излучение

3.95. Жаровни во фруктовом саду. Зачем садовод, опасаясь утренних заморозков, на ночь ставит в своем саду дымящиеся жаровни? Поскольку жаровни расставлены довольно далеко друг от друга, то они, конечно, не могут согреть деревья. В чем же тогда их смысл? Пользуются ли ими в дневное время?

330, с. 398; 471, с. 130.

Теплопроводность конвекция

3.96. Под снежным одеялом. Почему неожиданное похолодание не опасно для озимых, если они находятся под глубоким снежным покровом?

160, с. 183; 413, с. 205.

Закон Вина проницаемость атмосферы

3.97. Пожары от ядерных взрывов. Среди множества угроз для жизни, которые несут с собой атомные взрывы, возможно, наиболее серьезной является возникновение бесчисленных пожаров. Бомба мощностью в 1 мегатонну способна поджечь одежду, бумагу, сухое дерево и другие горючие материалы на расстоянии до 15 км; учитывая же мощности современных атомных бомб, эту оценку следует увеличить еще на порядок. В населенных районах такая огненная буря, разрастаясь, может уничтожить практически полностью все строение и все живое [219].

Но если вы находитесь на расстоянии нескольких километров от эпицентра взрыва, то у вас оказывается еще достаточно времени (до 3 с), чтобы найти укрытие. Во-первых, каким образом взрыв вызывает пожары на расстоянии нескольких километров от эпицентра? Во-вторых, почему воспламенение происходит лишь через некоторое время после взрыва?

219, с. 307—310; 75д; 76д, с. 682—711.

Рост кристаллов

3.98. Выращивание кристаллов. Для того чтобы кристаллы начали образовываться в пересыщенном растворе, там должно присутствовать хотя бы незначительное количество примесных частиц. Почему?

498; 54д, с. 436—440; 81д—83д.

3.99. Симметрия снежинок. Почему снежинки имеют форму шестиугольника или шестиконечной звездочки? Почему все шесть концов снежинки совершенно одинаковы? Как в процессе роста снежинки одна сторона «узнает», что делают ее соседи?

388, с. 449—453; 404; 499—506.

Поверхностное натяжение смачивание

3.100. Притягивающиеся хлопья. Если два колечка хлопьев «Чирио»¹ бросить в молоко недалеко друг от друга, то они быстро притянутся. Какая сила вызывает это «притяжение»?² Можно ли заставить их отталкиваться, пустив в соответствующую жидкость?

39д, с. 48—82; 84д.

¹ Искусственные хлопья, подобные кукурузным, имеющие форму правильного колечка величиной с ноготь мизинца.— *Прим. перев.*

² Точно таким же образом ведут себя две деревянные спички с обломленными головками. Если одну из спичек смазать парафином, то они «отталкиваются», если парафином смазать обе спички, то они «притягиваются». Интересно, что по тем же причинам притягиваются два маленьких пузырька на поверхности воды.— *Прим. ред.*

Капиллярные явления

3.101. Культивация земли. Почему посевные земли в полузасушливых районах часто подвергают культивации (перепахивают верхний слой почвы, измельчая землю)? Если на культивирован-

ной земле остается след ноги, то земля в этом месте становится сухой и твердой. Почему?

158, с. 141, 142.

Поверхностное натяжение смачивание

3.102. Кривизна поверхности жидкости у стенок сосуда.

У одних жидкостей поверхность вблизи стенок стеклянного сосуда загибается вверх, у других — вниз. Почему это происходит? Какая сила заставляет край поверхности загибаться вверх или вниз? Каково принципиальное различие (на микроскопическом, или атомном, уровне) между теми жидкостями, которые поднимаются у стенок, и теми, которые опускаются? Можно ли заранее предсказать, какую форму поверхность примет в том или ином случае?

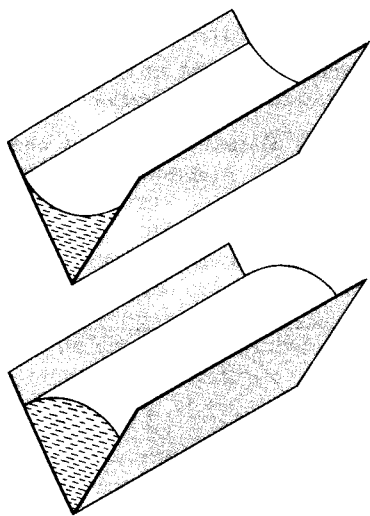


Рис. 3.102. Как искривляется поверхность несмачивающей жидкости?

Некоторые жидкости сохраняют каплевидную форму, когда попадают на плоскую стеклянную поверхность. Почему они не растекаются? Какова принципиальная разница между смачивающими и несмачивающими жидкостями? Какую форму принимает капля несмачивающей жидкости на поверхности?

Представьте, что несмачивающая жидкость налита в небольшую кювету, как показано на рис. 3.102. Какую форму должна принять при этом ее поверхность? Или она может быть любой в зависимости от угла кюветы? Если так, то при каком угле поверхность будет плоской?

51; 321; 507—511; 54д, с. 321—340; 67д, с. 414—421, 423—426; 85д; 86д.

Осмотическое давление атмосферное давление отрицательное давление

3.103. Как поднимается древесный сок? Каким образом сок поднимается по стволам деревьев, особенно высоких (некоторые секвойи достигают 120 м в высоту)? Наверняка существует разность давлений между корнями дерева и его кроной. За счет чего она возникает? Действует ли дерево как всасывающий насос? Если так, то не должна ли высота дерева быть ограничена 10 м — ведь именно такова максимальная высота подъема воды всасывающим насосом? По-видимому, в деревьях действует какой-то другой механизм.

512—519; 54д, с. 366—368.

Осмотическое давление капиллярность замерзание

3.104. Ледяные столбы в земле. Приходилось ли вам видеть ледяные столбики высотой 3—4 см, которые, казалось бы, вырастают из земли? При внимательном рассмотрении на их верхушках можно заметить частицы земли, песчинки или мелкую гальку. Как ни странно, земля под этими столбиками обычно оказывается не замерзшей и влажной. Почему растут эти столбики? Если температура достаточно низка, так что замерзает вода, то почему не замерзает земля? Чем определяется высота столбиков?

338, с. 133; 521.

Капиллярность осмотическое давление замерзание воды

3.105. Камни, «растущие» в саду. Если вам когда-нибудь приходилось ухаживать за садом, то вы, наверное, обращали внимание на то, что весной в саду неизменно откуда появляется огромное количество камней. В некоторых районах, например в Новой Англии, «урожай камней» особенно обилен. Именно об этом говорится в стихотворении Роберта Фроста «Починка стены» (см. задачу 3.106).

Камни, судя по всему, путешествуют вверх на поверхность земли из подземных скальных пород. Как это происходит? Ведь камни имеют большую плотность, чем почва, и потому должны постепенно опускаться, а не подниматься. Что же «тол-

кает» их вверх? Несложная модель этого движения камней, которую вполне можно осуществить в школьном физическом кабинете, описана Боули и Бургхардтом в работе [522].

403; 522—526.

Осмотическое давление капиллярные явления замерзание

3.106. Вспучивание дорог зимой.

Есть что-то, что не любит ограждений, что осыпью под ними землю пучит и сверху сбрасывает валуны, Лазейки пробивает для двоих.
Роберт Фрост, «Починка стены» (перевод М. Зенкевича)

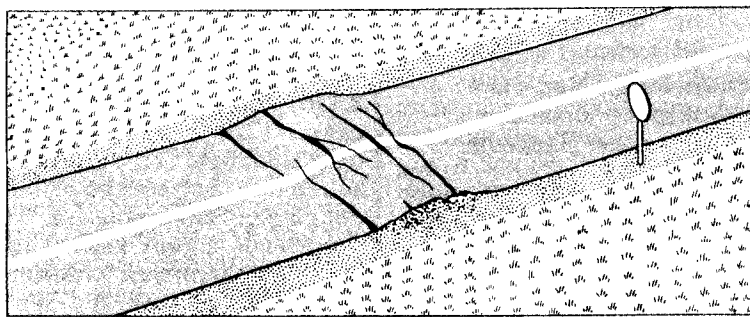


Рис. 3.106. Вспучивание дороги зимой.

Капиллярность осмотическое давление

3.107. «Закорачивание» кирпичной стены. Кирпичные стены часто промокают, особенно у земли. Один из способов предотвратить это так: стену заземляют, соединяя ее проводом с забитым в землю металлическим стержнем (рис. 3.107). При

Если вам приходилось жить на Севере, то вы, вероятно, замечали, что на асфальте зимой образуются выпуклости, на бетонных дорогах — трещины, а иногда за зиму дорогу сильно вспучивает (рис. 3.106). Высота вспучиваний достигает порой 30 см. Что вызывает эти явления? Первое, что приходит в голову, — это объяснить их замерзанием и расширением воды, скопившейся под поверхностью дороги. Однако для столь сильного вспучивания понадобилось бы так много воды, что это предположение придется отвергнуть. Что же вызывает вспучивание дороги?

338, с. 131—133; 403; 520; 540, с. 336—340, 366—368.

этом не используется никаких батарей или других источников тока — только провод и стержень. Как такое «закорачивание» может спасти стену от промокания?

527.

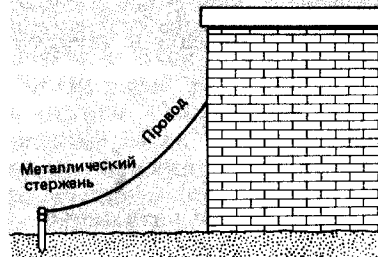


Рис. 3.107. Просушка кирпичной стены с помощью электрического заземления.

Поверхностное натяжение

3.108. Мыльные пузыри. Какие силы удерживают мыльный пузырь? Имеет ли он в точности сферическую форму? Каково давление внутри пузыря? Как он ведет себя в воздухе: поднимается вверх или опускается вниз? Есть ли на поверхности пузыря область, в которой разрыв наиболее вероятен?

322; 528—532; 533; 540, с. 333—336.

Поверхностное натяжение выталкивающая сила

3.109. Мыльные пузыри «наоборот». Мыльные пузыри «наоборот», у которых вода и воздух меняются местами, можно без труда получить,

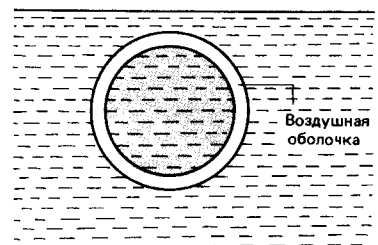


Рис. 3.109.

осторожно вливая с высоты нескольких миллиметров мыльную воду в тарелку с чистой водой. Если лить медленно, по поверхности воды покатятся капли. Если вы станете лить чуть быстрее, какая-нибудь капля может пробить поверхность и остаться под ней, окруженная тонкой воздушной оболочкой. Это и есть мыльный пузырь «наоборот» (рис. 3.109).

Будут ли эти пузыри играть разными цветами, как обычные? Равномерна ли толщина их оболочек? Тонут ли они в тарелке или всплывают? Не будет ли внутренняя капля испаряться в воздушную оболочку, способствуя тем самым гибели пузыря?

534; 1608.

Капиллярность

3.110. Мерцающее угасание свечи. Почему многие свечи, особенно маленькие, мерцают и потрескивают перед тем, как погаснуть? Чем определяется частота их мерцаний?

535.

Горение

3.111. Взрывоопасная пыль. Когда я был студентом, то время от времени устраивал себе небольшое развлечение: в электрический патрон под потолок в комнате приятеля я вставлял вместо лампочки короткую проволочку и обвязывал патрон прозрачным пакетом, в который насыпал немного муки. Проволочка почти замыкала контакты в патроне, поэтому, когда по-

ворачивали выключатель, в патроне проскакивала искра. Перед появлением своей жертвы я встряхивал муку в пакете. Что было дальше, вы, вероятно, догадываетесь. Приятель включил свет, в патроне искрилась, пыль в пакете взрывалась, и все в комнате покрывалось ровным слоем муки. Для некоторых промышленных предприятий, где в сильно запыленном воздухе накапливается статическое электричество, опасность взрыва пыли весьма серьезна. Почему искра вызывает взрыв имеющейся в воздухе пыли?

536; 537—539; 870.

Горение теплопроводность

3.112. Шахтерская лампа Дэви. Шахтерская лампа с открытым огнем очень опас-

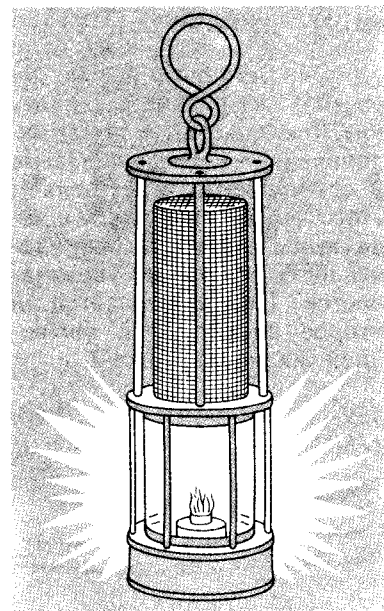


Рис. 3.112.

на, если в каких-то участках под землей встречается горючий газ. Эту опасность, однако, можно устранить, если окружить лампу со всех сторон мелкой металлической сеткой (рис. 3.112). Такой экран, конечно, не препятствует попаданию горючего газа внутрь лампы, но тем не менее он предотвращает взрыв. Каким образом?

110, с. 171; 155, с. 232; 413, с. 205; 541, с. 74, 75; 542.

Механические напряжения обезвоживание

3.113. Грязевые многоугольники и трещины в земле. Вам, конечно, приходилось видеть трещины в засохшей грязи. Не задумывались ли вы над тем, почему возникают эти трещины и почему они имеют форму многоугольников? Иногда края такого многоугольника загибаются кверху — порой настолько, что скручиваются в трубочку, которая отделяется от поверхности.

С появлением методов аэрофотосъемки гигантские многоугольники удалось заметить на дне пересыхающих водоемов в пустынях. Говоря «гигантские», я имею в виду, что диаметр этих многоугольников достигает 300 м, а свежие разломы имеют до метра в ширину и до пяти — в глубину.

Почему возникают трещины и почему их края сворачиваются трубочкой? Есть ли основания считать, как делают некоторые ученые, что эти трещины чаще всего образуют многоугольники с пятью или шестью сторонами? Другими словами, имеют ли трещины тенденцию схо-

даться под какими-то определенными углами?

543—551.

Механическое напряжение замерзание

3.114. «Тепловые» трещины в земле. Грязевые трещины — это не единственный пример узора на земной поверхности. Трещины, расположенные в форме многоугольников, встречаются в районах вечной мерзлоты на Крайнем Севере. Что вызывает растрескивание в этом случае? Есть ли какие-то наиболее вероятные углы пересечения таких трещин?

438; 552—556.

Замерзание коллоидная взвесь

3.115. Каменные сетки. И наконец, третий пример узоров на поверхности земли — каменные сетки, кольца и многоугольники из камней примерно одинаковой величины (рис. 3.115). Что заставляет камни, разбросанные беспорядочно, собираться в такие геометрические узоры?

556—558.

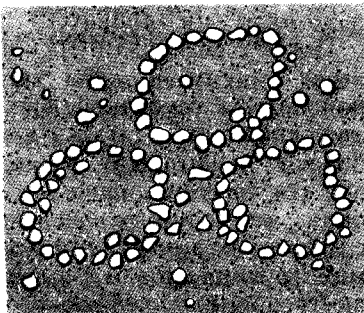


Рис. 3.116. «Так вот, согласно второму закону термодинамики...»

3.116. Жизнь и второе начало термодинамики.

Вы остаетесь, а люди и вещи
кругом

Прахом идут...

Селин

Термодинамика учит нас, что энтропия — мера беспорядка в системе — при необратимых процессах всегда увеличивается (это так называемое «второе начало термодинамики»). А как же тогда рассматривать рождение и жизнь? Не служит ли появление на Земле человека и его развитие нарушением этого закона, поскольку в ходе этого процесса упорядоченность системы увеличивается? Не опровергается ли второе начало всей эволюцией жизни на Земле?

559—562; 1569, 88д; 89д;
178д.

Рис. 3.115. Кольцевые узоры на поверхности земли.

Буря
в стакане воды



Гидростатика (4.1—4.14)

Давление жидкости закон Паскаля закон Архимеда

4.1. Удерживая Северное море. Помните историю о голландском мальчике, который спас свой город, заткнув пальцем дырочку в плотине? Как мог маленький мальчик противостоять натиску всего Северного моря?

418, с. 68.

4.2. Дыхание через трубку. На какой предельной глубине пловец еще может продолжать дышать через трубку? Чем определяется эта глубина?

563.

4.3. Измерение кровяного давления. Почему кровяное давление измеряют на руке примерно на уровне сердца? Нельзя ли измерять давление на ноге?

412, с. 191.

4.4. Последний шлюз Панамского канала. Прежде чем пройти через последний шлюз Панамского канала, судно терпеливо дожидается, пока уровень воды в камере шлюза понизится до нужной величины. Тогда машинист включает механизмы, управляющие шлюзными воротами, они раскрываются, и корабль начинает медленно, без помощи буксира, выходить из шлюза в океан, не включая ходовой двигатель.

Какие же силы заставляют корабль двигаться?

564.

4.5. Уровни океанов с разных сторон Панамского канала. Как известно, уровни океанов (Тихого и Атлантического) с разных сторон Панамского канала различны. В сухое время года разность уровней мала, а в сезон дождей она достигает 30 см. Чем это объяснить?

565.

4.6. Плаваем песочных часов. Предположим, песочные часы плавают в узкой трубке с водой, как показано

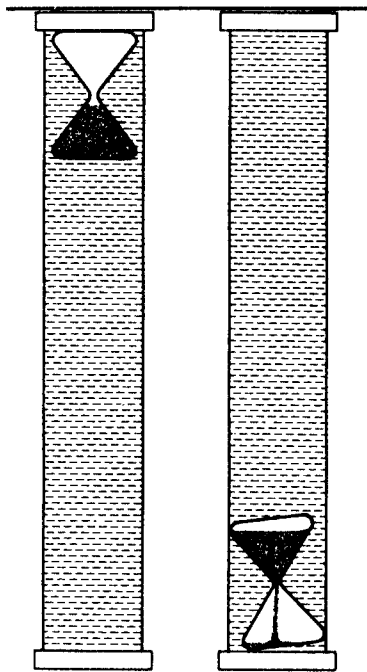


Рис. 4.6. Почему песочные часы не всплывают, когда переворачивают сосуд с водой? [Gardner M. *Mathematical Games*.— *Scientific American*, 1966]

на рис. 4.6. Всплывут ли они, если трубку перевернуть? Первоначально песок был в нижней части часов, теперь он находится сверху и начинает пересыпаться вниз. Казалось бы, масса и объем часов остались прежними, так что они должны бы всплыть. Однако часы остаются на дне до тех пор, пока песок полностью не пересыпется в их нижнюю половинку. Почему? Зависит ли плаваем песочных часов от того, в верхней или нижней части их находится песок?

566; 91d.

4.7. Изменится ли уровень воды в бассейне? Что произойдет с уровнем воды (поднимется он, опустится или останется прежним) в бассейне, если из лодки, плавающей в бассейне, в него бросить камень? Эту задачу как-то предложили знаменитым физикам Гамову, Оппенгеймеру и Блоху и ... все трое ответили неверно.

Изменится ли уровень воды в бассейне, если лодку потопить, скажем, проделав дыру в ее днище? Если уровень изменится, то в какой момент он начнет меняться, в частности случится ли это сразу, как только вода начнет поступать в лодку?

567.

4.8. Смотанный шланг. Если вы попытаете налить воду в шланг, как показано на рис. 4.8, то из другого его конца не выльется ни капли. Да и влить вам удастся очень мало. Почему?

566; 92d.

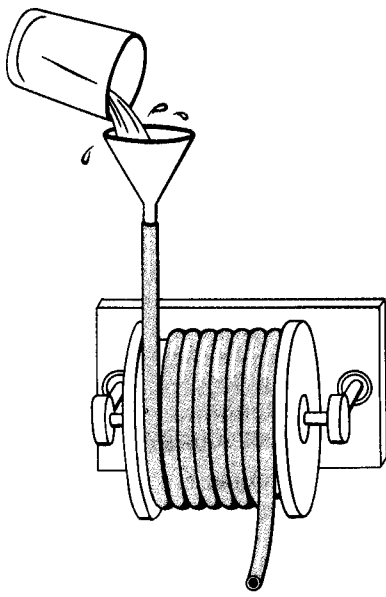


Рис. 4.8. [Gardner M. Mathematical Games.— Scientific American, 1966.]

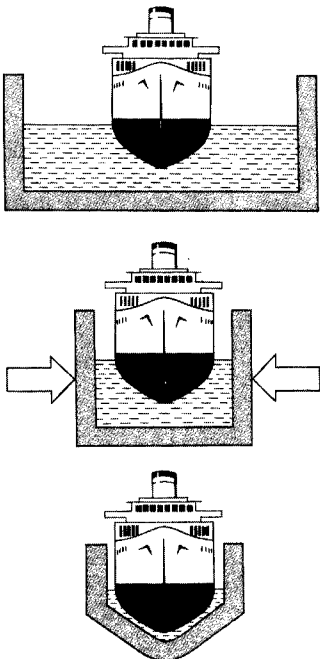


Рис. 4.9. [Dodd L. E. Amer. J. Phys., 23, 113 (1955).]

4.9. Корабль, плавающий в доке. Когда корабль входит в сухой док, док сжимается и вода выходит из него (рис. 4.9). Какое минимальное количество воды должно быть под кораблем водоизмещением, скажем, в две тонны, чтобы он еще находился на плаву?

567; 568.

4.10. Устойчивость подводной лодки. Каким образом всплывает и погружается подводная лодка? Как она удерживается на определенной глубине под водой? Не нарушают ли устойчивость подводной лодки колебания плотности воды? Конечно, эти колебания можно было бы учитывать и соответствующим образом изменять положение лодки. Но, во-первых, это не очень удобно, а во-вторых — и это самое главное, — подобные изменения могут способствовать обнаружению лодки противником.

К счастью, в морских глубинах имеются такие слои (их называют термоклинными), где подводная лодка оказывается устойчивой по отношению к колебаниям плотности воды. Каковы особенности этих областей?

570.

4.11. Плавающий брусок. Как плавает длинный брусок (с квадратным сечением): на боку или вниз углом (рис. 4.11)? Даже если ответ вам кажется очевидным, попробуйте все же понаблюдать, как плавают в разных жидкостях длинные бруски,

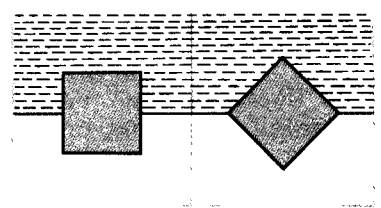


Рис. 4.11.

изготовленные из различных материалов, и попытайтесь связать результаты наблюдений с отношением плотностей материала бруска и жидкости. Не подвела ли вас интуиция?

569.

4.12. Погружение и всплытие рыб. Изменяют ли рыбы глубину погружения подобно тому, как это делает подводная лодка? Меняют ли они для этого объем плавательного пузыря? Часто именно этим объясняют способность рыбы плавать под водой. Однако это неверно, поскольку рыба не может управлять своим плавательным пузырем с помощью мышц. Как же рыбы плавают под водой?

Рыбы не переносят быстрого изменения глубины (например, треска и хек при ловле тралом погибают, когда их быстро вытаскивают на поверхность), но жить они могут на больших глубинах, выдерживая огромные давления: так, на глубине 5000 м оно достигает 500 атм. Как рыбы выдерживают такие давления?

571.

Давление воздуха поверхностное натяжение

4.13. Перевернутый стакан с водой. Накройте стакан с водой (не обязательно полный) куском картона. Затем, придерживая картонку, осторожно переверните его. Теперь уберите руку. Картонка остается на месте, и вода не выливается из стакана. Почему?

Попробуйте проделать такой же опыт с длинной стеклянной трубкой (длиной около 60 см и диаметром 3—4 см), запаянной с одного конца. Вы заметите, что если трубка почти пустая или почти полная, то картонка удерживается хорошо и вода из трубки не выливается. Если же трубка наполнена примерно наполовину, то вода из нее выливается. Почему?

572.

4.14. Почему всплывает утопленный? Почему тело утопленного человека вначале погружается на дно, а через несколько дней всплывает?

Сила тяжести неустойчивость Рэлея — Гэйлора

4.15. Удержится ли вода в перевернутом стакане? Представьте себе, что картонка (см. задачу 4.13) внезапно исчезла из-под перевернутого стакана. Вода из стакана начинает вытекать. Почему? Разумеется, на нее действует сила тяжести, но разве поверхность воды в начальный момент не находится в равновесии и разве в этом случае не те же самые силы

противодействуют силе тяжести, как и в задаче 4.13, когда стакан был накрыт картонкой? Когда вы разберетесь во всех этих вопросах, попытайтесь рассчитать, через какое время вода полностью вытечет из стакана. (При каком диаметре стакана вода не вытечет из него после того, как картонка исчезнет? — *Ред.*)

574—579.

**Выталкивающая сила
устойчивость
теплопроводность
диффузия**

4.16. Вечный соленый фонтан. У поверхности тропических морей вода теплая и соленая, с глубиной же она становится холоднее и содержание соли в ней уменьшается. А нельзя ли соорудить нечто вроде вечно действующего фонтана? Для этого надо опустить трубу до дна моря и насосом накачать в нее холодную и бо-

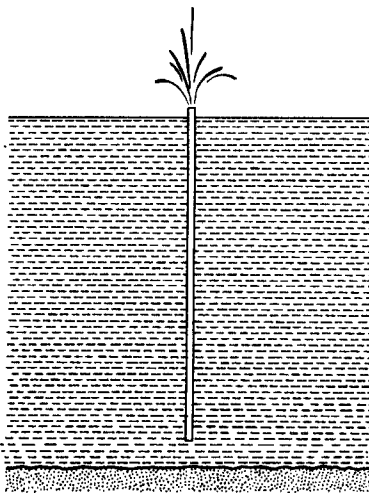


Рис. 4.16. Вечный фонтан соленой воды в океане.

лее пресную воду. Теперь фонтан будет действовать и без насоса (рис. 4.16). Что заставляет его работать и действительно ли вечен такой фонтан?

580, с. 44, 45; 581; 582; 1546, 169д.

**Выталкивающая сила
устойчивость
молекулярная
и тепловая диффузия**

4.17. Соляные «пальцы». Нечто подобное соленому фонтану вы можете наблюдать у себя дома. Наполните аквариум до половины холодной пресной водой, а сверху осторожно налейте теплый крепкий раствор соли, слегка подкрашенный чернилами. (Чернила нужны только для большей наглядности.) И тотчас вы увидите, как из слоя раствора начнут протягиваться «пальцы» в нижний слой пресной воды (рис. 4.17). Такие «пальцы» можно наблюдать и в отсутствие разности температур между слоями жидкости — достаточно поверх раствора соли налить подкрашенный раст-

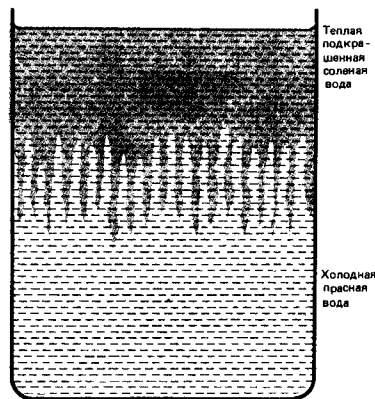


Рис. 4.17. Соляные «пальцы» (увеличено).

вор сахара. Почему вырастают такие «пальцы» и почему они столь устойчивы?

582—590; 1690.

4.18. Соляной «маятник». Обыкновенную консервную банку наполните насыщенным раствором соли (для наглядности его подкрасьте), сделайте в доньшке банки маленькое отверстие и частично погрузите ее в сосуд с пресной водой. Смешаются

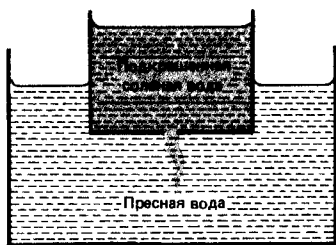


Рис. 4.18.

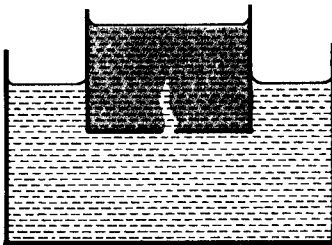
Уравнение Бернулли (4.19—4.40)

4.19. Сужающаяся струя воды. Почему сужается струйка воды, равномерно вытекающая из кухонного крана? Какая сила ее сжимает? Можете ли вы рассчитать, как изменяется диаметр струи с расстоянием от отверстия крана?

4.20. пляжный мяч в струе пылесоса. Чтобы привлечь внимание покупателей, продавцы пылесосов иногда переставляют шланг пылесоса наоборот и пускают в струю воздуха большой пляжный мяч (рис. 4.20). Мяч в струе абсолютно устойчив, он удерживается,

ли эти две жидкости? Да, и притом весьма удивительным образом: сначала из отверстия вытечет немного соленой воды, затем в него войдет немного пресной воды и т. д. (рис. 4.18). Такие колебания — их период составляет около 4 с — могут продолжаться до четырех дней. Почему возникает такой колебательный обмен жидкостями и чем определяется его период?

591; 1690.



даже когда струю заметно наклоняют. Мяч не всегда удается сбить со струи, даже ударив по нему рукой. Почему мяч так устойчив? Вра-

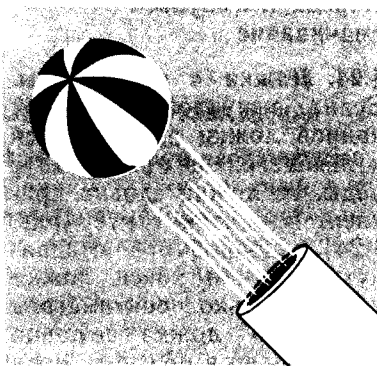


Рис. 4.20.

щается ли он при этом в каком-то определенном направлении?

211, с. 155; 399; 592, с. 60; 593; 430, с. 465; 930, с. 18—22.

4.21. Шарик, «висящий» в воздухе. Действие этой игрушки также основано на «странном» поведении шарика в воздушной струе. Вы дуете в маленький отросток (рис. 4.21), и маленький легкий шарик «висит» в струе. Если дуть сильно и долго, то шарик поднимется к верхнему концу трубки, втянется в него, а затем снова вернется в исходное положение. Фокус заключается в том, чтобы на одном дыхании заставить шарик проделать этот путь как можно больше раз. (Мой личный рекорд — пять полных оборотов.) Что придает парящему шарiku устойчивость и каким образом он втягивается в верхний конец трубки?

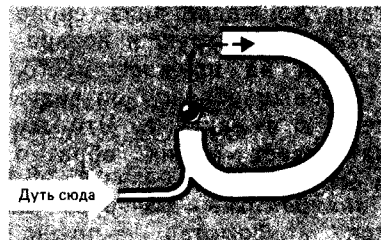


Рис. 4.21. Если дуть в боковой отросток, можно заставить шарик двигаться по кругу внутри основной трубки.

Передача импульса смачивание

4.22. Мячик, «танцующий» в фонтане. Я хочу предло-

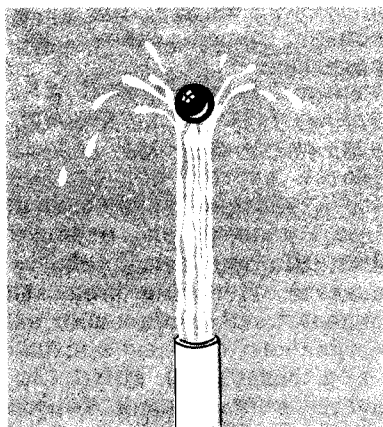


Рис. 4.22. Мячик в струе фонтана.

жить вашему вниманию еще один забавный трюк: мячик в вертикально бьющей струе воды (рис. 4.22). Порой мячик на несколько секунд застывает, но чаще прыгает и скачет¹. Почему во время прыжков мячик не выскакивает из фонтана? Что удерживает его? Есть ли что-то общее в поведении этого мячика и пляжного мяча в задаче 4.20?

Вообще говоря, иногда мячик выскакивает из фонтана, но, падая вниз, снова «входит» в струю и возвращается на прежнее место. Подобным образом он ведет себя и в вакууме. Что же затягивает мячик обратно в струю воды?²

595.

¹ Похожий опыт можно провести дома, не рискуя залить комнату водой. Возьмите таз с водой, поставьте его под кран, а в струю поместите небольшой деревянный шарик. Шарик будет устойчиво плавать почти в центре струи и вытолкнуть его оттуда совсем не просто.— *Прим. ред.*

² Еще один пример «парения» (правда, там шарик удерживается не водой или воздухом, а фотонами) приведен в задаче 5.104.

4.23. Яйцо «выскакивает» из стакана. Опустите яйцо в стакан с водой и подставьте стакан под кран (рис. 4.23). Если поток воды превышает некоторую критическую величину, то яйцо поднимается, как будто его притягивает струя воды. Почему это происходит? Чем определяется критическая величина потока?

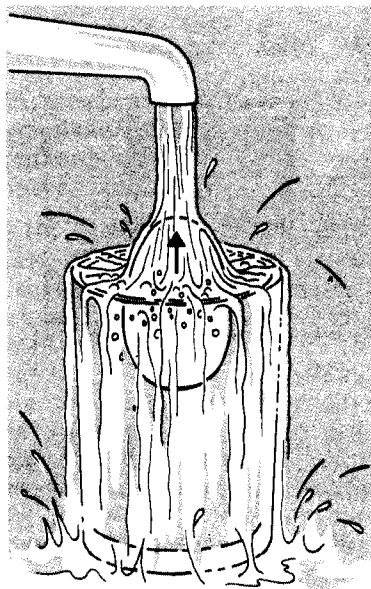


Рис. 4.23. Яйцо втягивается вверх в струю воды.

Передача импульса смачивание

4.24. Ложка в струе воды. Если выпуклой стороной чайной ложки прикоснуться к льющейся из крана струе воды, то ложка словно приклеится к этой струе (рис. 4.24). Попробуйте отодвинуть верхний конец ложки на несколько сантиметров в сторону — ложка все равно не отрывается от струи, хотя теперь она наклонена к ней под значительным углом.

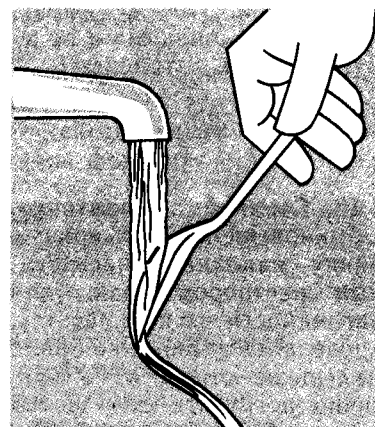


Рис. 4.24. Ложка притягивается струей воды.

Казалось бы, падающая вода должна отталкивать, а не притягивать ложку. Почему же происходит обратное?

592, с. 60; 595; 596; 43д, с. 465.

4.25. Трубка-пульверизатор. Если опустить трубку одним

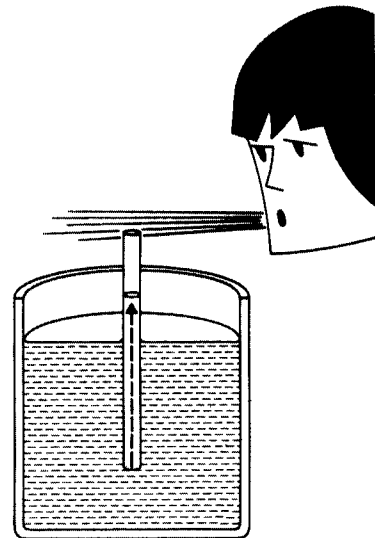


Рис. 4.25. Если дуть поперек устья трубки, вода в трубке поднимется вверх.

концом в воду и подуть поперек другого ее конца (рис. 4.25), то вода в трубке поднимется. Взяв трубку покороче и подув как следует, можно обрызгать приятеля. Более полезное применение этот эффект находит в пульверизаторах, где сжатый воздух подается перпендикулярно узкому сосуду, содержащему распыляемое вещество. Как действуют такие пульверизаторы?

597; 43д, с. 465.

4.26. Встречные поезда. Скоростные поезда при встрече должны замедлить ход, иначе стекла в вагонах разобьются. Почему? В какую сторону при этом выпадают стекла: внутрь вагонов или наружу? Может ли случиться подобное, если поезда движутся в одном направлении? Будет ли вас притягивать к поезду или отталкивать от него, если вы окажетесь слишком близко от быстро идущего поезда?

599—602; 43д, с. 465; 93д, с. 22—24.

4.27. Вентиляционные трубы и нора луговой собачки. Тяга в вентиляционной трубе улучшается, если окружить ее верхний конец некой конусообразной конструкцией (рис. 4.27,а). Аналогично высокая коническая насыпь (рис. 4.27,б) вокруг входа в нору улучшает ее вентиляцию. Почему?

139, с. 179, 180; 598.

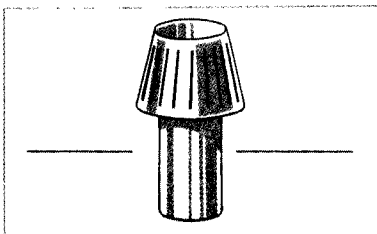


Рис. 4.27,а. Вентиляционная труба с коническим колпаком.

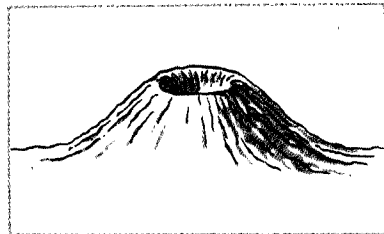


Рис. 4.27,б. Нора луговой собачки, окруженная высокой насыпью.

4.28. Насекомые, разбивающиеся о ветровое стекло. Вам, вероятно, не раз приходилось видеть, как насекомые разбиваются о ветровое стекло мчащегося автомобиля. Разбиваются ли они непосредственно о стекло или же их сначала разрывает в воздухе, а потом размазывает по стеклу? Если верно последнее, то почему они разбиваются? Возможно, вы

попытаетесь объяснить печальную судьбу насекомых турбулентностью, но разве турбулентность в этом случае так уж велика? Почему сильный, отклоненный вверх воздушный поток не переносит насекомых над машиной? (Рисунок 4.28 показывает, как можно «спастись» от насекомых.)

364, с. 12, 13.



Рис. 4.28. [С разрешения Дж. Харта, компания «Филд энтерпрайзис».]

Образование завихрений

4.29. Полощущиеся флаги. Почему даже ровный, не порывистый, ветер заставляет полоскаться флаги? Чем определяется частота колебаний флагов?

124, с. 115; 453; 43д, с. 490; 94д.

Уравнение Бернулли передача импульса

4.30. Крылья и вентиляторы на гоночных автомобилях. Гоночные автомобили за время своего существования претерпели существенные изменения. К числу наиболее значительных усовершенствований можно отнести установку в задней части автомобиля горизонтального крыла. Когда автомобиль с таким крылом совершал поворот, водитель наклонял крыло вперед. При выходе из поворота, крыло снова при-

нимало горизонтальное положение. Это устройство оказалось очень эффективным средством удержания машины на дороге во время поворотов и позволяло делать повороты с гораздо большей скоростью. Однако поломка таких крыльев на трассе делала машину неуправляемой, и поэтому пришлось установить неподвижные крылья. Каким образом крылья — подвижные или неподвижные — могут удерживать автомобиль на повороте?

Одна из самых странных гоночных машин «Чаппараль-2J» была построена Джимом Холлом, который придумал и подвижное крыло. «Чаппараль» имел в задней части два больших вентилятора, которые засасывали воздух из-под днища и гнали его назад. Сбоку автомобиль был закрыт щитками почти до самой дороги, чтобы воздух проходил прямо под машиной. Благодаря этому Холлу удалось увеличить сцепление колес с дорогой и тем самым значительно повысить скорость автомобиля. Почему воздух, прогоняемый под машиной и выпускаемый позади, усиливает сцепление колес с дорогой? Можете ли вы оценить увеличение сцепления и скорости?

1581.

Уравнение Бернулли передача импульса

4.31. Подъемная сила крыла самолета. «Как возникает подъемная сила крыла самолета?» Этот вопрос встречается во многих учебниках физики. При ответе обычно

ссылаются на уравнение Бернулли. Но действительно ли это единственная или хотя бы основная причина? Если профиль крыла сделан в полном соответствии с уравнением Бернулли, то как же самолет может лететь «вверх ногами» (рис. 4.31)?

Обычное объяснение сводится к тому, что скорость воздушного потока над крылом больше, чем под крылом, и, следовательно, в соответствии с уравнением Бернулли давление под крылом оказывается большим, чем над ним. В результате и возникает подъемная сила. А почему над крылом воздух движется быстрее, чем под ним? Струи воздуха сверху и снизу должны обогнуть крыло за одно и то же время; значит, верхняя струя должна пройти больший путь, поэтому она движется быстрее. Этим обычный ответ исчерпывается. Но почему верхняя струя должна обогнуть крыло за то же время, что и нижняя? Это объясняется редко. Кстати, в действительности верхний и нижний потоки воздуха огибают крыло за различное время. Откуда же берется подъемная сила крыла?

593; 603—605; 8д, с. 556—560, 565—578; 43д, с. 506—511; 93д, с. 107—111, 131—136; 94д; 134д.

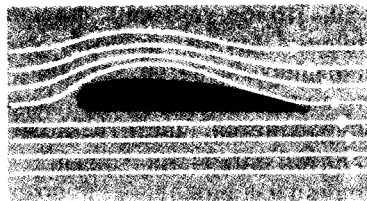


Рис. 4.31. Сечение крыла самолета.



4.32. Выход из пике. Представьте себе, что самолет потерял скорость и начал пикировать. Почему, прежде чем пытаться выйти из пике, летчик должен выждать, пока самолет наберет в пикировании скорость, большую чем его нормальная (крейсерская) скорость?

603.

4.33. Под парусом — против ветра. Нетрудно понять, как парусное судно может двигаться по ветру или под некоторым углом (если он не слишком велик) к направлению ветра. Однако парусные суда могут двигаться под прямым углом к ветру и даже навстречу ему — под углом 45° и больше. Казалось бы, в этом случае ветер должен препятствовать движению судна. Что же движет судно против ветра? Под каким углом к ветру парусное судно может достичь максимальной скорости, если нет никаких морских течений?

611—613; 116д.

4.34. «Летающая тарелка». Что удерживает в воздухе игрушку «летающая тарелка»?

Должна ли она обязательно вращаться в полете? Следует заметить, «тарелка» не обязательно должна иметь форму диска — встречаются аналогичные игрушки и в форме кольца.

171д.

4.35. «Летающий» человек. Может ли человек взлететь, используя лишь силу соб-



Рис. 4.35. «Летающий» человек.

ственных мышц (рис. 4.35)? Этот далеко не новый вопрос до сих пор не утратил своей

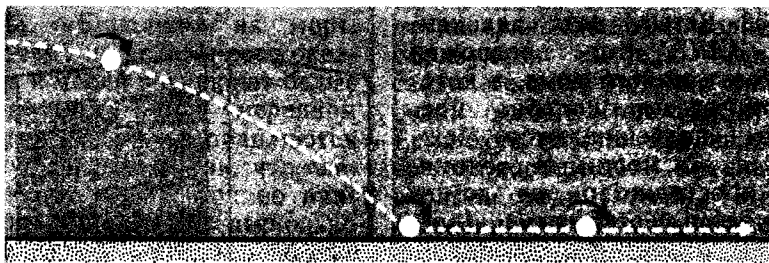


Рис. 4.36. «Верхняя закрутка» заставляет мяч для гольфа катиться дальше.

4.36. Крученный мяч в гольфе. Чтобы увеличить дальность полета мяча, некоторые игроки в гольф придают мячу вращение в таком направлении, чтобы он после падения на землю прокатился как можно дальше (рис. 4.36). Стоит ли так закручивать мяч, если рассматривать его траекторию в целом?

36, с. 53, 138, 139; 399; 593; 616—621; 1484.

остроты. Не исключено, что многочисленные попытки создать «мускулолет» в конце концов увенчаются успехом¹.

При постройке такого аппарата возникают следующие вопросы: какую мощность может развивать человек и какая мощность нужна для полета? Каковы должны быть размеры крыльев, должны ли они быть машущими? Как зависит подъемная сила такого аппарата от высоты полета над землей?

606—610; 1518; 1519; 94д; 96д; 97д; 98д.

¹ В августе 1977 г. «мускулолет» с педальным приводом толкающего винта, разработанный в США, пролетел по замкнутой траектории расстояние в 2200 м. При размахе крыльев около 30 м аппарат имел массу 35 кг. — Прим. перев.

4.37. Странное судно Флетчера. В 1925 г. Атлантический океан пересекло необычное судно: его приводили в движение два больших вертикальных вращающихся цилиндра (рис. 4.37). Каким образом вращающиеся цилиндры могли приводить в движение судно?

Недавно НАСА (Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства,

США) решило использовать этот принцип для создания подъемной силы самолета: к крыльям самолета были прикреплены горизонтальные вращающиеся цилиндры.

Как могут такие цилиндры обеспечить подъемную силу?

110, с. 22; 155, с. 117; 399; 453; 615; 623; 8д, с. 561—565; 43д, с. 512—513; 100д.

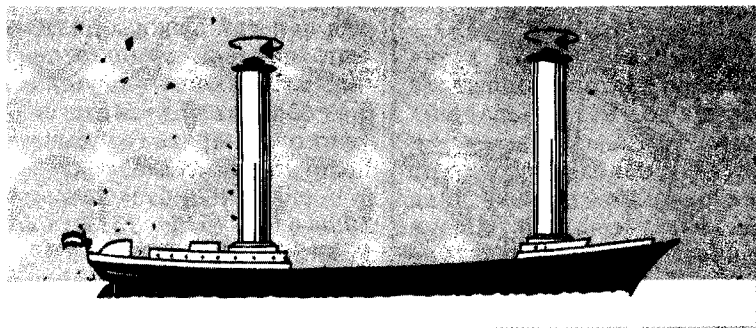


Рис. 4.37. «Судно Флеттнера», которое приводится в движение двумя вращающимися цилиндрами.

4.38. Ветер под зданием.

В США был предложен проект жилого дома, в котором этажи, подобно мостам, «подвешиваются» между двумя мощными стенами, а пространство под домом остается открытым (рис. 4.38). Внешне такое здание выглядит весьма привлекательно, но оно абсолютно не пригодно для ветреных районов. Одно из таких зданий было выстроено на территории Массачусетского технологического института. И вот когда подули весенние ветры, скорость ветра под зданием достигла 160 км/ч. (Студенты, словно кегли, падали под напором такого ветра, ему могли противостоять лишь профессора!) Чем вызвано столь сильное увеличение скорости ветра?

614.

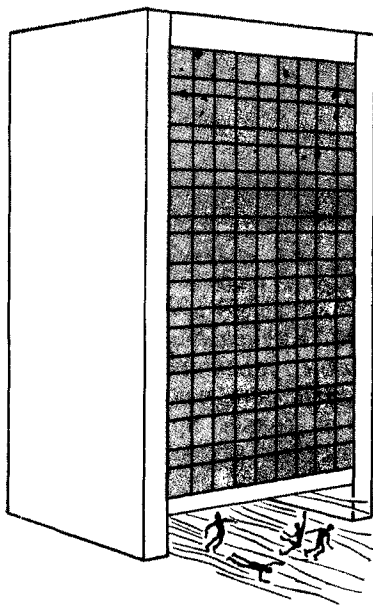


Рис. 4.38. Скорость ветра под зданием достигает огромной величины.

4.39. Крученые, отвесные и скачущие мячи. Может ли при игре в бейсбол подающий посылать крученые, отвесные или скачущие мячи? Если да, то как он это делает? Отклоняется ли крученный мяч от направления «нормального» полета постепенно или внезапно? Действительно ли отвесный мяч резко падает в конце полета? И правда ли, что резаный мяч (его подают тыльной стороной руки), как утверждают игроки, «приплясывает» в полете? Насколько крученный мяч, посланный хорошим бейсболистом, отклонится от прямолинейной траектории к тому моменту, когда он долетит до игрока на линии?

36, с. 53, 138, 139; 211, с. 156; 593; 615—622; 93д, с. 113.



4.40. Как закрутить «гладкий» мяч? Траектория «гладкого» мяча в отличие от бейсбольного, казалось бы, не должна искривляться, поскольку он не «захватывает» воздух при вращении. Однако и «гладкий» мяч можно послать по искривленной

траектории, только он отклонится в сторону, противоположную отклонению бейсбольного мяча. Почему?

593; 619—622.

Волны (4.41—4.59)

Групповая и фазовая скорости волн суперпозиция волн интерференция, отражение уравнение Бернулли обтекание препятствий вынужденные колебания преломление, дисперсия

4.41. Образование волн на воде. Как под действием беспорядочных порывов ветра, дующего над морем, формируется периодическое волновое движение воды? Что при этом играет основную роль: движение воздуха вдоль поверхности воды или вертикальные возмущения? Существует ли какая-то минимальная скорость ветра, при которой начинают образовываться волны? Существует ли между волнами и ветром некая обратная связь, усиливающая рост волн?

399; 580; 624; 625; 101д.

Интерференция

4.42. Волны-гиганты. Рассказывается немало историй о том, как корабли в море неожиданно встречались с гигантскими волнами. Так, в 1956 г. капитан грузового судна наблюдал вблизи мыса Гаттерас волну в 30 м высотой. В 1921 г. сообщалось о 25-метровых волнах в северной части Тихого океана. В 1933 г. американское судно

«Рамапо» встретилось на севере Тихого океана с волной, высота которой достигала примерно 35 м. Представляет, каково стоять на мостике под 35-метровой волной!

Почему неожиданно появляются и исчезают такие мощные волны? Если они каким-то образом рождаются во время шторма, то, казалось бы, должна возникать не одна, а много больших волн. Может быть, их вызывают подводные землетрясения? (Кстати, можно ли с корабля заметить волну, рожденную подводным землетрясением?)

399; 626; 627; 628; 629, с. 53—60.

Скорость волн рассеяние света

4.43. «Барашки» на море. Почему на поверхности океанов и морей возникают белые «барашки»? При умеренном ветре «барашки» появляются друг за другом так, что следующий образуется во впадине волны через несколько секунд после предыдущего. Почему?

390; 630; 631; 102д, с. 170—176.

Кильватерный след уравнение Бернулли

4.44. Скорость корабля и подводные крылья. Чем определяется предельная скорость кораблей, водоплавающих птиц, животных и различных предметов, плавающих в воде? Если их скорость ограничивается трением, то почему же длинные суда имеют, как правило, большую мак-

симальную скорость, чем короткие? Казалось бы, длинный корабль испытывает большее сопротивление и, следовательно, его максимальная скорость должна быть меньше.

Почему корабль на подводных крыльях способен развить большую скорость, чем обычный корабль той же длины? Как известно, судно на подводных крыльях слегка приподнято над водой. Почему это позволяет судну развивать такую большую скорость?

632; 633; 42д, с. 76—90; 142д; 148д.

Сила тяжести и капиллярные волны

4.45. Жук-плавунец. Когда жук-плавунец быстро плывет по поверхности воды, волны образуются впереди него, сзади же волн нет или они очень слабые (рис. 4.45а). Если жук плывет медленно, то волн вообще нет — ни спереди, ни сзади. Почему? При движении судов волны всегда возникают сзади. Чем отличается движение жука-плавунца от движения судна?

Подобная картина волн наблюдается и при обтекании водным потоком узкого препятствия: волны впереди препятствия имеют гораздо меньшую длину, чем за ним (рис. 4.45б). Чем вызвана такая асимметрия? Чем определяется длина волны сзади и спереди препятствия?

633; 634.

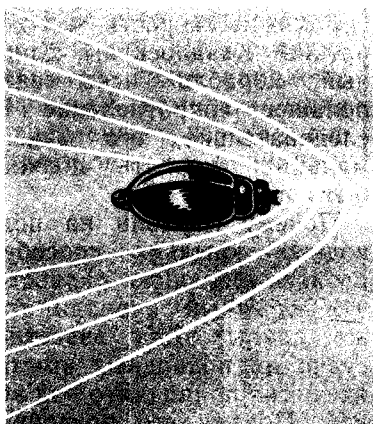


Рис. 4.45,а. Волны, создаваемые жуком-плавунцом.

[Tucker V. A. *Physics Teacher*, 9, 10 (1971).]

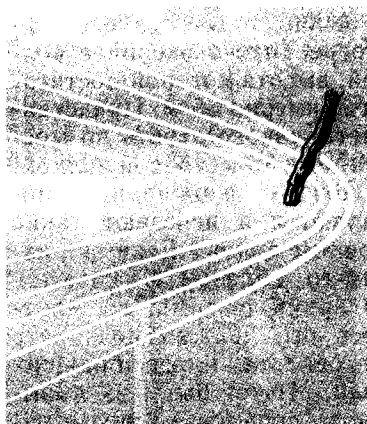


Рис. 4.45,б. Волны вокруг коряги в ручье.

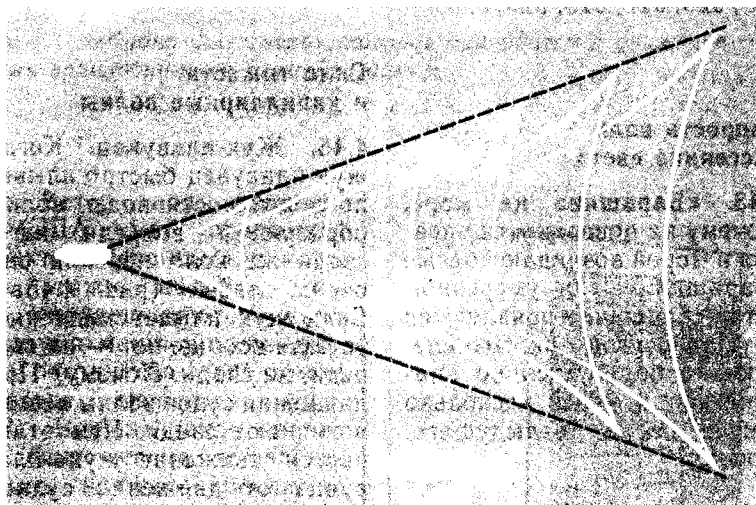


Рис. 4.46. Волны за кораблем (вид сверху). [Keith H. D. *Amer. J. Phys.*, 25, 466 (1957).]

Интерференция дисперсия

4.46. Волны за кораблем. Если вам случится пролетать в самолете над идущим в глубоких водах кораблем, присмотритесь к образующимся за ним волнам. Обратите внимание, что кильватерный след всегда расходится под

одним и тем же углом ($38^{\circ}56'$). Как показывают наблюдения, волны всегда расходятся V-образно независимо от того, создает ли их утка или линейный корабль. Почему?

В пределах кильватерного

следа картина волнового движения довольно сложна (рис. 4.46). Можете ли вы объяснить происхождение двух типов гребней волн, наблюдаемых в кильватере? Одинаковы ли они для утки и линейного корабля?

Как изменяется эта картина на мелководье? Прежде всего, что значит «мелкая» вода (мелкая по сравнению с чем?)?

51; 399, гл. 17; 635, гл. 8; 636—640; 103д; 148д.

Нелинейные волны интерференция

4.47. Краевые волны. Изучая волны на воде, Фарадей обнаружил, что при горизонтальных колебаниях пластинки, погруженной в кювету с водой на небольшую глубину (рис. 4.47, а), образуются волны весьма любопытной формы. Если пренебречь волнами, отраженными от краев кюветы, следовало бы предположить, что такая пластинка должна создать обычные плоские волны. Однако, погрузив пластинку в воду примерно на 4 мм, Фарадей увидел, как «немед-

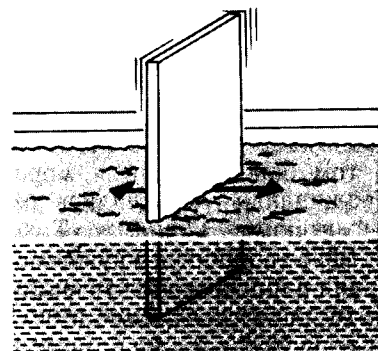


Рис. 4.47,а. Пластинка, колеблющаяся в воде.

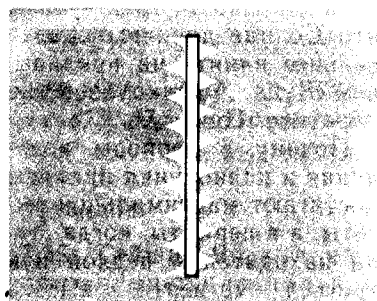


Рис. 4.47,б. Краевые волны, возникающие вблизи колеблющейся в воде пластинки (вид сверху).

ленно стали образовываться волны, возвышения и складки на воде, имеющие весьма странный характер. Волны, распространяющиеся от пластинки к стенкам сосуда, были едва заметны; но у самой пластинки непрерывно возникали направленные перпендикулярно ей бугорки высотой от трети до половины дюйма и более, напоминающие зубья очень короткой грубой расчески» (рис. 4.47,б) [643].

Фарадей установил, что частота этих волн равна половине частоты колебаний пластинки. Каким образом вибрирующая пластинка возбуждает стоячие волны, гребни которых перпендикулярны ей¹?

641—646.

¹ С теорией краевых волн применительно к подмыванию ими морских берегов можно ознакомиться в работах [647—651, 1618].

Преломление

4.48. Морской прибой. Когда океанские волны подходят к берегу, они направлены

более или менее параллельно береговой линии. Почему? Ведь, несомненно, волны в океане движутся по самым различным направлениям.

360, с. 28; 399; 628; 635; 101d.

Волны на мелководье уравнение Бернулли

4.49. Скольжение по мелководью. На деревянном диске, движущемся вдоль полосы приборе, можно скользить по воде на глубине всего 3-5 см (рис. 4.49). Если прыгнуть на такой диск, когда его скорость достаточно велика, то можно проскользить на нем более 6 м. Что удерживает вас на поверхности воды во время скольжения и почему диск уходит под воду,



Рис. 4.49.

когда теряет скорость? Почему на длинных досках можно прокатиться дальше, хотя, как казалось бы, длинная доска испытывает большее сопротивление и должна остановиться скорее?

626, с. 152—156; 653.

Волны на мелководье скорость волны

4.50. Серфинг¹. Какая сила несет вас к берегу, когда вы катаетесь на доске? Толкает ли вас волна или вы съезжаете с нее, как с горки? Почему для катания удобнее всего те волны, которые вот-вот должны разбиться, и почему серфингом чаще всего занимаются вблизи пологих пляжей? Почему положение спортсмена наиболее устойчиво, когда он находится на гребне волны? На длинной или на короткой доске спортсмен более устойчив?

626; 652, с. 80, 81.

¹ Серфинг — один из видов водного спорта. Спортсмен прыгает на доску, когда она оказывается на гребне волны, и на ней несется к берегу. — Прим. перев.

Плавуность кильватерный след

4.51. Дельфины перед кораблем. Неоднократно наблюдалось, как дельфины, не совершая никаких движений, плывут на глубине нескольких футов перед носом корабля: видимо, сам корабль каким-то образом толкает их вперед. Так дельфины могут плыть без всяких усилий более часа, время от времени поворачиваясь на бок или

вращаясь вокруг оси. Они могут плыть при этом в два-три яруса. Что же толкает дельфинов вперед?

Похожий случай Жак Кусто описывал в одной из своих книг [660]. Акул часто сопровождают маленькие рыбки-лоцманы, которые, согласно легенде, указывают акулам путь. Кусто однажды видел, как такая крошечная рыбка плыла перед носом акулы, явно получая от нее «движущую силу». Поистине рискованное предприятие! Как же двигалась вперед рыбка-лоцман и почему ее положение было устойчивым?

654—660.

Сила тяжести силы в неинерциальной системе теория приливов

4.52. Океанские приливы.

Что вызывает океанские приливы? Обычно их объясняют притяжением Луны и Солнца. Попробуем, однако, разобратся в этом подробнее.

Уровень воды должен подниматься на той стороне земного шара, которая обращена к Луне, если Луна притягивает воду в радиальном направлении, то есть вертикально вверх. Но ведь Земля должна бы притягивать воду много сильнее, чем Луна.

Далее, если приливы объясняются притяжением океанских вод к Луне, то почему прилив бывает дважды в сутки? Ведь Земля совершает один оборот за сутки, так что любая ее точка бывает обращена к Луне только один раз в день. Но

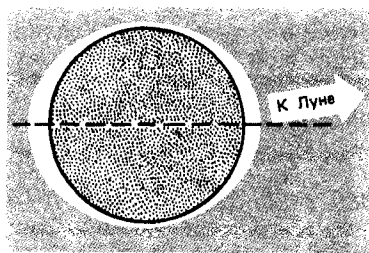


Рис. 4.52. Две приливные волны в Мировом океане (разумеется, в увеличенном масштабе).

поскольку прилив происходит два раза в сутки, значит, океан имеет два вспучивания, одно из которых находится на противоположной от Луны стороне Земли (рис. 4.52). Как его объяснить?

В некоторых местах (Южно-Китайском море, Персидском, Мексиканском и Сиамском заливах) наблюдается один прилив в день.

Почему? В ряде районов Земли, например в Индийском океане, поочередно бывает то один, то два прилива в день. Почему?

Почему, наконец, прилив начинается не в тот момент, когда Луна находится в зените, а всегда запаздывает?

111; 399; 661, гл. 5; 662, с. 26—32, 40; 663, гл. 4, с. 11—55; 664, с. 177, 179, 188; 665, с. 195; 667—669; 1589; 8д, с. 392—397; 43д, с. 360—366; 175д.

4.53. Приливы: Солнце против Луны. Что играет более существенную роль в приливном движении: Солнце или Луна? Если вы попытаетесь сделать грубый подсчет, оценивая, с какой силой притягивается к Солнцу и Луне элементарный объем

океанской воды, то получите, что Солнце должно гораздо сильнее влиять на приливы, чем Луна. Однако известно обратное. Почему?

Почему в периоды новолуния и полнолуния приливы достигают максимальной высоты, а в периоды, когда Луна находится в первой или третьей четверти, высота прилива спадает до минимума?

399; 661; 662, с. 32, 33; 663, с. 23, 24, 35; 664, с. 189—192; 668; 43д, с. 360—366.

Сохранение момента импульса

4.54. Эффекты приливного

трения. Когда приливная волна движется по океанскому дну, ее механическая энергия уменьшается из-за сил трения. Одним из следствий этой потери энергии является замедление вращения Земли и связанное с этим удлинение суток.

Существуют ли какие-либо другие последствия потери энергии? Полный момент импульса системы не может измениться в отсутствие момента внешних сил. Такого момента сил в системе Луна — Земля нет; однако факт остается фактом — наша Земля замедляет вращение. Каким же образом сохраняется полный момент импульса?

Как долго будет Земля замедлять свое вращение? Всегда ли продолжительность земных суток будет увеличиваться? Произойдут ли какие-нибудь изменения в наблюдаемом движении Луны? Предсказывают, в частности, что когда-нибудь Луна станет двигаться от-

носителю Земли в обратном направлении.

111; 661, гл. 16, 17; 663; гл. 11; 672; 673; 43д, с. 360—366.

Резонанс

4.55. Сейши. Вода в озере часто плещется точно так же, как в небольшой прямоугольной кювете. Люди, живущие на берегах Женевского озера, давно замечали волны (они называются сейшами), высота которых достигала метра, но не понимали, что вызывает такие колебания воды и чем определяется их период. Чем определяется частота колебаний воды в прямоугольном сосуде? Оцените период таких колебаний воды в Женевском озере (его средняя глубина 150 м, а длина 60 км). Что вызывает эти колебания в озере?

170, с. 56, 314; 580, с. 138—140; 635; 661, гл. 2; 662, с. 62—65; 663, с. 7, 8; 664, с. 272, 273.

Фронт ударной волны волны в воде скорость распространения волн

4.56. Приливные волны. В большинстве рек, впадающих в открытые моря, подъем воды во время прилива происходит спокойно, почти незаметно. Но в некоторых реках вода поднимается так быстро, что вверх по реке устремляется очень высокая почти вертикальная стена воды — приливная волна (рис. 4.56). Такие волны наблюдаются, в частности,

в английских реках Северн и Трент и канадской реке Птикодьяк. Приливная волна в Амазонке представляет собой жуткое зрелище: ширина ее превышает 1,5 км, а высота составляет 5 м; эта громада несется вверх по реке со скоростью 12 узлов¹. Однако еще более жуткое впечатление производит приливная волна на реке Цзиньшацзян в Китае; ее высота

¹ Узел — морская мера скорости, равная 1,853 км/ч.— Прим. перев.

достигает 7,5 м. Китайцы ловко пользуются этой приливной волной и, пренебрегая опасностями, поднимаются на своих джонках далеко вверх по реке. Почему возникают приливные волны и почему они наблюдаются не во всех реках, впадающих в открытые моря? От чего зависит скорость приливной волны: от ее высоты или же глубины реки?

399; 635; 661, гл. 3; 662, с. 97, 98; 663, с. 8, 120—125; 664, с. 320, 321; 674—676.

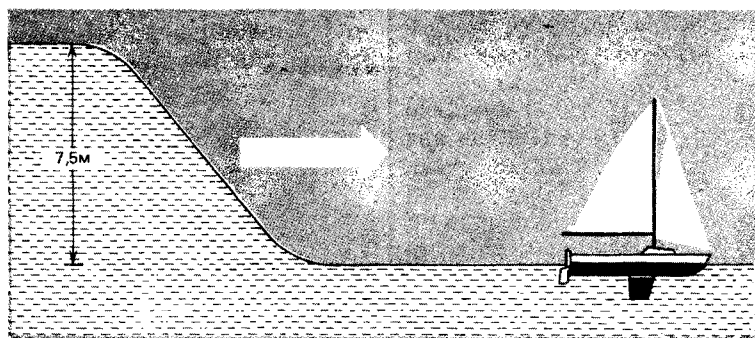


Рис. 4.56. Приливная волна в реке.

Резонанс распространение волн в воде

4.57. Прилив в заливе Фанди. Почему в заливе Фанди (Канада) наблюдается самый высокий прилив в мире (рис. 4.57)? В некоторых местах разница уровней воды при приливе и отливе весьма значительна, и местные рыбаки, устанавливая сети во время отлива, в следующий отлив выбирают из них рыбу, попавшую туда во время прилива. У выхода из залива прилив минимален — уровень воды поднимается не более чем на 3 м. В глубине же залива у города Сент-

Джон он достигает 7,5 м, а еще дальше — в глубине залива в районе Чигнекто — 14 м. Самая большая разность уровней воды во время прилива и отлива, 15,5 м, наблюдается в глубине залива в районе Минаса. (Ветер может добавить к этому еще пару метров.)

Может ли залив иметь некую оптимальную длину, при которой прилив усиливается? Какова должна быть эта длина для залива, который, как залив Фанди, имеет глубину 75 м? Соответствует

ли полученное вами значение действительной длине залива Фанди?

399; 663, с. 113—115; 664, с. 235, 236; 670; 671; 930, с. 198—199.

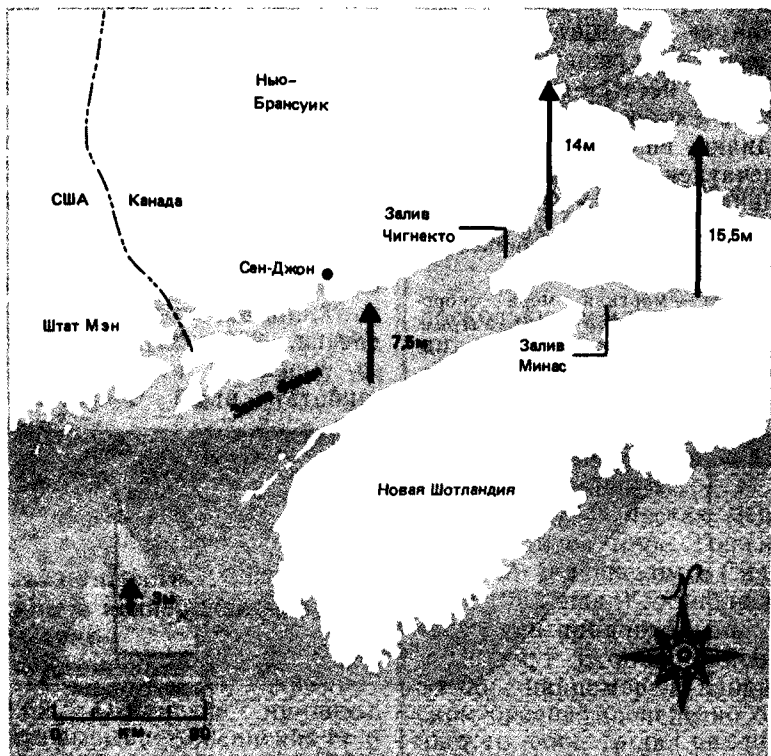


Рис. 4.57. Прилив в заливе Фанди.

Ударная волна волны в воде скорость волны

4.58. Гидравлический скачок в раковине. Когда я пускаю воду из крана в раковину, вода расходится от места падения тонким слоем, но на некотором расстоянии толщина этого слоя скачкообразно увеличивается. Таким образом, вокруг падающей струи как бы образуется кольцо воды (рис. 4.58). Аналогичная картина наблюдается и при падении струи воды на плоскую пластинку, хотя толщина слоя в

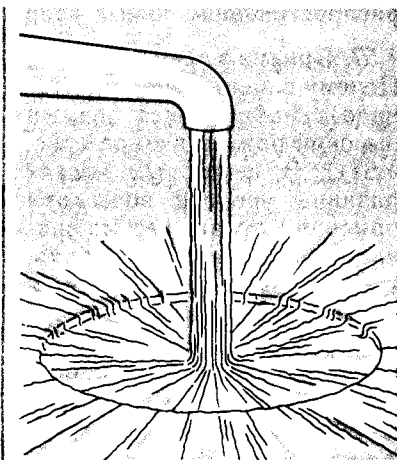


Рис. 4.58. Гидравлический скачок в раковине.

этом случае изменяется не так сильно. Что вызывает этот скачок толщины водного слоя и чем определяется расстояние, на котором происходит этот скачок? Какова высота водной «стенки», возникающей вокруг струи?

635; 677—681.

4.59. Стоячие волны в падающей струе воды. Если подставить палец или лезвие ножа под тонкую струйку воды, то на их поверхности возникнет стоячая волна (рис. 4.59). Почему? Чем определяется длина этой волны и почему она зависит от расстояния между отверстием крана и поверхностью?

1040.

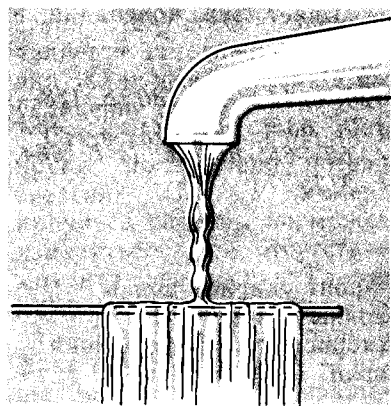


Рис. 4.59. Стоячие волны в падающей струе воды.

4.60. «Зубчатый» пляж. На песчаных пляжах часто встречаются зубцеобразные выступы, окаймленные порой мелкой галькой (рис. 4.60). Некоторые зубцы расположены изолированно, и их можно считать случайными;

однако многие песчаные пляжи украшены ровными зубцами по всей длине. Как они образуются?

629; 648, с. 5490; 650; 682—691.

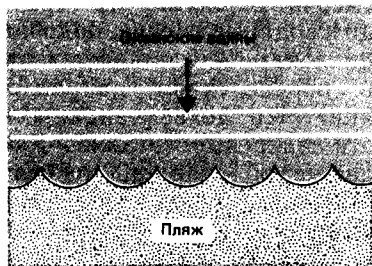


Рис. 4.60. Зубчатая кромка пляжа.

Силы во вращающейся системе отсчета трение

4.61. Спираль Экмана. Предположим, где-то над океаном дует ровный ветер и под его воздействием потоки океанской воды начинают перемещаться. В каком направлении? В направлении ветра или чуть левее? Насколько мне известно, эти течения направлены перпендикулярно ветру: в северном полушарии вправо по отношению к направлению ветра, а в южном — влево. Почему? Течение вблизи берегов Калифорнии может служить иллюстрацией этого явления для относительно мелких вод. Обычно ветры там дуют в южном направлении параллельно береговой линии, а верхние слои воды в океане движутся на запад.

580, с. 76—79; 692.

Вихри силы инерции трение

4.62. Усиление океанских течений в западном направлении. Известно, что как в северном, так и в южном полушариях более сильные океанские течения проходят в западной части океанов: в северной Атлантике — Гольфстрим; в южной Атлантике — Бразильское течение; на севере Тихого океана — течение Куроисио; в Индийском океане — Агуляс. (Единственное исключение представляет юг Тихого океана — вблизи берегов Австралии подобных течений нет.) Почему сильные течения «предпочитают» запад?

666, с. 1025; 692—696.

Вторичный поток центробежная сила трение

4.63. Чаинки в чае. Почему, когда вы размешиваете чай, чаинки собираются в центре чашки? По-видимому, это можно было бы объяснить действием центробежной силы, но ведь в центрифуге более тяжелые предметы удаляются от оси вращения. Как же объяснить столь загадочное поведение чаинок?

44; 73; 700, с. 84, 85; 716.

Вторичный поток центробежная сила трение

4.64. Меандры в руслах рек. Ручьи и реки, особенно старые, редко текут прямо: почти всегда их русла весьма извилисты (рис. 4.64). Порой

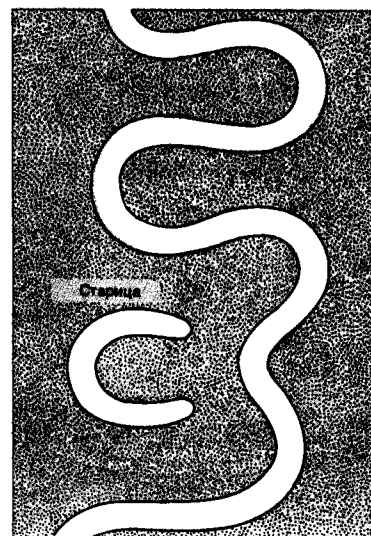


Рис. 4.64.

отклонение русла в сторону так велико, что река «спрямляет» его, а участок старого русла образует «старицу» — подковообразное озерцо. Конечно, извилины в руслах рек (меандры) можно объяснить неровностями местности, тем не менее русло реки, казалось бы, должно быть более прямым. Чем же обусловлены меандры?

44; 73; 360, с. 43—48; 364, с. 78, 79; 453; 679, гл. 9, с. 82—85; 698, с. 56—58; 699, с. 144, 145; 700, с. 84—87; 701—715; 1050; 1060.

Обтекание жидкостью препятствий градиент давления силы во вращающейся системе отсчета

4.65. Шарик во вращающемся потоке воды. Небольшой полый шарик частично заполните водой так, чтобы его плотность достигла такой величины, при которой шарик

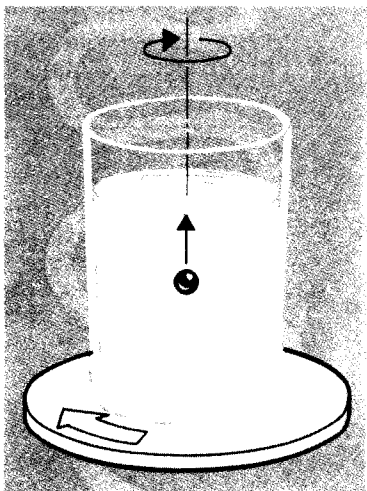


Рис. 4.65. По оси вращающейся воды шарик всплывает дольше, чем в неподвижной воде.

всплывает с глубины 10 см примерно за 2 с. Если поставить стакан с водой на диск проигрывателя (рис. 4.65) и заставить шарик всплывать по оси стакана, то время всплытия, казалось бы, должно остаться прежним. Однако обнаружилось, что при скорости вращения $33\frac{1}{3}$ об/мин шарик всплывает с глубины 10 см уже примерно за 30 с. Чем обусловлена разница во времени всплытия и почему она столь велика?

717—719; 1482; 167д.

Градиенты давления центробежная сила

4.66. Чернильные колючки Тэйлора. Если капнуть чернил в стакан с водой, то наверху образуется подкрашенный слой толщиной примерно в полсантиметра. Но если стакан с водой соосно укрепить на вращающемся диске

проигрывателя и капнуть в воду чернила чуть в стороне от оси стакана, то чернила будут тонкой ленточкой по спирали навиваться вокруг оси (рис. 4.66). Почему чернила удерживаются в тонком слое? Что мешает их перемешиванию с водой?

717; 720.

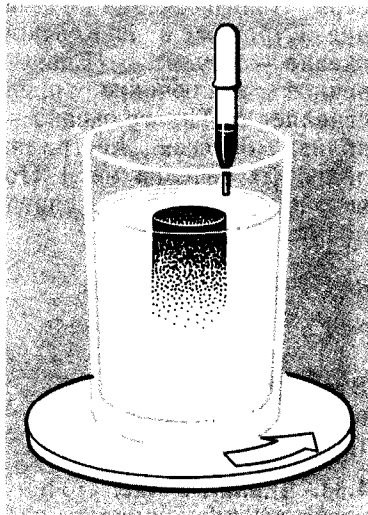


Рис. 4.66. Чернильный слой Тэйлора во вращающемся стакане с водой.

Вихри сила Кориолиса момент импульса

4.67. Воронка в ванной. Правда ли, что в Северном полушарии воронка, которая образуется в воде, вытекающей через сливное отверстие в дне ванны, закручивается против часовой стрелки, а в Южном — по часовой. Если в разных полушариях вода закручивается в воронках в разные стороны, то не значит ли это, что на экваторе

вода, вытекая из ванны, вообще не вращается?

72; 721—736.

Вихревые движения

4.68. Торнадо и водяные смерчи. Верно ли, что торнадо и водяные смерчи, подобно циклонам, всегда вращаются в определенном направлении? Что делает видимыми эти вихревые потоки? Как движется вода в водяных смерчах — вверх или вниз? Почему воронка торнадо порой перескакивает с места на место? Притягиваются или отталкиваются находящиеся близко друг от друга смерчи? Почему, наконец, некоторые смерчи оказываются «двойными», как если бы они состояли из двух концентрических слоев?

224—226; 737—750; 1538; 107д; 108д.

4.69. Смерч в бутылке минеральной воды. Поставьте только что открытую бутылку минеральной воды в центр диска проигрывателя, вращающегося со скоростью 78 об/мин. Как и следовало ожидать, в бутылке поднимутся пузырьки; однако если бросить в бутылку немного сахара или другого кристаллического вещества, то в ней возникнет некое подобие смерча. Чем обусловлен этот смерч и откуда он черпает энергию?

751—754.

Выталкивающая сила

4.70. Вихрь в чашке кофе.

Осторожно покрутите ложечкой в чашке горячего кофе, так чтобы кофе начал равномерно вращаться. Теперь аккуратно тонкой струйкой вливайте холодное молоко в центр чашки, и вы увидите, что там образуется небольшой вихрь; возможно, вы заметите и небольшое углубление в его середине. Если же вливать в кофе горячее молоко, то вихря не будет. Почему вихрь возникает в первом случае?

755.

Конвекция вихри

4.71. Пылевые вихри. Почему в пустынях и других местах, где много пыли или песка, часто возникают пылевые вихри? Вверх или вниз движется воздух внутри вихрей? Имеют ли вихри, подобно циклонам, какое-то предпочтительное направление вращения? Каким образом незаметные на первый взгляд локальные изменения в движе-

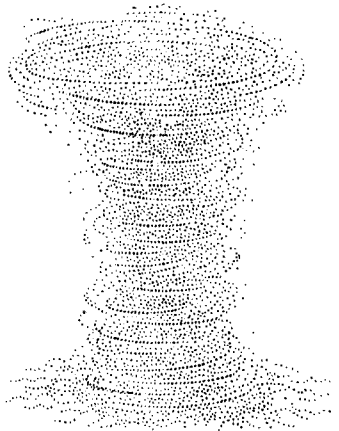


Рис. 4.71. Пылевой вихрь.

нии воздуха могут вызвать вихри (например, суслик, бегущий по пустыне, оставляет за собой след из песчаных вихрей)? Почему почти всякий пылевой вихрь держится не более трех-четырёх минут? Исчезает ли он в результате турбулентности или из-за того, что теряет источник энергии? Почему, наконец, по своей форме (рис. 4.71) пылевой вихрь скорее похож на песочные часы, чем на обычный смерч?

756—764; 1539; 1540.

4.72. Огненные вихри. Почему вблизи извергающихся вулканов, лесных пожаров, больших костров часто образуются огненные вихри, напоминающие смерчи?

765—772.

4.73. Туманные вихри. Существует еще один тип природных вихрей, который, однако, редко удастся наблюдать, — это туманные вихри. Они образуются зимой в густом тумане над некоторыми незамерзающими озерами, такими, например, как озеро Мичиган. Модель такого вихря вы можете получить дома, направив поток холодного воздуха над поверхностью ванны, наполненной теплой водой, при этом воздух в ванной комнате должен быть влажным. Почему возникают туманные вихри?

773; 774.

4.74. Капля создает вихревое кольцо. Если каплю подкрашенной воды капнуть в ста-

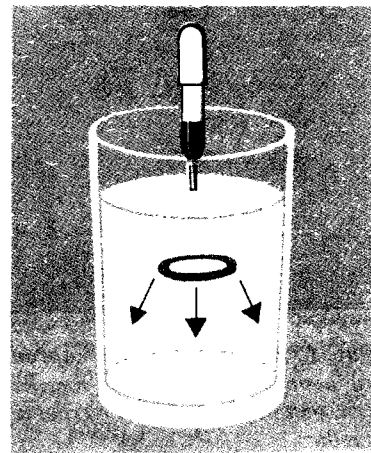


Рис. 4.74. При движении вниз вихревое колечко подкрашенной воды расширяется.

кан с чистой водой, то можно заметить, как при всплеске образуется вихревое кольцо, которое расширяется, опускаясь вниз (рис. 4.74). Можете ли вы буквально на пальцах объяснить это явление. Как вращается жидкость в кольце? Почему во время всплеска образуются и другие (менее заметные) кольца?

155, с. 103; 775; 776; 777.

4.75. Призрачный след. Если кусок картона, опущенный вертикально в сосуд с водой, резко переместить в горизонтальном направлении, как показано на рис. 4.75,а, то на поверхности воды возникнут два следа. Почему? Если картонку перемещать немного боком (рис. 4.75,б), то она оставит только один след. Почему?

1481.

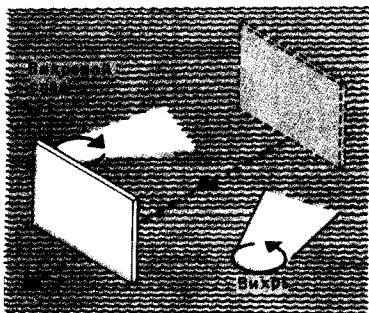


Рис. 4.75,а. Если двигать картонку перпендикулярно ее плоскости, она оставляет два вихревых следа.

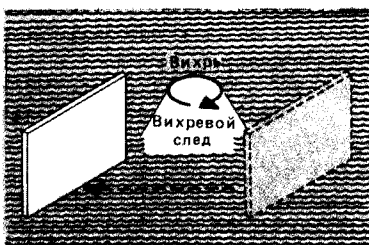


Рис. 4.75,б. Если направление движения картонки не перпендикулярно ее плоскости, то за нею остается один вихревой след [McCutchen C. W. *Weather*, 27, 33 (1972).]

Вихри адиабатические процессы трение

4.76. Вихрь разделяет холодный и горячий воздух. Если в боковой отросток вихревой трубки (рис. 4.76) подавать сжатый воздух (скажем, при комнатной температуре), то из одного конца трубки будет выходить воздух с температурой до 200°C , а из противоположного — с температурой до -50°C . Внутри трубки нет ни нагревателей, ни холодильников — она пред-

ставляет собой просто цилиндрическую полость, которая в центре перекрыта диском с дырочкой посередине и с одной стороны закрыта клапаном. Как такое простое устройство позволяет получить столь значительную раз-

ность температур? Уж не сидит ли там какой-нибудь «крошечный человечек», который лихорадочно разделяет комнатный воздух на холодный и горячий?

778—787.

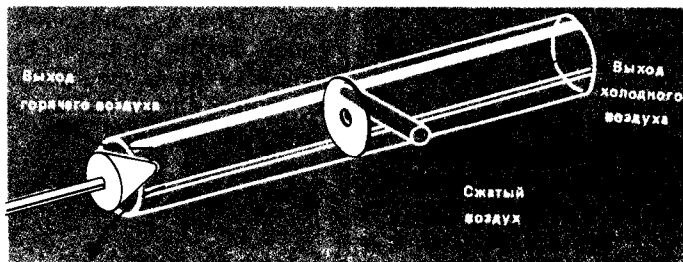


Рис. 4.76. Сжатый воздух, вдуваемый в вихревую трубку, разделяется на горячий и холодный.

Завихрения аэродинамика

4.77. Клин птичьей стаи. Почему перелетные птицы летят V-образным строем? Объясняется ли это какими-либо физическими причинами или это просто одна из любопытных особенностей поведения птиц? Должна ли форма стаи быть симметричной, если такая форма обусловлена законами аэродинамики? Нужно ли при этом, чтобы все птицы стаи синхронно взмахивали крыльями? Какие преимущества имеет «клин» перед другими построениями — скажем, «гуськом» или зигзагом? Почему птицы не летают «косяками», как плавают рыбы?

794.

Лобовое сопротивление вихри

4.78. Тонущая монета. Если бросить монету в большой сосуд с водой, то как она пойдет ко дну: плашмя или ребром? Будет ли она так же тонуть в вязкой жидкости, например в сахарном сиропе или масле? Как будет тонуть цилиндрик?

Здравый смысл, возможно, подсказывает вам, что предмет пойдет ко дну так, чтобы его «обтекание» жидкостью было наилучшим. Однако при некотором подборе параметров среды и предмета он будет тонуть в том же положении, в каком его опустили в жидкость. Если диаметр диска и вязкость жидкости достаточно велики, то диск будет тонуть плашмя. Почему это происходит? Почему монеты и цилиндрики меньшего размера ведут себя иначе? (Попробуйте объяснить, почему лист фанеры всплывает в воде, как бы скользят

по наклонной плоскости, и угол его наклона остается постоянным. Присмотритесь, как падают листья с деревьев. Постарайтесь объяснить увиденное.— *Ред.*)

788—790.

Аэродинамический спутный след

4.79. Гонимые машины «в хвосте» друг у друга. Почему гонимые часто стараются пристроиться вплотную к впереди идущей машине (как говорят, «сесть на хвост»)? Как это влияет на переднюю машину? Почему идущая на обгон задняя машина, выходя из-за передней, получает резкий толчок вперед?

789.

Спутный след вихри

4.80. «Взаимодействие» тонущих предметов. Когда несколько предметов одновременно погружаются в вязкую жидкость, например в масло или сахарный раствор, между ними могут возникать весьма странные взаимодействия. Приведем примеры.

1) Опустите в вязкую жидкость один за другим два цилиндра. При определенных значениях вязкости жидкости, размеров и скоростей цилиндров второй цилиндр может догнать первый и обойти вокруг него так, что они расположатся на одном уровне. Затем они начинают вращаться и, погружаясь, расходятся в разные стороны (рис. 4.80,а).

2) Бросьте в жидкость один диск, а следом за ним еще два. Вы увидите, что они догонят первый диск, и все три образуют устойчивую конфигурацию «бабочки» (рис. 4.80,б).

3) Теперь бросьте в вязкую жидкость кучкой три—шесть шариков; они разойдутся таким образом, что окажутся в вершинах горизонтально расположенного правильного многоугольника, который при погружении будет увеличиваться в размерах.

Не вдаваясь в подробности, постарайтесь объяснить увиденное.

789—793.

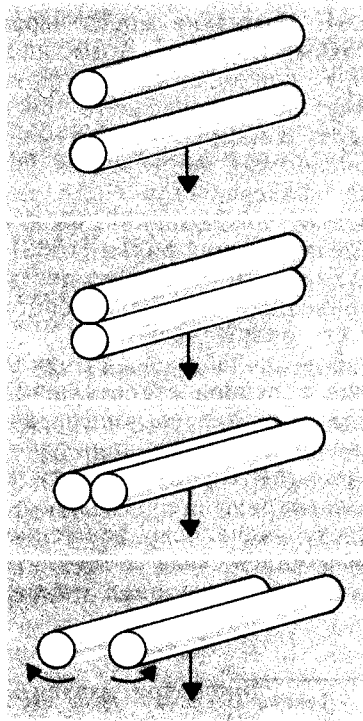


Рис. 4.80,а. Два цилиндра, тонущие в вязкой жидкости.

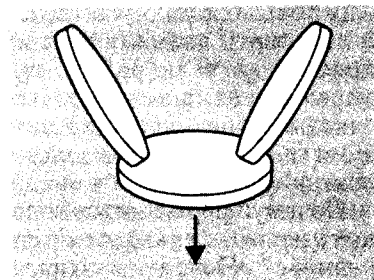


Рис. 4.80,б. Три диска, тонущие в жидкости, образуют «бабочку». [Jayweera K. O. L. F., Mason B. J. Journ. Fluid Mech. 22, 709 (1965).]

Плавучесть лобовое сопротивление спутный след вихри

4.81. Странные пузырьки в воде. Присмотритесь к пузырькам, поднимающимся в стакане воды. Самые маленькие из них (радиусом меньше примерно 0,7 мм) — сферические; они поднимаются на поверхность, как и можно было предполагать, по прямой. Пузырьки чуть побольше (радиусом до 3 мм) тоже сферические, но они движутся вверх зигзагами или по спирали. Пузырьки

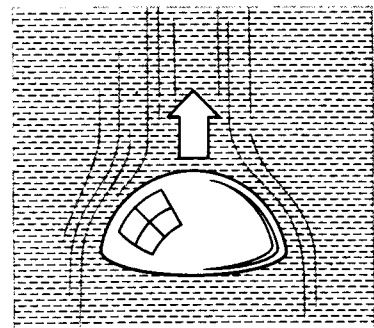


Рис. 4.81. Большой пузырек, всплывая в жидкости, принимает форму шарового сегмента.

еще большего радиуса (выше 3 мм) опять поднимаются по прямой, но если радиус пузырька превышает 1 см, то такой пузырек сплюснут снизу и по форме напоминает зонтик (рис. 4.81).

Почему форма всплывающего пузырька зависит от его размера? Почему пузырьки среднего размера всплывают загагами или по спирали и чем определяется период этого движения?

776; 474—477; 796—801; 70д, с. 59—63, 70.

Вихри лобовое сопротивление

4.82. Косяки рыб. Косяки рыб, несомненно, свидетельствуют об их групповом поведении, которое, помимо всего прочего, обеспечивает рыбам определенное практическое преимущество: когда рыба плавает в косяке, ее выносливость увеличивается раз в шесть. Почему рыбам примерно одинакового размера и вида более удобно плыть упорядоченно и синхронно? Чем определяется расстояние между отдельными

рыбами в косяке? Должны ли рыбы плыть строго друг за другом? Почему рыбы не плывут «клином», как летят птицы?

1095.

Вихри

4.83. Порывы ветра у зданий.

Почему при сильном и порывистом ветре с наветренной стороны здания оказывается значительно «тише», чем с противоположной? Казалось бы, должно быть совсем наоборот.

453.

Вынужденный резонанс гармонические колебания

4.84. Крушение моста через Такома Нэрроуз¹. Возможно, вам приходилось слышать о крушении подвесного моста через Такома Нэрроуз — на физических факультетах ряда университетов США нередко показывают весьма впечатляющий фильм [1562], где засняты колебания моста, приведшие в конце концов к его разрушению.

Эти колебания возникли еще в период строительства моста; от непрерывного раскачивания конструкции рабочие испытывали тошноту и головокружение. Когда по мосту началось движение, он качался столь сильно, что автомобилисты ради острых

ощущений съезжались сюда со всей округи. В иные дни амплитуда колебаний достигала полутора метров, и водители автомобилей прямо-таки теряли друг друга из виду.

Тем не менее крушение моста явилось полной неожиданностью. Утром того рокового дня волнообразное движение моста прекратилось, но вскоре возникли сильные крутильные колебания. Двое людей, оказавшихся в этот момент на мосту, выползли оттуда на четвереньках. Профессор, пытавшийся спасти брошенную на мосту собаку, смог выбраться с него, только двигаясь по линии узлов крутильных колебаний (его движение запечатлено в фильме).

Через 30 мин после начала крутильных колебаний с проезжей части моста был сорван настил. Через полчаса слетело еще 200 м настила. После этого колебания ненадолго затихли, но вскоре они возобновились; прошло несколько минут — и обрушились остатки сооружения.

Во всей этой трагедии вряд ли можно винить конструктора моста (он умер вскоре после столь трагического конца своей карьеры): в то время аэродинамическое поведение подвесных мостов было еще очень мало изучено. Это крушение надолго оставило печальный след в мостостроении.

На занятиях по физике эту аварию обычно рассматривают как пример вынужденного резонанса. Хотя ветер в день крушения был не особенно сильный, колебания моста достигли катастрофического размаха. Почему это произошло и как именно ветер

¹ Такома Нэрроуз — узкое место залива вблизи города Такома (штат Вашингтон) на Тихоокеанском побережье США. — Прим. перев.

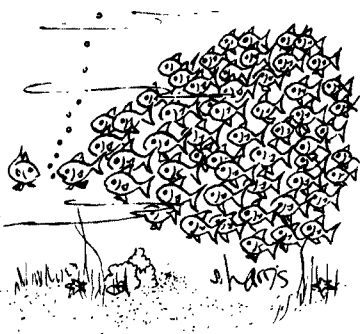


Рис. 4.82. «Все началось с невинной игры в «паровозик».

раскачал мост? Как мог ровный ветер вызвать волнообразное движение моста, приведшее затем к крутильным колебаниям? Почему возникают продольные колебания? Как известно, резонанс предполагает определенное соответствие частоты вынуждающей силы и собственной частоты системы. Попробуйте объяснить, каким образом при ветре могло возникнуть такое соответствие частот.

Как можно свести к минимуму аэродинамическую неустойчивость моста? После описанного крушения в проезжей части мостов стали делать продольные прорезы, например между полосами встречного движения. Почему это повышает устойчивость конструкции?

802—812; 1556; 7д, с. 165—169.

Неустойчивость Кельвина — Гельмгольца конвекция

4.85. Турбулентность воздуха. Чем вызваны «воздушные ямы», в которые временами попадают высоко летящие самолеты? Иногда самолет просто встряхивает, но бывает, что он начинает двигаться вверх-вниз, словно корабль на волнах. Порой самолет столь резко меняет высоту, что пилот может даже потерять управление. Нередко такие возмущения атмосферы удается предсказать заранее, но иногда на высоте нескольких километров турбулентность возникает в ясную безоблачную погоду. Впервые это явление было замечено во время второй мировой войны, когда

самолеты стали подниматься на относительно большие высоты. Чем вызывается атмосферная турбулентность в ясную погоду? Почему такая турбулентность встречается преимущественно на больших высотах?

819—822.

4.86. Часы на вершине горы. Почему часы с пружинным заводом на вершине горы идут иначе, чем на морском побережье?

9, с. 80—82.

Турбулентность

4.87. Сетка на водопроводном кране. Почему отверстие водопроводного крана часто закрывают металлической сеточкой? Она, конечно, может задержать мелкие камешки, если они случайно попадут в водопровод; однако, кроме того, утверждается, что такая сеточка делает воду «мягче». Почему это так?

Турбулентность интерференция волн

4.88. «Быстрые» бассейны. Почему некоторые плавательные бассейны называют «быстрыми»? Могут ли глубина бассейна, различные канавки для стока воды по его краям и химические добавки к воде существенно влиять на скорость пловца?

Краевые колебания

4.89. Колебания водной струи. На некоторых плотинах поток воды, падая через

водослив, может испытывать сильные колебания (рис. 4.89), звук которых, смешиваясь с обычным гулом падающей с плотины воды, может сделать пребывание вблизи плотины просто невыносимым. Что вызывает эти колебания? Почему так усиливается шум?

813—816.

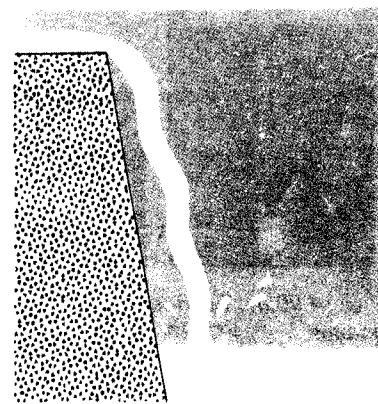


Рис. 4.89.

Вихри вынужденные колебания маятника

4.90. «Дыры» в парашютах. Почему в центре купола парашютов, особенно десантных, часто делается отверстие (рис. 4.90,а)? На первый взгляд такое отверстие кажется довольно неуместным — разве не противоречит оно самому смыслу устройства парашюта? Если отверстие призвано уменьшить сопротивление воздуха, то нельзя ли для этого просто уменьшить размеры купола?

О некоторых нестандартных парашютах следует поговорить подробнее. На серийных гоночных машинах, например, тормозной пара-

шют нередко напоминает две скрещенные полосы (рис. 4.90,б). Стоит ли пользоваться таким тормозным парашютом? Не слишком ли малым будет создаваемое им сопротивление?

Даже в отсутствие порывистого ветра при спуске на обычных парашютах пара-

шютысты, как правило, начинают раскачиваться из стороны в сторону. Поскольку такое раскачивание при приземлении может привести к весьма опасным последствиям, парашютисты, по-видимому, делают это не нарочно. Чем вызваны эти колебания и от чего зависит их период?

817; 818.

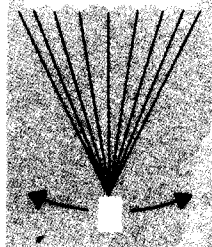


Рис. 4.90,а. Традиционный парашют.

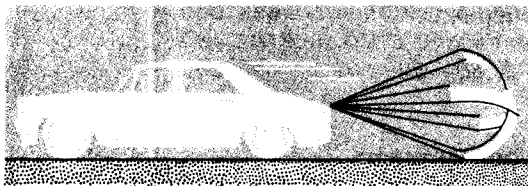


Рис. 4.90,б. Тормозной парашют на автомобиле.

Турбулентность передача импульса гидростатические силы

4.91. Скорость дрейфующего судна. Обычно считают, что дрейфующее по течению реки судно движется быстрее течения. Действительно, поскольку поворотом руля можно изменить курс такого судна, значит, оно движется относительно потока. Но каким образом судно, которое, казалось бы, просто подталкивается течением, может двигаться быстрее его?

453; 824; 825.

Обтекание препятствий перенос частиц вихри

4.92. Щели в снегозаградительных щитах. Почему для защиты от снежных заносов

на шоссе, железнодорожном пути или пешеходной дорожке устанавливают снегозащитный забор, а не сплошную снегозащитную стенку? Допустим, забор дешевле, но все же разве не была бы сплошная стенка более эффективной, чем забор с широкими щелями?

453; 600; 826; 109д; 110д.

Обтекание препятствий перенос частиц

4.93. Снежные сугробы. Зимой возле деревьев и столбов наметает более глубокие сугробы, чем у наветренных стен домов. Почему же возле узких препятствий собираются больше снега?

364, с. 12,13; 453; 826.

Лобовое сопротивление образование завихрений

4.94. Обтекаемые крылья самолетов. Почему задняя кромка крыла самолета заострена (сказать, что это делается для обтекаемости, еще недостаточно). Почему одни самолеты имеют стреловидные крылья, а другие — нет?

603; 605; 43д, с. 508.

Лобовое сопротивление

4.95. Аэродинамика лыжного спуска. Как известно, исход крупнейших мировых состязаний по скоростному спуску с гор часто решают сотые доли секунды. Поэтому вопрос о том, какова должна быть «стойка» лыжника при спуске с горы, представляет большой интерес. Так, французы на основании испытаний в аэродинамической трубе выработали стойку «яйцо» (рис. 4.95,а). Хотя это и не самая лучшая позиция для уменьшения лобового сопротивления, она довольно удобна для стремительной гонки.

А что можно сказать о двух других показанных на рисунках стойках? До испытаний в аэродинамической трубе многие лыжники, прижимая руки к ногам, инстинктивно принимали по возможности самое низкое положение (рис. 4.95,б). Оказалось, однако, что высокая стойка с вытянутыми вниз руками (рис. 4.95,в) обеспечивает гораздо меньшее сопротивление, чем аналогичная низкая стойка, хотя и не столь малое, как стойка «яйцо». Почему?

823.

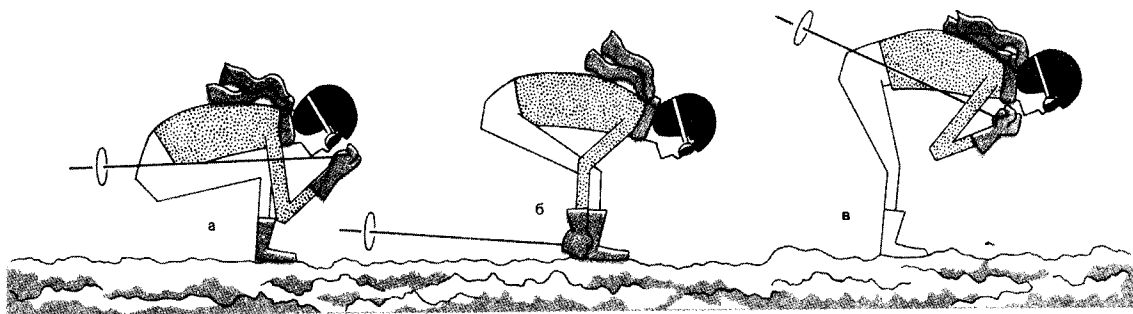


Рис. 4.95. Три типа лыжной стойки. Французская стойка «яйцо» (а); руки прижаты к ногам (б); высокая стойка (в).

Лобовое сопротивление

4.96. Вмятины на мяче для гольфа. Зачем на мяче для гольфа делаются вмятины? Сначала мячи для гольфа были гладкими, но потом случайно обнаружилось, что побитые мячи летят дальше, чем новые, гладкие. Если мяч с вмятинами¹ летит, скажем, на 210 м, то гладкий мяч при таком же ударе пролетает не более 45 м. Как это объяснить? Не должен ли гладкий мяч лететь дальше — ведь он испытывает в полете меньшее сопротивление воздуха?

593; 827; 828; 93д, с. 116—117.

¹ Несколько лет назад в продаже появился новый мяч для гольфа: по его поверхности совершенно случайным образом разбросаны шестиугольные вмятины, тогда как на старых мячах они были круглые и распределялись довольно равномерно. Утверждается, что средняя дальность полета нового мяча на 5 м больше.

Давление воздуха передача импульса

4.97. Может ли летать ошипанная птица? Как летают птицы? О, это всем известно — они машут крыльями

вверх-вниз. Но что при этом удерживает их в воздухе и почему они летят вперед? Быть может, двигаясь вниз, крылья одновременно движутся и назад, тем самым толкая птицу вперед? Нет, замедленная киносъемка показывает, что при махе вниз крыло движется не назад, а вперед. Возможно, секрет полета птицы наиболее точно выражен в древнегреческом мифе об Икаре: взлетев слишком близко к Солнцу, он потерял крылья, прилипшие к рукам воском, и разбился насмерть. Нужны

ли птице перья, чтобы подниматься в воздух и летать? Может ли летать ошипанная птица?

604; 98д; 97д.

Конвекция, вихри подъемная сила лобовое сопротивление

4.98. Парение птиц. Что позволяет птицам так долго и с такой легкостью парить в воздухе? Если, к примеру, предположить, что в этом им помогают потоки воздуха, которые отклоняются вверх деревьями и холмами, то почему же птицы с такой легкостью парят над равниной и над морем? Если подъемная сила создается благодаря ветру, сила которого с высотой увеличивается, то почему же в безветренные дни птицам, судя по всему, удается парить с еще большей легкостью. Наконец, если они удерживаются на восходящих потоках теплого воздуха, то почему порой можно видеть, как одна стая птиц спокойно парит, а другая — выше или ниже — усиленно машет крыльями, чтобы удержаться в воздухе?



Если подъемная сила крыльев птиц создается восходящими потоками воздуха, которые берут начало у поверхности земли, то более крупным птицам было бы легче парить низко над землей — на деле же им это редко удается.

Замечено также, что некоторые птицы, совершая дальние перелеты над водой, пристраиваются к океанским лайнерам, паря над волнами, которые остаются за кормой корабля. Как это можно объяснить?

364, с. 13—15, 120, 121; 604;

852, с. 127—131; 853—862; 98д.

Давление устойчивость

4.99. Воздушные змеи. Как удерживаются в полете плоские и коробчатые воздушные змеи? Какие из них более устойчивы? Для чего змеям приделывают хвосты? Какие преимущества дают различные типы уздечек, которые изображены на рис. 4.99?

829; 8д, с. 544—545.

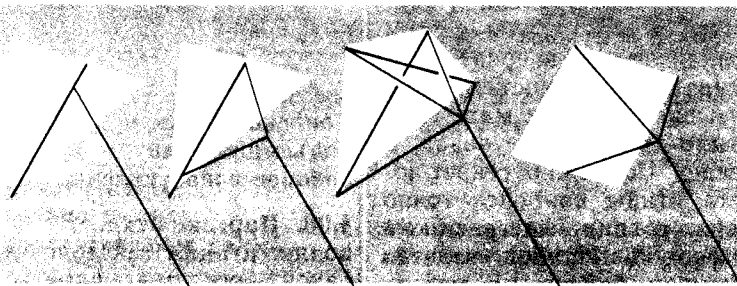


Рис. 4.99. Несколько типов уздечек воздушных змеев.

Вихри конвекция конденсация

4.100. «Дорожки» в облаках. Иногда небо покрывается длинными, ровными дорожками кучевых облаков. Что «заставляет» облака выстраиваться таким образом, чем, в частности, определяется расстояние между облачными дорожками? Почему они возникают сравнительно редко?

361, с. 4—13, 39, 43; 362, с. 28—30; 364, с. 154, 155, 175; 1456.

Конвекция поверхностное натяжение нелинейное течение жидкости устойчивость конденсация

4.101. Кофе в многоугольниках. Если вы внимательно приглядитесь к горячему кофе в чашке, когда на него почти параллельно поверхности падает сильный свет, то увидите, что поверхность кофе испещрена какими-то многоугольниками (рис. 4.101,а). При остывании кофе они исчезают. Они исчезнут также и в том случае,

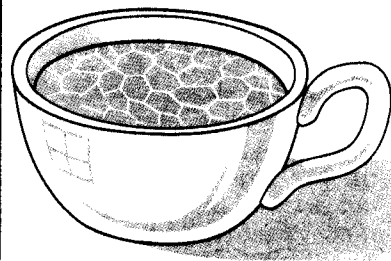


Рис. 4.101,а. Многоугольники на поверхности кофе. [Schaefer V. J. American Scientist. 59. (Sept.—Oct. 1971).]

если вы поднесете близко к кофе наэлектризованную пластмассовую расческу (перед этим несколько раз расчешите ею сухие волосы).

Аналогичные узоры возникают и на поверхности других жидкостей. Так, известный английский физик Дж. Томсон наблюдал быстро меняющиеся узоры на поверхностях горячей мыльной воды и крепких вин. Позднее французу Бенару удалось наблюдать на поверхности подогреваемого масла красивую мозаику из шестиугольников, напоминающую пчелиные соты (рис. 4.101,б). На других жидкостях час-

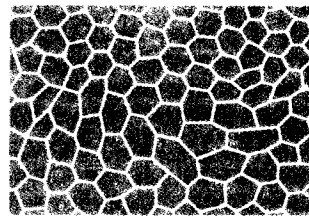


Рис. 4.101,б. Шестиугольные ячейки Бенара.

то образуются узоры в виде завитков (рис. 4.101,в). В последнее время предпринимались попытки по-

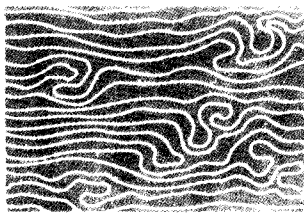


Рис. 4.101, в. Поверхность, покрытая «катящимися ячейками».

лучить узоры на поверхностях жидкостей в состоянии невесомости — на борту космического корабля.

Почему на поверхности жидкости образуются многоугольники и завитки различной формы, в частности «соты»? Почему узор исчезает с поверхности кофе, если к ней приблизить наэлектризованный предмет? Наконец, зависят ли эти узоры от действия силы тяжести?

360, с. 93, 94; 453; 580, с. 113—115; 830—829; 179д.

Ряды вихрей гравитационные волны

4.102. «Улицы» в песчаных дюнах. Если посмотреть с борта самолета на растялающуюся внизу пустыню, то можно увидеть, что приблизительно с севера на юг, почти по прямой линии ее пересекают длинные и узкие полосы дюн (рис. 4.102), словно там внизу не пустыня, а четко спланированные городские улицы. Такие линии дюн характерны почти для всех больших пустынь мира, и все они ориентированы примерно в направлении север — юг; расстояние между линиями колеблется в пределах от 1 до 3 км.

Опавшие листья, разбросанные по поверхности озера, и поверхностные водоросли в морях тоже собираются в более или менее правильные ряды, отстоящие друг от друга примерно на 100—200 м и вытянутые в длину метров на пятьсот.

Что определяет направление, в котором ориентируются эти полосы? Если причиной всему ветер, то параллельно или перпендикулярно ему располагаются полосы? И наконец, от чего зависит расстояние между ними?

580, с. 18, 19, 119, 120; 862—868.

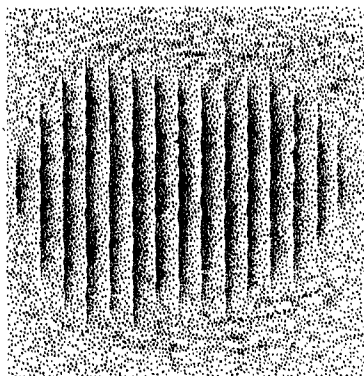


Рис. 4.102. «Улицы» в песчаных дюнах.

Вихри

4.103. Фокусы с колечками дыма. Чтобы как-то развлечь меня в долгие летние дни в маленьком провинциальном городке, мой дедушка часами напролет пускал колечки табачного дыма. Фокус попросте состоял в том, что дедушка направлял колечко в сте-

ну, и, приближаясь к ней, колечко расширялось.

Но самый удивительный фокус выглядел так: дедушка пропускал одно маленькое колечко сквозь другое — побольше. После того как маленькое, более быстрое колечко проходило сквозь большое, последнее сжималось и начинало двигаться скорее, тогда как маленькое колечко расширялось и замедляло движение (рис. 4.103). Колечки менялись ролями, и снова одно из них проходило сквозь другое и т. д. Такая чехарда продолжалась до тех пор, пока колечки совершенно не рассеивались.

Аналогичную картину можно наблюдать, если пустить каплю подкрашенной воды в высокий стакан с водой. Ударившись о поверхность, цветная капля образует колечко, которое, расширяясь, опускается на дно (см. задачу 4.74). Вторая капля, пущенная сразу следом за первой, тоже создает кольцо, которое проходит сквозь первое — и опять начинается игра в догонялки.

Почему образуются колечки дыма и каким образом им удается столь долго сохранять форму? Почему, приближаясь к стене, дымовое кольцо расширяется? Как объяснить «чехарду», которую устраивают колечки дыма или воды?

36, с. 1; 51; 109; 453; 721; 850; 851; 111д; 112д.

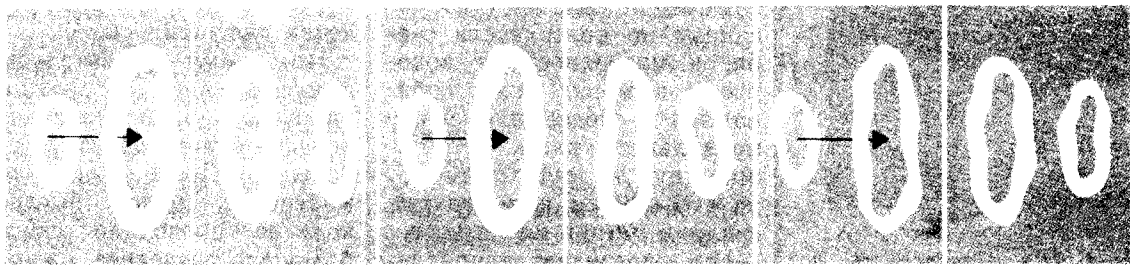


Рис. 4.103. Дедушкины фокусы с кольцами табачного дыма.

Вихри скачки

4.104. Песчаные складки. Почему скаты песчаных дюн покрыты складками и чем определяется расстояние между ними?

Складки часто возникают также на песчаном дне ручейков. Почему образуются эти складки и от чего зависит их период? Если пристально понаблюдать за такими складками достаточно долгое время, то можно заметить, что они движутся вверх по ручью. Почему это происходит?

144; 453; 629; 687; 688; 697, с 55—59; 698, с. 134—136; 869—874; 105д.

**Силы в жидкостях
кавитация
давление паров**

4.105. Сифоны¹. Как действуют сифоны? В частности, если их действие связано с атмосферным давлением, то почему же некоторые жидкости можно перекачивать

с помощью сифона в вакууме? Зависит ли действие сифона от силы тяжести? Почему действие сифона не начинается сразу после того, как трубку (рис. 4.105) погружают в жидкость? Что заставляет жидкость подниматься в колене *A — B* против действия силы тяжести? Чем ограничивается высота сифона, в частности когда сифон действует в вакууме?

875; 876.

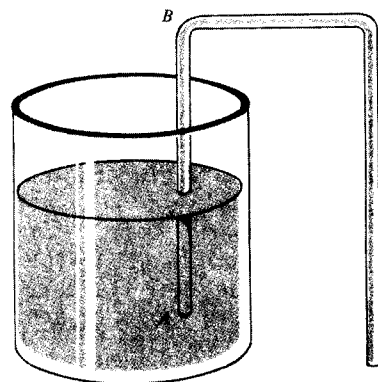


Рис. 4.105. Сифон.

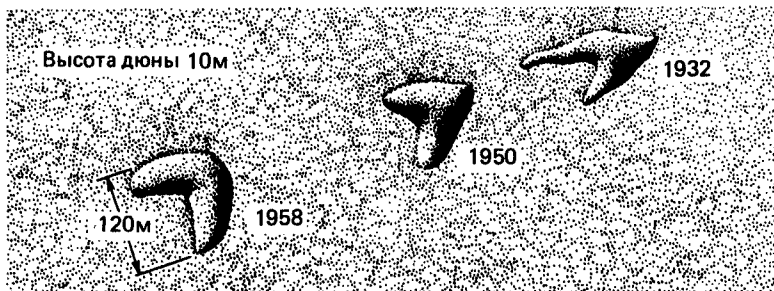


Рис. 4.106. Перемещение песчаной дюны за 26 лет.

4.106. Движение песчаных дюн. Я полагаю, что ветры должны рассеивать песчаные дюны, однако, как можно видеть из рис. 4.106, ветер перемещает песчаную дюну по пустыне, почти не меняя ее формы и очертания, и это

не единичный, а вполне типичный случай движения песчаных дюн. Каким же образом ветер их перемещает?

144; 453; 698, с. 141, 142; 699, с. 198; 109д.

¹ Несколько любопытных сифонов, созданных древнегреческим ученым Героном, описано в работе [877].

Сифон увлечение частиц потоком

4.107. Тот самый Крэппер. Как действует унитаз? Что «толкает» воду в трубы канализации? Правильно ли считать, что вода поступает из бачка в раковину унитаза только вследствие того, что бачок находится сверху? Для чего у большинства унитазов имеется еще одно, меньшее отверстие?

Когда я работал над этой книгой, мне попала в руки весьма занимательная вещь — «История Томаса Крэппера» [878]. Это он изобрел смывной унитаз (очевидно, он также определенным образом «обогадил» наш язык¹).

Сейчас нам трудно это оценить, однако изобретение унитаза было делом непростым, и Крэпперу с коллегами пришлось серьезно потрудиться. Испытания «смывной способности» унитазов проводились с самыми разнообразными веществами. Чего там только не было! Изобретатели сочли, что достигли успеха, когда в 1884 г. «суперсмывка унесла прочь 10 яблок средним диаметром в 4,5 см; 1 плоскую мочалку диаметром 11 см; 3 воздушных шарика; замазку, размазанную по раковине, и 4 куса бумаги, плотно прилипшие в ней». Поистине чудо техники!

253, с. 334, 335; 317, с. 95—97; 318, с. 108—113; 878; 879, с. 260, 261.

¹ В английском названии книги «Flushed with Pride» скрыта игра слов: его можно перевести как «Краснея от гордости» или «Смывавая с гордостью». — *Прим. перев.*

Аэродинамика капли

4.108. Масляные пятна на улицах. На некоторых улицах, где скорость движения достаточно высока, масляные пятна на дороге имеют вид колец, а внутри них дорога остается чистой (рис. 4.108). При меньшей скорости движения пятна бензина напоминают собой просто кляксы. Почему возникают пятна кольцеобразной формы и как быстро при этом должны двигаться автомобили?

887, с. 187; 888.

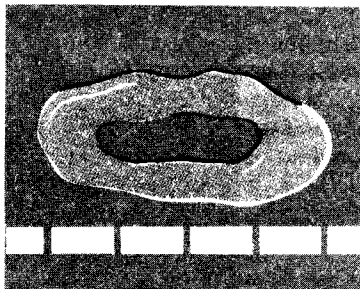


Рис. 4.108. Масляное пятно на дороге.

Поверхностная пленка пограничный слой

4.109. Линии на поверхности озера. На поверхности озер и ручейков часто можно заметить тонкие, едва различимые линии. В проточной воде они видны отчетливей, потому что здесь с одной стороны линии образуется небольшой гребень (рис. 4.109). Как вы думаете, отчего возникают эти линии и что представляют собой гребни?

Если гребень припудрить, то на противоположной стороне линии можно заметить чередующиеся «припудрен-

ные» потоки. Чем обусловлена такая картина?

893; 894.

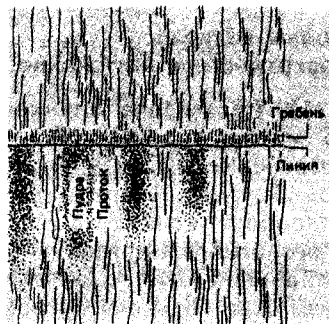


Рис. 4.109. Линия и бугорок на поверхности ручья или озера (вид сверху).

Поверхностная пленка

4.110. Чистая полоска в молоке. Если вы как-нибудь размечтаетесь над стаканом молока, то присмотритесь внимательно к пленке молока, которая видна на доньшке наклоненного стакана: между пленкой, приставшей к доньшку, и самим молоком вы увидите чистую полоску в несколько миллиметров шириной (рис. 4.110).

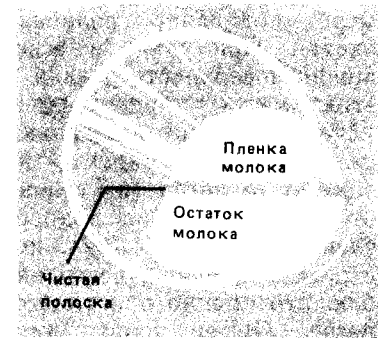


Рис. 4.110. Чистая полоска в наклонном стакане с молоком.

Почему появляется такая полоска?

458.

Волны на воде поверхностное натяжение

4.111. Растекание оливкового масла на воде. В стихотворении «Камера Просперо» Лоуренс Даррелл [889] описывает ночную рыбалку с острой в лагунах у гор Албании. Ловля с острой возможна только в прозрачной и спокойной воде — даже легкий бриз сильно искажает видимое изображение рыбы и мешает прицелиться. Однако, побрызгав слегка на воду оливковым маслом, дело можно поправить. Как несколько капель масла могут успокоить воду?

890; 891; 892.

Внутренние волны гашение волн

4.112. Полосы планктона в море. Часто на биологически активных участках океана можно наблюдать длинные широкие полосы, образованные пленкой планктона, которая в значительной мере подавляет волнение океана. При удачном освещении поверхность океана в этих местах представляет удивительное зрелище. Полосы планктона, видимо, не зависят от ветра (в отличие от полос из морских водорослей, см. задачу 4.102), поскольку их лучше всего наблюдать именно при слабом ветре. (Ветер только усиливает контраст между величиной волн в чистой воде и в полосе планктона.) Почему

планктон собирается в такие полосы и как они влияют на волнение океана?

895—898.

4.113. Разбрызгивание молочных капель.

Когда молочная капля падает на по-

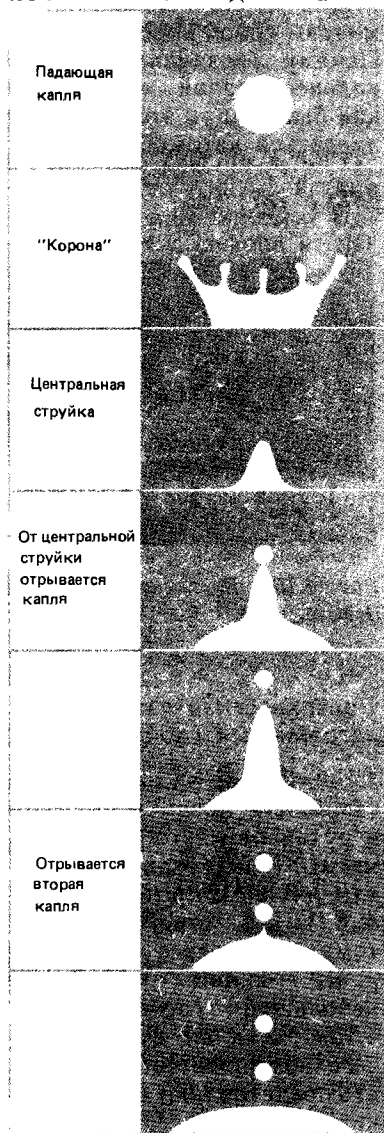


Рис. 4.113. [Hobbs P. V., Kezweeny A. J. *Science*, 155, 1112 — 1114 (1967).]

верхность жидкости, то она отскакивает вверх в виде конической воронки, которая затем превращается в некое подобие короны (рис. 4.113). При опадании короны из ее центра выбрасывается струйка жидкости («рэлеевская струя»), от которой затем отделяется одна или несколько капель. Почему воронка превращается в «корону», почему образуется центральная струйка и почему от нее отделяются капли? Этот последний вопрос требует особого объяснения.

Представьте теперь, что опыт с молочной каплей проводится в космосе, в невесомости. Будет ли она вести себя подобным же образом?

880—886; 70д, с. 63—70, 79—83; 114д.

Поверхностное натяжение давление центробежная сила

4.114. Водяной «колокол». Если струйка воды падает в центр диска, то вода разливается по диску и, стекая с его краев, образует тонкую

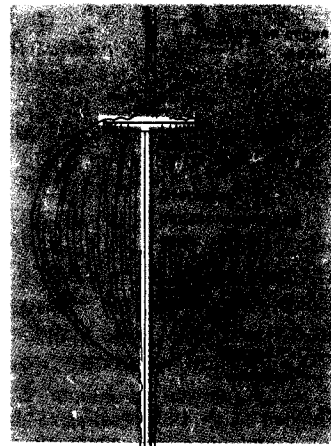


Рис. 4.114.

прозрачную пленку. Эта пленка может даже замкнуться на стержне, на котором укреплен диск; тогда возникает красивый водяной пузырь, имеющий форму колокола (рис. 4.114). От чего пленка воды загибается внутрь? Чем определяется форма «колокола»?

899—904.

Поверхностное натяжение сохранение импульса волны в воде

4.115. Водяные пленки. Если направить навстречу друг другу две одинаковые струи воды, то возникают красивые тонкие водяные пленки (рис. 4.115). Почему струи не «обрываются», а образуют пленки? Почему на некотором расстоянии от точки, где встречаются струйки, пленки в конце концов распадаются?

Эти пленки бывают трех основных типов, форма кромки и устойчивость которых, помимо всего прочего, зависят от скорости потока. При малых скоростях по-

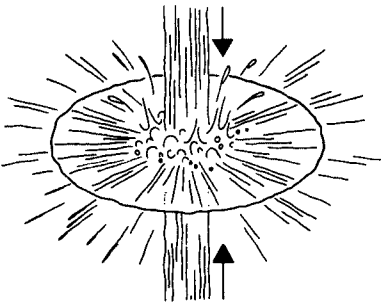


Рис. 4.115. Образование водяной пленки при столкновении двух водяных струй (одна из которых направлена вверх, а другая — вниз). [Taylor G. I. Proc. Royal Soc., A209, 1 (1960).]

тока возникают круглые и устойчивые пленки. При более высоких скоростях либо получаются пленки с зубчатой кромкой, либо на пленке образуются волны. И наконец, при еще более высоких скоростях пленка колеблется, как флаг на ветру. Чем в основном обусловлены эти различия?

904—910.

4.116. Склеивающиеся струйки. Прodelайте сбоку консервной банки подряд несколько отверстий параллельно доньшку. Наполните банку водой и проведите пальцем по вытекающим струйкам. Струйки сольются в одну струю, которая сохранится и после того, как вы уберете палец (рис. 4.116). Что удерживает струйки вместе?

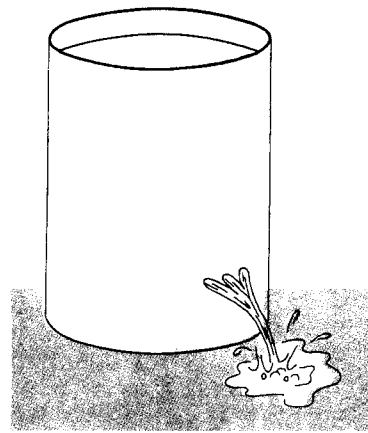


Рис. 4.116. Три водяные струйки как бы слипаются вместе.

Поверхностное натяжение

4.117. Перец и мыло. Если окунуть небольшой кусочек мыла в тарелку с водой,

по поверхности которой рассыпаны перчинки, то они «разбегутся» в стороны от мыла. Почему? Какова скорость «разбегания» крупинки перца?

321; 592, с. 40; 86д.

Уравнение Бернулли пограничный слой разность давлений

4.118. Как выливать пиво из банки? Почему пиво, когда его выливают из металлической банки, бежит по ее наружной стенке, вместо того чтобы отрываться прямо у края (рис. 4.118)? От каких факторов зависит, насколько далеко «затекает» пиво по наружной стенке? Как быстро нужно выливать пиво, чтобы оно не «прилипло»?

Скорее всего, вы попытаетесь объяснить это явление поверхностным натяжением или смачиванием жидкостью стенки сосуда. Однако оба эти эффекта не могут служить причиной того, что вы пролили пиво. В чем же тогда причина?

911; 912; 113д.

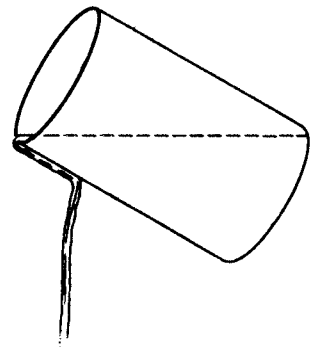


Рис. 4.118. Струйка жидкости стекает по наружной стенке сосуда.

Поверхностное натяжение переполнение пленки

4.119. «Слезы» виски. Налейте виски в широкий стакан, и вы увидите, как по его стенкам сначала начнет подниматься жидкая пленка, а затем на них возникнут маленькие «слезинки». Почему пленка столь высоко «забирается» вверх по стенкам?

832; 848; 849; 1530.

4.120. «Глиссирующие» автомобили. Если, двигаясь на автомобиле по мокрой дороге с большой скоростью, резко затормозить, то автомобиль поведет себя как глиссер; шины его начнут скользить по тонкой пленке воды, практически не касаясь дороги. Почему это происходит? Почему автомобиль не всегда скользит на мокрой дороге, даже если тормоз не нажат? Существует ли такой рисунок протектора, который уменьшает этот эффект¹?

913; 41д.

¹ В действительности аналогичный эффект возникает и при равномерном движении автомобиля со скоростью 90–120 км/ч, если на дороге имеется слой воды толщиной около 1 см.— *Прим. ред.*

Поверхностное натяжение

4.121. Плавающие водяные капли. Часто можно видеть, как водяные капли скользят по поверхности воды, казалось бы, чудом спасаясь от того, чтобы вода их поглотила. Что помогает каплям «устоять»?

534; 914—916; 1608; 1609.

Неньютоновские жидкости (4.122—4.131)

4.122. «Вращающийся» суп. Если вы как-нибудь возьметесь готовить томатный суп, то попробуйте хорошенько раскрутить его в кастрюле, а затем вытащите ложку. Как и следовало ожидать, вскоре суп перестанет вращаться, но вы сможете заметить, что последние несколько секунд он будет вращаться в противоположном направлении. Почему это происходит?

917.

Упругие жидкости

4.123. «Прыгучая» жидкость. Некоторые шампуни для волос (а также кое-какие другие жидкости) обнаруживают странную способность «прыгать», когда их наливают, скажем, на блюдо, частично уже заполненное такой жидкостью. Если падающая струйка достаточно тон-

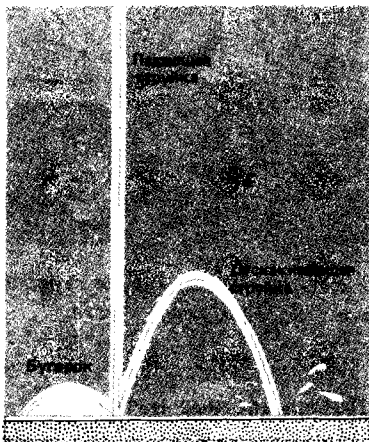


Рис. 4.123. [*Kaye A. Nature*, 197, 1001 (1963).]

кая, то у ее основания образуется небольшой горбик. Затем струйка как будто отскакивает от поверхности (рис. 4.123), и тогда горбик исчезает, но перед следующим скачком он возникает вновь. Почему образуется горбик и почему прыгает струйка? Какими особенностями обладают такие «прыгающие» жидкости?

917; 921; 922; 923.

Эффект Вейссенберга вязкость напряжения

4.124. Яичный белок ползет вверх по стержню. Если стакан с водой поставить на вращающийся диск проигрывателя, то поверхность воды у стенок стакана искривляется вверх под действием центробежной силы. Аналогичную картину можно наблюдать, если в жидкость, находящуюся в неподвижном стакане, вдоль его оси опустить вращающийся стержень.

Однако так ведут себя не все жидкости. Поверхность яичного белка в стакане, установленном на вращающемся диске, будет иметь такую же форму, что и вода, но если погрузить в белок вращающийся стержень, то белок поведет себя странным образом: вместо того чтобы подниматься по стенкам, он поползет вверх по стержню (рис. 4.124). Желатин, растворенный в горячей воде, сначала будет вести себя «нормально», однако по мере остывания этот раствор также начнет «забираться» вверх по стержню. Поскольку жидкость вращается, то на нее, несомненно, действует

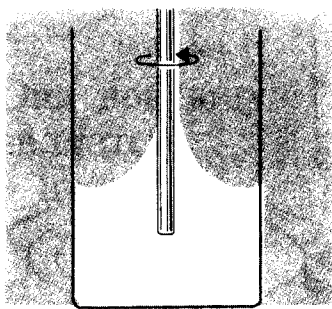


Рис. 4.124. Яичный белок забирается вверх по стержню.

центробежная сила, но, видимо, должна быть еще какая-то большая сила, которая собирает жидкость к стержню. Что это за сила?

917; 921; 923; 924, с. 375; 925, с. 121; 926, с. 52, 53; 927, с. 671; 928, с. 522—524; 929—934; 1620.

Течение вязкой жидкости

4.125. «Жидкий канат». Если густое масло, мед или жидкий шоколад лить на тарелку

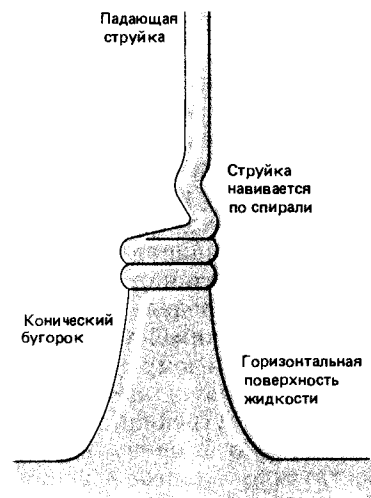


Рис. 4.125. «Жидкий канат». [Barnes G., Woodcock R. Amer. J. Phys., 26, 205 (1958).]

с достаточно большой высоты, то на некотором расстоянии от тарелки струйка жидкости начнет накручиваться колечками (рис. 4.125). Почему возникают такие колечки? Чем определяются диаметр, высота и скорость образования «намотки»?

918—920.

Вязкость деформация сдвига переход золя в гель

4.126. Тиксотропный маргарин. Многие широко распространенные в быту жидкости не нашли бы применения, если бы их вязкость не уменьшалась, когда один слой жидкости сдвигают относительно другого. Такие жидкости называются тиксотропными. Маргарин, например, было бы очень трудно размазывать при комнатной температуре, если бы его вязкость не уменьшалась при размазывании ножом. Не менее важна и тиксотропность толстослойных красок. Они должны быть достаточно вязкими, чтобы ровно ложиться на покрываемую поверхность и в то же время не подтекать. В момент нанесения кистью краска должна иметь низкую вязкость, но затем вязкость должна быстро увеличиваться, чтобы размазанная краска не стекла. К тиксотропным жидкостям относятся также соус кетчуп, желатиновые растворы, майонез, горчица, мед, мыльный крем для бритья и т. д. Какое воздействие оказывает на структуру этих жидкостей деформация сдвига, если она вызывает уменьшение их вязкости?

110, с. 185, 186; 921; 923; 924, с. 374; 925, с. 144—149; 930; 934; 935, с. 405—407; 936—938; 1547.

Дилатансия напряжение

4.127. Распухание замазки.

Может ли жидкость, выходя из трубки, сквозь которую ее проталкивают, увеличиваться в объеме? С большинством текучих веществ подобного не случается — диаметр их струи при выходе из трубки равен внутреннему диаметру трубки. Однако силиконовая замазка, которая продается в магазинах игрушек, в этом отношении представляет исключение. Плотно набейте такую замазку в трубочку, немного подержите ее там, а потом начинайте проталкивать ее сквозь трубку. Как только замазка «выползет» из трубки, ее объем заметно увеличится (рис. 4.127). Это распухание, очевидно, обусловлено какими-то особыми свойствами этой жидкости. Почему распухает замазка? Какие еще жидкости (и по-



Рис. 4.127. Выдавливаемая из трубки замазка увеличивается в объеме.

чему не все) ведут себя подобным образом?

917; 921; 923; 935, с. 405—407; 1620.

4.128. «Скачущая» замазка. Силиконовая замазка обладает и другими, казалось бы, не совместимыми с названными в предыдущей задаче свойствами. Ударьте по ней молотком — она разобьется. Бросьте на пол сделанный из нее шарик — он отскочит лучше, чем резиновый, но если такой шарик некоторое время постоит, он постепенно сплющится. По-видимому, замазка ведет себя как жидкость, но реагирует на внешнее воздействие с некоторой задержкой. Поэтому она бьется, если по ней резко ударить, но упруго подпрыгивает, если ударить послабее. Длительное воздействие силы тяжести заставляет ее течь. Какие особенности структуры замазки определяют столь замедленную ее реакцию на внешнее воздействие?

917; 923; 939.

Сифоны упругость

4.129. Самовытекающие жидкости. Некоторые жидкости, например раствор полиэтилена в воде, могут сами вытекать из сосуда (рис. 4.129), если только дать толчок действию такого «сифона», вылив часть жидкости. Что заставляет жидкость подниматься по стенке сосуда и почему струя при этом не разрывается?

917; 940.

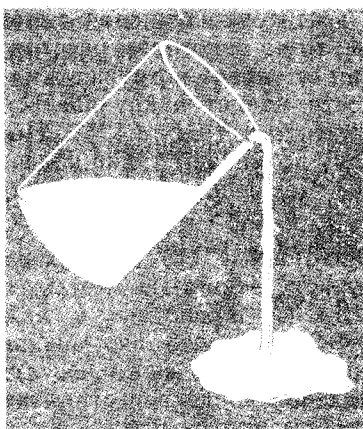


Рис. 4.129. Жидкость сама выливается из стакана.

Гидростатическое давление вязкость

4.130. Зыбучие пески. Почему, чтобы выбраться из зыбучего песка, лучше всего лечь на спину и высвободив ноги, можно затем «выкатиться» из такого песка или вытаскивать кого-то нужно медленно. Почему? Разве вязкость песка изменится, если ваши движения будут резкими? Если да, то почему? Почему у глубоко увязших людей и животных выпучиваются глаза?

941.

Течение жидкости диффузия

4.131. Как выделить краску из раствора? Можно ли выделить краску из раствора, если их смешивали путем вращения?

Налейте немного глицерина в промежуток между стенками двух коаксиаль-



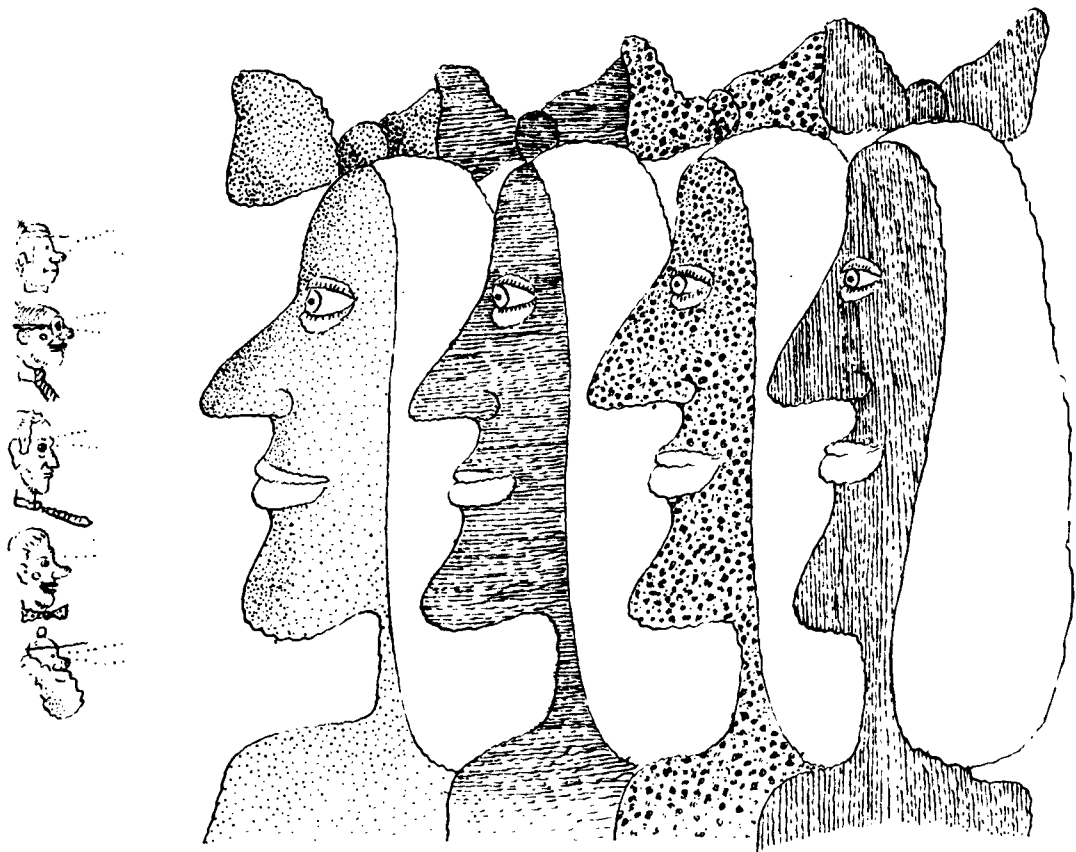
Рис. 4.131. Двойной цилиндр для отделения краски от жидкости (зазор между цилиндрами для наглядности непропорционально увеличен).

ных цилиндрических стаканов близких диаметров и аккуратно капните туда несколько капель краски (рис. 4.131). Повернув внутренний стакан примерно на 10 полных оборотов, вы хорошо размешаете краску. Однако если теперь вы повернете его на столько же оборотов в обратном направлении, то краска отделится от глицерина, и ее распределение будет примерно таким же, как до вращения. Почему это произошло? Но если вы станете вращать внутренний стакан в обратную сторону спустя достаточно долгое время, то краска не выделится из раствора. Почему?

942; 943.

5

Она повсюду
является
в цвете



Геометрическая оптика (5.1—5.47)

Отражение преломление дисперсия

5.1. Очки для плавания. Почему, плавая под водой, вы видите гораздо лучше, когда надеваете специальные очки?

В Центральной Америке водится рыба *Anableps*, которая, вероятно, видит одинаково хорошо (или одинаково плохо) в обеих средах. Эта рыба плавает у самой поверхности воды, так что ее большие глаза выступают из воды, оказываясь, таким образом, наполовину в воде, наполовину в воздухе. Для того чтобы видеть под водой, человеку нужны специальные очки. Как же рыба может видеть одновременно в воде и в воздухе?

170; 332, т. 1; 462; 944; 945; 1570.

5.2. Человек-невидимка. Герою знаменитого романа Герберта Уэллса «Человек-невидимка» удалось так изменить коэффициент преломления своего тела, что он стал невидимым. Каким, по вашему мнению, должно быть значение этого коэффициента? Мог ли человек-невидимка, имея такой показатель преломления, видеть что-либо сам?

5.3. С карандашом в ванне. Если, купаясь в ванне, вы захотите немного развлечься, то заранее захватите с собой карандаш и наблюдайте за его тенью на дне ванны.

Рис. 5.3. Тень от карандаша, частично погруженного в воду. [Amer. J. Phys., 35, 774 (1967).]

Погрузив карандаш в воду наполовину, вы увидите, что его тень не имеет с ним ничего общего — она скорее похожа на два стержня с закругленными концами, которые разделены светлым промежутком (рис. 5.3). Откуда возник этот светлый промежуток и чем определяется его ширина?

951; 952.

5.4. Изображение монеты в воде. Положите монету в прозрачную широкую банку, наполненную водой, и посмотрите сквозь воду под нужным углом — вы увидите изображение монеты на поверхности воды (рис. 5.4). Если

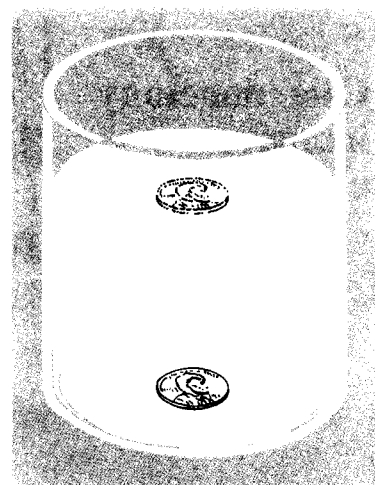
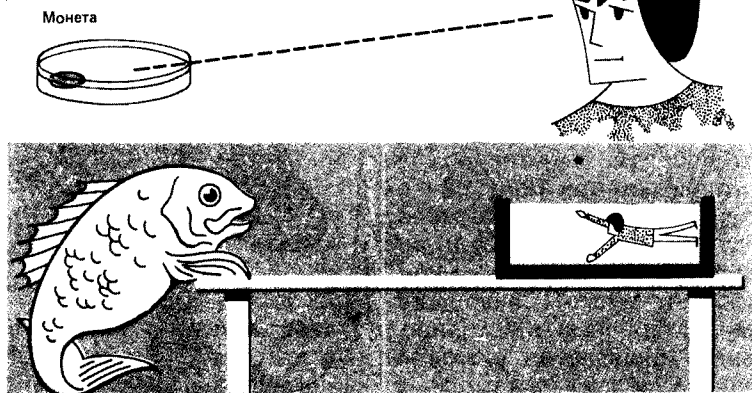


Рис. 5.4. Отражение монеты в боковой стенке стакана с водой.

теперь приложить с обратной стороны банки руку, то это, скорее всего, не повлияет на изображение; однако если рука будет мокрой, то изображение исчезнет. Почему?

950.

Рис. 5.5



5.5. Расстояние до рыбы. Глядя на рыбу в бассейне с водой, вы видите ее на некоторой кажущейся глубине,

которая меньше истинной. Искажено ли также и расстояние до рыбы по горизонтали? Степень его искажения

может зависеть от того, смотрите ли вы на рыбу одним глазом или двумя. Попробуйте проверить это, положив какой-нибудь предмет в плоскую тарелку с водой и посмотрев на него с некоторого расстояния так, чтобы ваши глаза находились почти на уровне воды (рис. 5.5). Сначала оцените расстояние до предмета, держа голову прямо; потом наклоните голову на 90° и снова определите это расстояние. Если вы обнаружите, что расстояние зависит от положения головы, то попытайтесь объяснить, почему.

946—949.

5.6. «Призраки» в окнах с двойными рамами. Почему отдаленные предметы кажутся раздвоенными, если смотреть на них через окно с двойной рамой? В некоторых случаях, например при наблюдении через окно диспетчерской аэропорта, подобное раздвоение изображения не просто неприятно — оно может привести к весьма опасным ситуациям. Попробуйте, хотя бы ориентировочно, оценить угловое расстояние между истинным предметом и его «призраком». Как оно будет зависеть от времени суток и погодных условий?

953.

5.7. Горы-миражи. На земном шаре есть такие места, где перед наступлением вечера можно наблюдать горы, поднимающиеся над океанским горизонтом. Это действительно горы, только они

находятся так далеко, что их нельзя видеть в нормальных условиях. Но вот в этих таинственных местах вскоре после полудня на горизонте начинает возникать расплывчатый контур гор. Он постепенно растет и перед заходом солнца быстро становится резким, отчетливым, так что можно даже различить отдельные вершины. Как возникает этот мираж?

164, с. 469; 165, с. 164; 954, с. 61—64; 957—960; 118d.

5.8. Фата-моргана. Фата-моргана — красивейший из миражей; встречается он очень редко, но вот в Мессинском проливе, отделяющем Сицилию от Апеннинского полуострова, это обычное явление. Когда над теплой водой образуется слой холодного воздуха, над морем возникают волшебные замки, которые меняются, растут, исчезают. Легенда гласит, что эти замки — хрустальная обитель феи Морганы. Этот мираж объяснить значительно труднее, чем все другие, поскольку он обусловлен несколькими конкурирующими эффектами. Попробуйте и вы разгадать его загадку.

164, с. 474, 475; 954, с. 71—74; 955; 957; 958; 961; 118d.

5.9. Миражи в пустыне. Чем вызван «оазисный» мираж, который нередко возникает над раскаленными солнцем улицами и создает у нас впечатление, что на улице действительно есть вода. Почему миражи в пустыне часто являют взгляду утомленного



Рис. 5.9. Мираж. [С разрешения Дж. Харта, компания «Филд энтерпрайзис».]

путника образы пальм даже в таких местах, где этих деревьев заведомо не может быть. Изнуренному жаждой человеку, по-видимому, достаточно просто увидеть пальмы, чтобы убедить себя в том, что там его ждет вода (рис. 5.9).

Как сообщалось в одной статье в журнале *The New Yorker*, пеликан, оказавшийся над горячим асфальтовым шоссе на Среднем Западе США, едва не разбился, увидев перед собой такой «водяной мираж».

«Несчастливая птица летела, быть может, многие часы над сухой пшеничной стерней и неожиданно увидела нечто, показавшееся ей длинной черной неширокой, но настоящей рекой — в самом сердце прерии. Пеликан ринулся вниз, чтобы поплавать в прохладной воде, — и потерял сознание, ударившись об асфальт».

Действительно ли пеликан видел мираж?

165, с. 164, 165; 170; 219,

с. 295, 296; 533; 954, с. 65, 66; 955—957; 118д; 119д.

5.10. Мираж у стены. Миннарт [954] описывал мираж, который можно наблюдать у освещенной солнцем достаточно длинной (не менее 10 м) стены. Встаньте у стены на расстоянии вытянутой руки и смотрите на блестящий металлический предмет, который ваш приятель постепенно приближает к стене у другого ее конца (рис. 5.10). Когда предмет окажется на расстоянии нескольких сантиметров от стены, его контуры исказятся, и вы увидите его отражение на стене, как если бы она стала зеркальной. В очень жаркий день можно даже увидеть два изображения. Почему «за

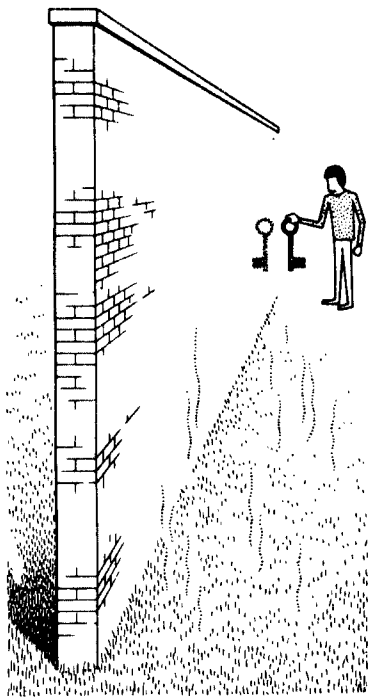


Рис. 5.10.

стеной» возникает изображение предмета?

954, с. 64, 65.

5.11. Верхний мираж. Существует еще один тип миража — так называемый «верхний мираж»¹, при котором возникает одно или несколько изображений предмета, как показано на рис. 5.11. Как объяснить это оптическое явление?

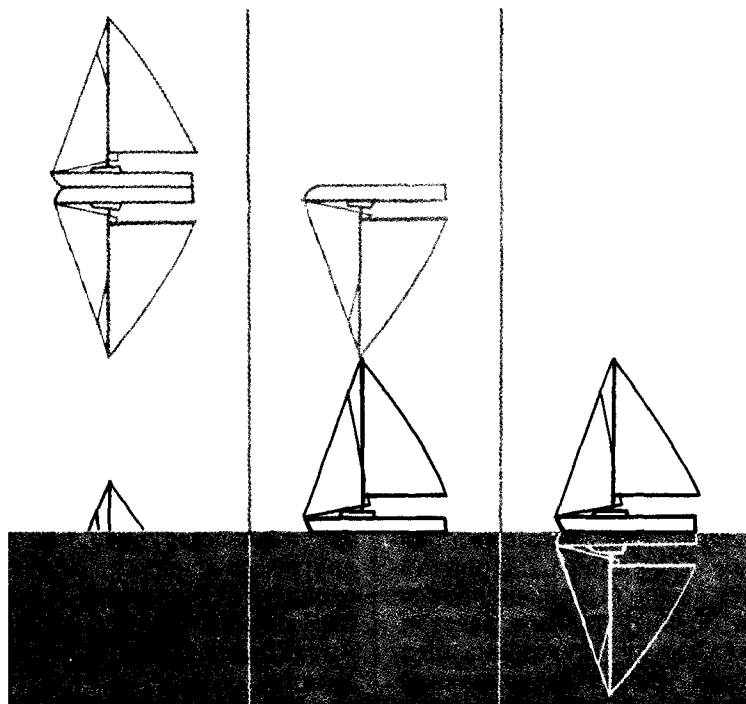


Рис. 5.11.

5.12. «Одностороннее» зеркало. Во многих детективных фильмах часто используются «односторонние» зеркала. Действительно ли сквозь них можно видеть в одном направлении, а в другом они отражают свет, как обычные зеркала? Попробуйте «устроить» такое стекло или зеркальное покрытие, которое

164, с. 470—473; 165, с. 164; 954; 955; 958.

¹ Верхние миражи часто возникают над морем, когда оно значительно холоднее воздуха. Иногда такие миражи можно видеть над замерзшими поверхностями при внезапной оттепели.— *Прим. ред.*

пропускало бы изображение только в одну сторону. Если это невозможно, то как же все-таки действуют «односторонние» зеркала¹?

984.

¹ Такие «односторонние» зеркала имеются в любой квартире. В яркий солнечный день через закры-

тое окно из комнаты хорошо видна улица. Увидеть же с улицы, что происходит в комнате, трудно; прохожий увидит лишь свое отражение в окне. И наоборот, вечером, когда на улице темно, а в комнате светло, с улицы легко увидеть внутренность комнаты; но рассмотреть улицу из комнаты можно, только приблизив лицо вплотную к стеклу.— *Прим. ред.*

5.13. Красная Луна. Почему во время лунного затмения Луна, когда она попадает в тень Земли, становится красной?

954; 983, с. 21, 22.

5.14. Мираж-призрак. О миражах рассказывается много любопытных историй. Например, такая.

«Жарким августовским днем женщина собирала цветы; земля была влажной... Внезапно в нескольких метрах от себя женщина увидела женскую фигуру; она была довольно массивной, но дрожала и покачивалась. Над влажной землей, где возникла фигура, поднимался редкий туман, возможно пар. Женщина, эта фигура и солнце как бы образовывали некое подобие треугольника. Взгляд таинственной «незнакомки» был обращен в сторону солнца, но не прямо на него.

Вначале женщина решила, что это галлюцинация, обман зрения; они стояли лицом друг к другу. Но тут женщина поняла, что это ее собственное изображение: как и у нее, в руке «незнакомки» был букет цветов. Женщина отвела руку с букетом в сторону, и «незнакомка» сделала то же. И платье, и цветы у нее были точно такими же,

как у женщины; краски выглядели совершенно натуральными. Женщина отчетливо различала все оттенки, цвет тела, как будто видела себя в зеркале» [962]. Совершенно потеряв присутствие духа, женщина бросилась вниз по крутому склону к своим друзьям, которые тоже видели эту фигуру.

Как вы объясните это странное явление?

962.

5.15. Отражения в двух зеркалах. Сколько своих отражений вы увидите, если встанете перед двумя стоящими под углом плоскими зеркалами, какие встречаются, например, в магазинах одежды¹ (рис. 5.15)? Как число изображений зависит от угла между зеркалами? Имеет ли значение, где именно вы стоите? Если да, то где нужно встать, чтобы увидеть максимальное число отражений? А что можно сказать о числе изображений, скажем, пакета, лежащего рядом с вами?

985—989; 1524; 120д, с. 7, 150—151; 121д.

¹ Если угол между зеркалами равен 90° , то одно из изображений оказывается перевернутым по сравнению с обычным изображением в плоском зеркале. Поэтому, когда вы, скажем, поднимаете правую руку, ваше изображение также поднимает правую руку, а не левую, как в обычном зеркале. Занятно наблюдать за человеком, пытающимся у таких зеркал (особенно если он не знает об их свойствах) причесаться или поправить одежду.

На свойстве поставленных под углом друг к другу зеркал «размножать» изображения основана широко распространенная игруш-

ка — калейдоскоп. Попробуйте самостоятельно построить теорию калейдоскопа и проверить ее на самодельном калейдоскопе, используя для него чистые стеклянные пластинки (под малыми углами они отражают свет не хуже обычных зеркал).— *Прим. ред.*

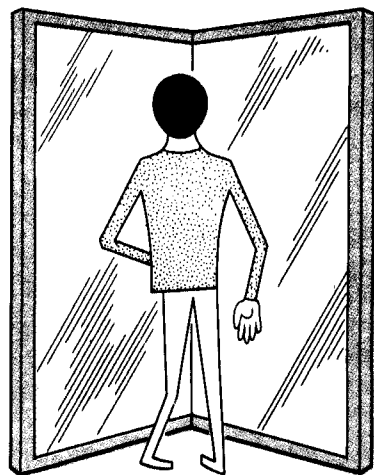


Рис. 5.15. Сколько своих отражений вы видите?

5.16. «Зеленый луч». Примерно в течение десятка секунд после того, как диск солнца полностью скроется за ровным, чистым горизонтом, вы можете наблюдать яркий зеленый луч, идущий от солнца. Почему это происходит? Возможно, это обман зрения, обусловленный, например, остаточным изображением солнца на сетчатке. Так и считалось довольно долго, пока не были получены фотографии «зеленого луча».

В высоких широтах «зеленый луч» виден более длительное время. «Участники экспедиции Бэрда к Южному полюсу, как сообщалось, наблюдали «зеленый луч» в течение примерно 35 мин, когда солнце, впервые появившееся в конце долгой полярной зимы, двигалось

почти точно вдоль линии горизонта» [978].

Ясный горизонт, какой бывает, например, на Тихом океане, безусловно способствует таким наблюдениям. «По сообщению контр-адмирала Кинделла, во время Окинавской кампании 1945 г. он и все моряки американского военного флота виде-

ли яркие «зеленые лучи» на заходе солнца почти каждый ясный день» [978].

Очень редко, наблюдается также «красный луч», который возникает, когда солнце выглядывает из-за облака.

164, с. 58—63; 165, с. 160; 362, с. 152, 153; 954, с. 79—84; 966—981; 1614.

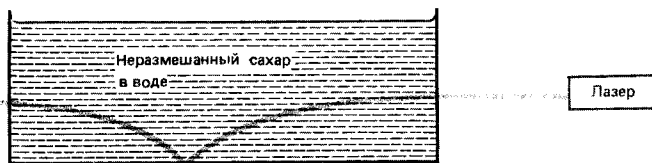


Рис. 5.17. Отклонение луча лазера в сахарном растворе. [Strouse W. M. Amer. J. Phys., 40, 913 (1972).]

5.17. Искривление лазерного луча. Если на сосуд с водой, в который брошено несколько кусочков сахара (без размешивания), упадет узкий луч света, например луч лазера, то он искривится вниз, а затем отразится от дна, как показано на рис. 5.17. Почему луч загибается вниз и почему он отражается? Почему, наконец, отраженный вверх луч снова искривляется?

963; 1551.

5.18. Сплющивание Солнца и Луны. Чем вызвано кажущееся сплющивание дисков Солнца и Луны, когда они находятся низко над горизонтом? Можете ли вы приблизительно оценить степень сплющивания?

164, с. 470; 219, с. 297, 298; 954, с. 74—78; 964; 965.

Отражение поляризация угол Брюстера

5.19. Голубая полоска на морском горизонте. Линия горизонта на море часто выглядит гораздо более синей или серой, чем само небо или море. В самом деле, если вы, стоя на пляже, посмотрите на линию горизонта, то вам может показаться, что кто-то специально отметил ее яркой синей ленточкой. Эта полоска, однако, сразу же исчезнет, если вы ляжете или, наоборот, подниметесь куда-то повыше.

Ключ к разгадке природы полоски на линии горизонта кроется в том, что свет от нее почти полностью линейно поляризован. Как же объяснить появление этой «ленточки» и возникающую поляризацию света?

954, с. 254—256; 1500.

5.20. Отражение объектов в море. Если смотреть на море чуть ниже линии горизонта, то в нем можно увидеть отражение объектов, находящихся под углом более 30° над горизонтом. Объекты же, расположенные под углом меньше 30° , не создают отражений. Почему? Если минимальный угол отражения определяется средним наклоном ската волны к горизонтальной плоскости, то этот наклон в таком случае должен бы составлять 15° . В действительности это не так. Как же объяснить описанные эффекты отражения?

954, с. 43—46; 990.

5.21. Луна «рисует» треугольники. Почему, когда луна отражается в море или в озере, на поверхности воды появляется светлый треугольник (рис. 5.21)? Чем

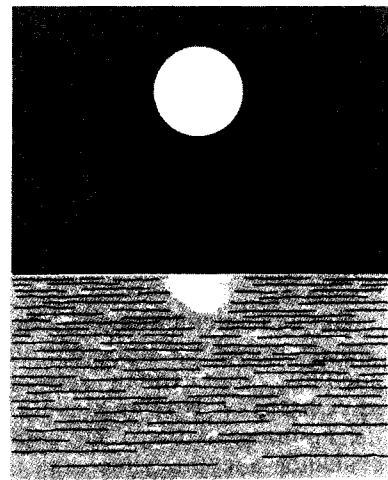
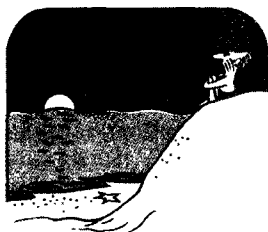


Рис. 5.21. Треугольник лунного света в воде и темный треугольник в небе. [С разрешения Дж. Харта, компания «Филд энтерпрайзис».]

определяются его форма и ширина? Почему на небе над этим участком воды наблюдается соответствующий темный треугольник?

399; 954, с. 43—46, 152—153; 991; 992, с. 74—80.



5.22. Глянцевая черная ткань. Почему одни ткани блестят, а другие — нет? Почему черный фетр с одной стороны выглядит глянцевым, а с другой — матовым, тусклым? Черные краски для стен бывают как глянцевые, так и матовые. Как черная поверхность может блестеть, если предмет черного цвета поглощает свет в видимом спектре?

253, с. 278, 279; 533, с. 35—38; 120д, с. 207—208; 122д.

Оптика маленького отверстия

5.23. Перевернутые тени. Прodelайте в плотной бумаге булавочное отверстие, укрепите ее на расстоянии порядка 10—15 см от одного глаза (другой глаз прикройте), а затем между отверстием и открытым глазом поместите тоненький гвоздик (рис. 5.23, а). Осторожно подвигайте его, пока в кружке

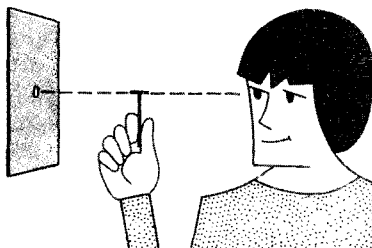


Рис. 5.23, а. Поместите небольшой гвоздик между глазом и отверстием в картонке.

гайте его, пока в кружке света от отверстия вы не увидите тень (рис. 5.23, б). Почему появляется это изображение и почему оно перевернуто по отношению к гвоздику?

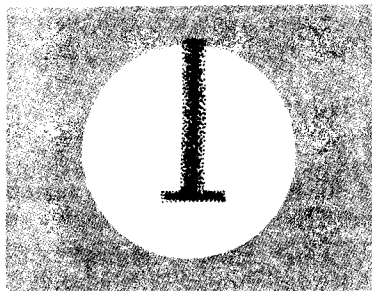


Рис. 5.23, б. Теневое изображение гвоздика на фоне отверстия.

дику? Почему кажется, что тень находится по другую сторону отверстия?

533; 993; 1582.

Геометрическая оптика дифракция абберации разрешающая способность фотометра

5.24. Камера-обскура. Простейший фотоаппарат (камера-обскура), который без труда может сделать каждый, имеет вместо объектива булавочное отверстие. Более того, у этого отверстия есть даже ряд явных преимуществ перед линзами: оно, например, не приводит к линейным искажениям и обеспечивает невероятную глубину резкости. Создает ли оно вообще какие-либо заметные искажения? В частности, порождает ли камера-обскура хроматические абберации? Каков оптимальный диаметр отверстия? Что будет, если он окажется больше или меньше оптимального?

994—998; 1501—1503; 1586; 533, с. 32—35; 90д, с. 77—94; 123д.

5.25. Тени листьев и солнечное затмение. Если во время солнечного затмения вы посмотрите на тени, которые отбрасывают листья дерева, то увидите на земле изображения солнечного диска, перекрытого земной тенью. Почему возникают эти изображения? Наблюдаются ли они всегда или только во время затмения?

360, с. 66, 67; 533; 999.

5.26. Нимбы. Как-нибудь утром, когда трава блестит от росы, посмотрите на тень своей головы на траве. Вы увидите вокруг тени яркий ореол, нимб. Каким образом роса создает такое сияние и почему им окружена не вся тень, а только тень головы? Играет ли в этом явлении какую-то роль сама трава, если не считать того, что на ней удерживаются капли росы? Как объяснить происхождение очень яркого нимба, который астронавты наблюдали на Луне? (Там он явно возникал не из-за росы на траве.)

164, с. 556; 165, с. 180; 360, с. 68; 362, с. 136, 137; 380; 954, с. 236—239; 983, гл. 2; 1000—1008.

5.27. Отражатели на велосипеде. Под каким бы углом ни падал свет на велосипедный отражатель¹ (катафот), он практически всегда отражается в направлении источника. Каким образом отражатель это «делает»? Обычное зеркало отражает, конечно, хорошо, но от него отраженный свет направляется обратно к источнику только в том случае, если падающие лучи перпендикулярны поверхности зеркала. Чем же отличается велосипедный отражатель от зеркала? Если на отражатель падает узкий пучок света, то насколько широким будет отраженный пучок?

170; 1011, 124d.

¹ Такие же отражатели стоят на автомобилях; они используются в дорожных знаках. Изготовленный во Франции катафот (уголковый

«световозвращатель») был установлен на советском самоходном аппарате «Луноход-1» и использовался для лазерной локации Луны.— *Прим. ред.*

5.28. Коричневые пятна на листьях. Известно, что в солнечный жаркий день деревья не следует поливать — капли воды оставляют на листьях коричневые пятна. Почему они возникают?

5.29. Лучи вокруг тени головы.

Я знаю...

Как выглядит ореол из лучей, подобных тончайшим центростремительным спицам, вокруг тени, упавшей от моей головы на воду, искрящуюся под солнцем...

Лучитесь, тончайшие спицы света, вокруг тени от моей головы иль от другой головы на освещенной солнцем воде!

Уолт Уитмен, «На Бруклинском перевозе», из книги «Листья травы» (перевод В. Левика)

Лучи света, о которых столь образно говорит поэт, возникают вокруг тени головы на слегка бурлящей воде. При гладкой или равномерно волнистой поверхности воды такие лучи не появляются. Почему?

954; 1009; 1010; 70d.

5.30. Кошачьи глаза в темноте. Почему глаза кошки светятся в темноте, если на них направить луч фонарика? Почему днем блеск кошачьих глаз значительно слабей? Зависит ли количество отра-

женного света от угла между направлением вашего взгляда и направлением луча света, падающего на глаз кошки? Почему глаза человека не вспыхивают так же ярко, если их осветить ночью?

954, с. 340; 983, с. 36; 1012, 122d.

5.31. «Светящийся дождь». Возможно, вам приходилось когда-нибудь видеть дождь, идущий вдалеке? Когда эта далекая стена дождя освещена прямым солнечным светом, можно заметить, что выше некоторой отчетливой горизонтальной линии дождь кажется гораздо более светлым, чем внизу. Как это можно объяснить?

1013.

5.32. Цвета радуги. Радугу обычно объясняют простым преломлением и отражением солнечных лучей в каплях дождя. Однако, поскольку диапазон углов падения лучей на поверхность капли довольно велик (рис. 5.32), казалось бы, лучи — пусть даже одного цвета — должны выходить из капли тоже под разными углами. Почему же тогда в радуге каждый цвет занимает совершенно определенное положение?

Кстати дает ли радуга такие же «чистые» цвета, как призма? Если радуга действительно обусловлена простым преломлением, то цвета в ней должны быть чистыми.

Почему в побочной радуге (которая иногда видна за основной) расположение цветов противоположно тому, что наблюдается в основ-

ной радуге? Почему так редко удается увидеть побочную радугу? И, кстати, почему вообще возникает одновременно не больше двух радуг? Если основная радуга соответствует однократному отражению лучей внутри капли, а побочная — двукратному, то почему не может быть радуги, обусловленной большим числом внутренних отражений?

Двойную радугу можно также наблюдать ночью при слабом дожде в луче прожектора. Когда луч перемещается по небу, радуги бегают по нему вверх-вниз, иногда исчезая на короткое время. Как объяснить такое перемещение радуги?

164, гл. 3; 165, с. 177; 380; 954; 983, гл. 3; 1014, гл. 13; 1015—1021; 1499; 1627—1631; 125д.

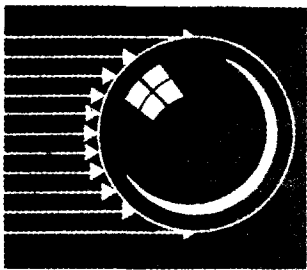


Рис. 5.32. Лучи света, падающие на водяную каплю.

5.33. Чистый красный цвет в радуге. Почему чистый красный цвет обнаруживается лишь в вертикальных участках радуги?¹ Чтобы это было заметным, солнце должно находиться относительно низко, потому что только в этом случае становятся видны вертикальные участки радуги; однако если

смотреть на радугу с высокой точки, то солнце может стоять и высоко.

954, с. 192; 1022.

¹ Даже самые, казалось бы, привычные явления окружающего мира порой предстают перед нами с какой-то новой и удивительной стороны. Фрэйзер [1022] отмечает, что до выхода в свет его статьи (1972 г.) никто не обращал внимания на то, что чистый красный цвет действительно встречается лишь в вертикальных участках радуги. Или другой пример: лишь в последние годы была сфотографирована инфракрасная радуга [1023, 1024] — так человеку впервые открылось явление природы, которое временами возникало в небе уже на протяжении миллионов лет.

5.34. Дополнительные дуги.

Иногда помимо основной радуги на небе можно наблюдать несколько розовых и зеленых дуг, расположенных снизу вплотную к ней. Очень редко такие же дуги видны и над побочной радугой. Почему они возникают? Не кажется ли их появление весьма удивительным, если придерживаться обычного упрощенного представления о природе радуги? Почему такие дуги не образуются между основной и побочной радугами?

164, с. 477, 483; 954, с. 187—189; 983, гл. 6; 1014, с. 241, 242; 1019—1021; 1025; 125д.

5.35. Темное небо между радугами. Почему участок неба между основной и побочной радугами бывает темнее, чем остальное небо?

164, с. 482, 483; 954, с. 190, 191; 983, с. 56; 1020.

5.36. Поляризация света в радуге. Поляризован ли свет радуги? Если да, то попытайтесь объяснить причину поляризации.

361, с. 8, 9; 954; 983, с. 59; 1014; 1020; 1630.

5.37. Лунная радуга. Лунные радуги очень редки. Почему? Может быть потому, что лунный свет много слабее солнечного, или здесь скрыта какая-то другая причина?

164, с. 476; 954, с. 199; 1020; 1026; 1027.

5.38. Расстояние до радуги.

Как далеко от нас образуется радуга, или, другими словами, на каком расстоянии находятся те капли воды, благодаря которым и возникает радуга? Может ли так случиться, что радуга возникнет всего лишь в нескольких метрах от нас?

Если посмотреть на радугу, которую создает струя воды из садового шланга, то иногда можно увидеть две пересекающиеся дуги (рис. 5.38). Почему они возникают?

164, с. 496; 954, с. 184, 185; 1020; 168д.



Рис. 5.38. Радуги в брызгах от садового шланга.

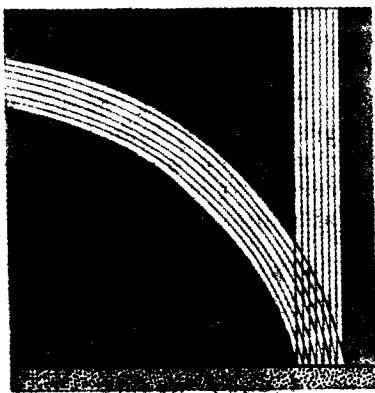


Рис. 5.39. Радужный столб, поднимающийся от основания радуги.

5.39. Радужный столб. Очень редко можно видеть, как от основания радуги поднимается светящийся столб (рис. 5.39). В работе [991] приводится фотография такого столба и говорится, что объяснить это явление пока не удалось. А как думаете вы, почему возникает такой столб?

991; 1028, табл. 24; 1029; 168д.

5.40. Отраженная радуга. Если вам когда-нибудь случится увидеть одновременно радугу и ее отражение в воде, обратите внимание, что они отличаются по форме и положению. Если на небе, пересеченном радугой, появится облако, то вы сможете наблюдать картину, подобную изображенной на рис. 5.40. Почему положение облака относительно радуги на небе и в отражении в воде различно?

164, с. 497—499; 165, с. 175; 954; 983, с. 68; 1020, с. 272—275

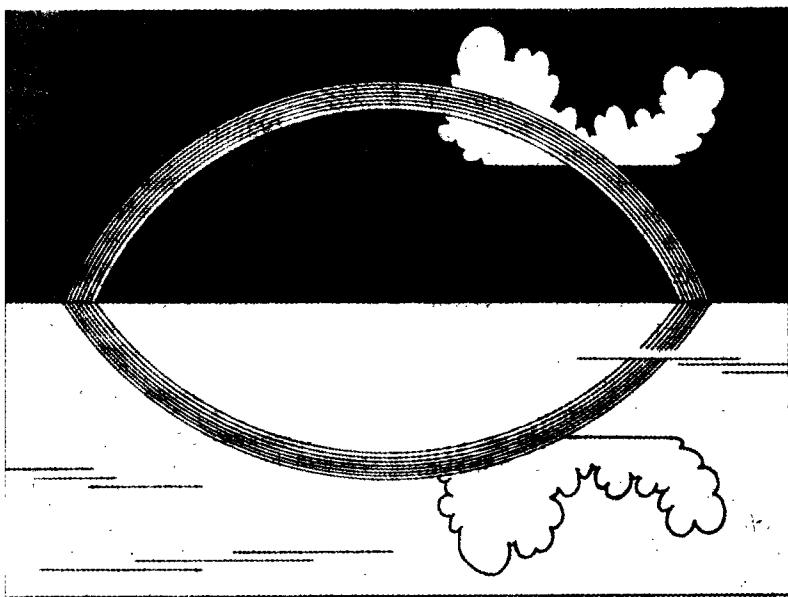


Рис. 5.40.

5.41. «Луговая» радуга. Почему возникают радуги на росистом лугу или на пруду с маслянистой поверхностью? Как объяснить их форму (рис. 5.41,а)? Почему радуги, возникающие в свете уличных фонарей, имеют совершенно особую форму (рис. 5.41,б)?

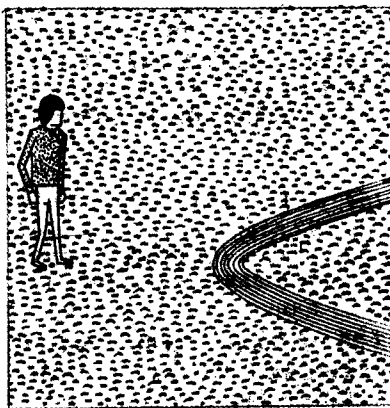


Рис. 5.41,а. Луговая радуга.

164, с. 499, 500; 165, с. 175, 176; 954, с. 194, 195, 197, 198; 1020; 1030; 1031; 168д.

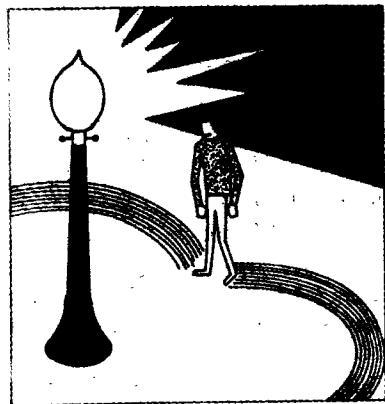


Рис. 5.41,б. Радуги, которые можно видеть ночью в свете уличных фонарей.

5.42. «Ложные солнца». Ложные солнца (паргелии) — это яркие подобиия Солнца, возникающие по

одну или по обе стороны от него. Обычно они находятся вне малого гало, если оно есть (см. рис. 5.43), и тем дальше от Солнца, чем выше оно над горизонтом. Однако, если Солнце поднимается выше 60° , ложные солнца исчезают. Почему появляются ложные «солнца» и почему расстояние между ними

и Солнцем и вообще их существование зависят от высоты светила? Почему «ложные солнца» более ярки, чем малое (22°) гало?

164, с. 510; 165, с. 169—171; 361, с. 24, 25; 362, с. 140; 380; 954, с. 204—206; 983, с. 70—73, 84; 991; 1044—1051; 126д.

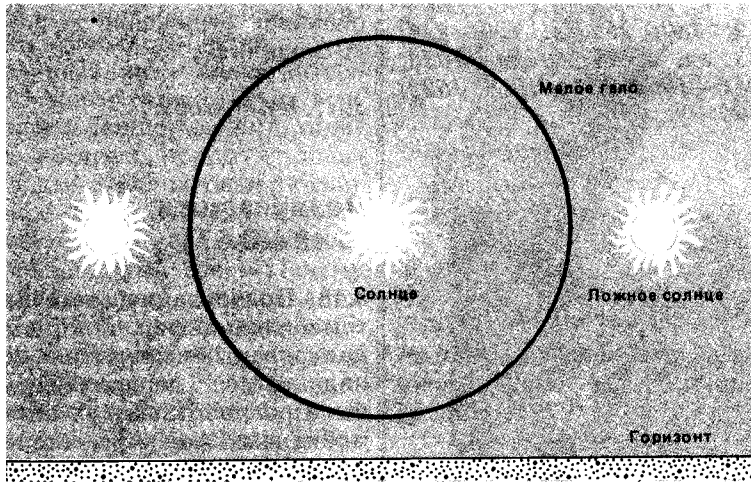


Рис. 5.43. Малое гало и ложные солнца.

5.43. Малое гало. Во многих местах земного шара вокруг Солнца или Луны часто наблюдаются гало. Малое гало находится от светила на угловом расстоянии в 22° (рис. 5.43), внутри оно окрашено красным, а снаружи — белым или синим. Если не считать короны, вплотную окружающей Солнце или Луну, небо внутри гало темное. Нет сомнения, что гало обусловлено рассеянием света в атмосфере. Но каким образом рассеяние может дать такую симметричную картину? Можно ли, например, предположить, что гало образуется вследствие рассеяния света частицами пы-

ли в верхних слоях атмосферы? Почему небо внутри малого гало темное?

Почему гало обычно считают предвестником скорого дождя? Верна ли эта примета?

164, с. 512, 513; 165, с. 169—174; 219, с. 298, 299; 360, с. 78, 79; 361, с. 24, 25; 362, с. 140—143; 954, с. 199—204; 983, гл. 4; 991; 1033—1050; 1610; 126д, 168д.

5.44. «Туманная» радуга. Почему радуги, образующиеся в тумане, представляют собой белесые полосы, оранжевые снаружи и голубые

изнутри? Почему они примерно вдвое шире обычной радуги?

Может ли «туманная» радуга возникнуть в свете уличного фонаря? Если да, то чем она будет отличаться от «туманной» радуги, созданной солнечным светом?

165, с. 175; 380; 954, с. 193, 194; 1020; 1030; 1032; 1628.

5.45. Светящиеся столбы. Довольно часто перед закатом и на рассвете можно наблюдать светящиеся столбы, которые образуются выше и ниже Солнца (рис. 5.45). Эти столбы очень красивы, они бывают белыми, бледно-желтыми, оранжевыми, розовыми. При некоторых условиях подобные столбы создают даже уличные фонари. Почему возникают светящиеся столбы?

164, с. 543, 544; 165, с. 169, 172; 361, с. 32, 33; 362, с. 148, 149; 954; 983, с. 135; 1028, табл. 23, с. 245; 1033; 1035; 1065; 1066; 1504.

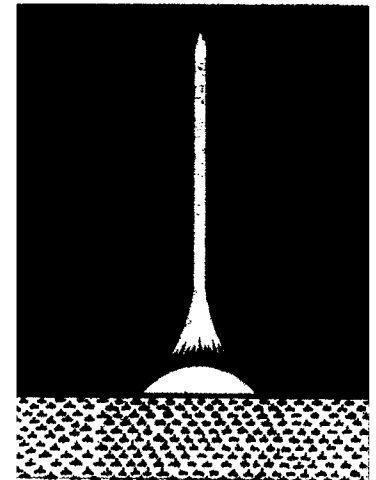


Рис. 5.45.

5.46. Другие типы гало. Если бы на небе одновременно появились все возможные гало и дуги, то это было бы потрясающее зрелище¹ (рис. 5.46). Обычно, однако, можно увидеть лишь несколько из них. Более того, некоторые гало настолько редки, что само их существование до сих пор оспаривается. Дугу Ловитца, например, удалось объяснить

¹ 18 июля 1794 г. такое явление наблюдалось в Петербурге. — Прим. перев.

лишь недавно [1058]. Иные гало невероятно сильно изменяют свою форму с изменением высоты Солнца над горизонтом, так что, заметив их, постарайтесь понаблюдать их как можно дольше, время от времени делая зарисовки. Попробуйте объяснить те гало, которые вам посчастливится увидеть.

164, гл. 4, 5; 165, с. 169—174; 361, с. 28, 29; 362, с. 140—149; 380; 954, с. 199—214; 983, гл. 4; 991; 1034—1038; 1044—1064; 1514; 1516; 1622; 126д.

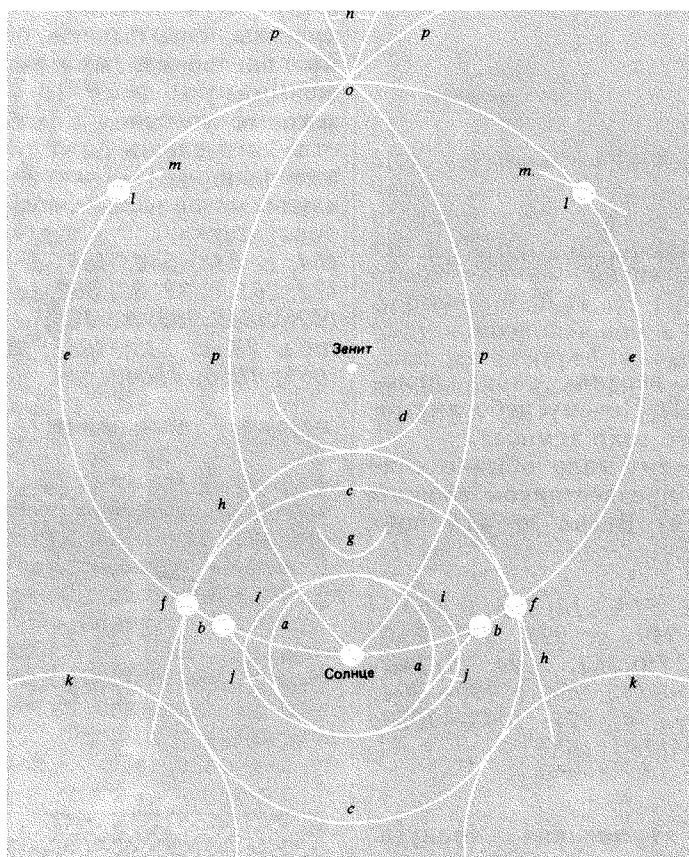


Рис. 5.46. Некоторые дуги, гало и ложные солнца, которые можно наблюдать в небе (конечно, не все одновременно).

Электрическое поле отражение

5.47. Коронная вспышка. Сразу вслед за молнией в грозовом облаке нередко возникает яркое сияние, которое струится вверх и вырывается наружу из верхушки облака; это так называемая «коронная вспышка». Представляет ли она собой какой-то необычный тип электрического разряда или это просто своеобразное отражение вспышки молнии?

301; 1067—1069.

Поляризация (5.48—5.57)

5.48. Поляризация света автомобильных фар. Листовые поляроидные покрытия из пластмассы первоначально были разработаны для автомобильных фар — их ставили, чтобы не слепить водителей встречных автомобилей. Каким образом это достигалось и как лучше всего следовало ориентировать такой поляриод? Учтите, что встречная машина должна все-таки оставаться видимой, так что свет частично должен проходить через покрытие. Имеет ли при этом какое-то значение наклон ветрового стекла? Можно ли добиться аналогичного результата, надев очки с поляризационными стеклами?

1070, с. 111—114; 1071—1074, 1071—1074.

5.49. Поляроидные очки и блики. Почему очки с поляризационными стеклами уменьшают блики? (Обыч-

ные солнечные очки просто уменьшают количество света, попадающего в глаза, но не устраняют бликов.) В каком случае поляроидные очки могут улучшить способность рыболова видеть под водой?

170, с. 403; 1070, с. 100—102.

5.50. Поляризация небесного света. Почему свет ясного неба поляризован? Где находится область наибольшей поляризации? Попробуйте проверить свои ответы, воспользовавшись очками, стекла которых покрыты поляроидом. Поляризован ли свет от облаков? Почему некоторые участки неба дают неполяризованный свет? Почему направление поляризации света в ряде участков неба перпендикулярно тому, что предсказывает общепринятая теория? Попробуйте с помощью поляроидных очков обнаружить на небе «неполяризованные» участки и участки с «аномальной» поляризацией.

164, с. 571—575; 165, с. 194—204; 170, с. 369—370; 360, с. 62, 63; 362, с. 152, 153; 446, с. 43—45; 533, с. 150—153; 954; 1070, с. 98, 99; 1075, с. 12—17; 1076—1079.

5.51. Цветные морозные узоры. Как-нибудь утром после морозной ночи приглядитесь к тонким, прозрачным морозным узорам на окне, выходящем на солнечную сторону. Если узоры уже начали подтаивать и на подоконнике образовалась лужица, попытайтесь увидеть в ней отражения этих узоров (рис. 5.51). Вы обнаружите, что

они окаймлены цветными полосками. Почему отражения оказываются цветными?

1080.

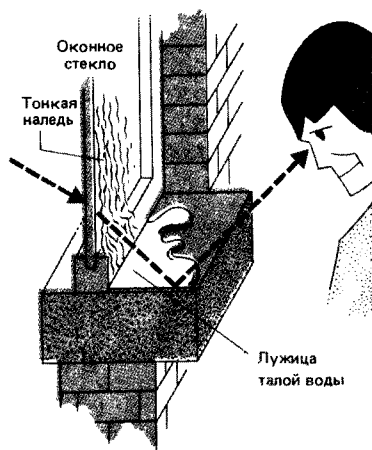


Рис. 5.51. Наблюдение морозных узоров. [Cornford S. G. *Weather* 23, 39 (1968).]

5.52. Целлофан между двумя поляроидами. Луч света не проходит через два скрещенных поляроида. Но если между ними поместить листок чистого целлофана, то свет частично пройдет сквозь поляроиды, причем количество прошедшего света будет зависеть от ориентации листка целлофана.

Если же вместо целлофана взять тонкую полиэтиленовую пленку, то свет будет проходить через скрещенные поляроиды очень слабо. Однако если пленку растянуть, то можно добиться довольно большого пропускания¹. В

¹ Множество оптических опытов с целлофановыми листочками, клейкой лентой и т. п. описано в замечательной книге Крауфорда [170].

чем принципиальное различие между целлофаном и нерастянутой пленкой и чем можно объяснить разницу в пропускании ими света? Как растягивание меняет оптические свойства пленки?

170, с. 378; 360, с. 14—16; 1077; 1078; 1081; 1082, с. 79—93; 1270.

5.53. «Пятна» на заднем стекле автомобиля. Если вы надеваете поляроидные солнечные очки, когда водите автомобиль, то вам, наверное, приходилось замечать большие пятна, обычно располагающиеся симметричным узором, на задних стеклах идущих впереди машин. Что представляют собой эти пятна и почему их можно видеть лишь в поляроидных очках? Окрашены ли эти пятна?

360, с. 14—16.

5.54. Оптическая активность кукурузного сиропа «Каро». Хотя вам, наверное, и приходилось лакомиться сиропом «Каро»¹, вы скорее всего незнакомы с самым замечательным его свойством — оптической активностью. Попробуйте проделать такой опыт: поместите стакан с сиропом «Каро» между двумя поляроидами (например, от поляроидных очков). С одной стороны стакана поставьте источник белого света и посмотрите на него сквозь сироп (рис. 5.54). Откуда берутся те удивительные цвета,

¹ Аналогичный сироп (во всяком случае с такими же оптическими свойствами) продается у нас под названием «Золотой улей». — Прим. перев.

которые вы видите? Поворачивая один из поляроидов (при неизменной ориентации второго), определите поляризацию выходящего из сиропа цвета. Таким образом вы сможете определить изменение направления поляризации света, прошедшего сквозь сироп. Проведая такие опыты с слоями сиропа различной толщины, вы увидите, что изменение направления поляризации зависит

от того, какой путь проходит свет внутри сиропа. Почему? На какой угол и как — по часовой стрелке или против — поворачивается плоскость поляризации света при прохождении сантиметрового слоя сиропа? Почему поворот происходит именно в том, а не в ином направлении?

155, с. 425; 170, с. 381—383; 447; 533; 1070, с. 115—118; 1082; с. 136—144; 1083; 1084.

том, такой камень, вне всяких сомнений, служил викингам большим подспорьем в навигации.

Почему пропускаемый кристаллом свет зависит от направления поляризации падающего света? Действительно ли таким кристаллом можно воспользоваться для обнаружения Солнца, когда оно скрыто облаками или находится за горизонтом?

170, с. 402—403, 127д.

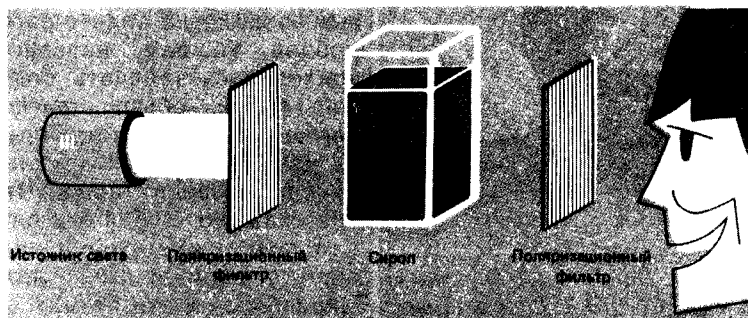


Рис. 5.54. Опыт по изучению поворота плоскости поляризации света в сахарном сиропе.

5.55. Животные ориентируются по поляризованному свету. Пчелы, муравьи и некоторые другие насекомые используют поляризацию света неба (см. задачу 5.50), чтобы ориентироваться в пространстве. Как им удается определять угол поляризации света и как они используют эту свою способность при перемещении в пространстве?

332, т. 1; 1070, с. 98; 1085, гл. 13; 1086—1089; 1557; 1584.

5.56. Волшебный солнечный камень. Дихроичные кристаллы меняют свой цвет, когда их освещают светом

различной поляризации. При одном направлении поляризации кристалл оказывается прозрачным, слегка желтоватым, если же направление поляризации изменить на 90° , то он становится темносиним.

Предполагают, что викинги использовали дихроичные кристаллы кордерита, чтобы определять положение Солнца, когда его нельзя было видеть непосредственно. По крайней мере, предания утверждают, что они владели волшебным «солнечным камнем», с помощью которого могли находить Солнце за облаками и даже за горизонтом. Поскольку в высоких широтах Солнце даже в полдень может быть за горизон-

5.57. Гейдингеровы щетки.

Вы, вероятно, и не подозреваете, что поляризацию света можно определить невооруженным глазом. Глядя на яркий свет через поляроид (например, через поляроидные солнечные очки), вы на мгновение можете увидеть похожую на песочные часы желтую фигуру, справа и слева окруженную голубой дымкой (рис. 5.57). Вы сможете лучше различить эту фигуру, если резко повернете поляроид в его плоскости. Эта фигура называется «щеткой Гейдингера»: ее удается наблюдать благодаря тому, что свет, прошедший через поляроид, линейно поляризован. Но какая именно часть глаза чувствительна к направлению поляризации? Почему возникает именно такое изображение? Как зависит ориентация «песочных часов» от направления поляризации? Почему через несколько секунд изображение исчезает? Я вполне отчетливо видел эту «щетку» без поляризационного фильтра в частично поляризованном свете неба. Некоторые люди видят эту фигуру столь явственно, что это вызывает у них раздражение.

Невооруженным глазом можно определить также направление круговой поляризации света: при левом вращении плоскости поляризации желтая «щетка» наклонена под углом примерно 45° вправо, а при правом вращении — под таким же углом влево. Почему?

954, с. 256—258; 1070, с. 95—97; 1090, с. 300—304; 1091, т. 2, с. 304—307; 1092—1094; 1621.

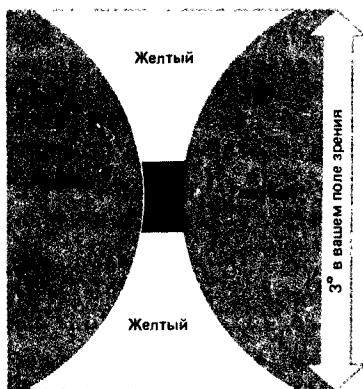


Рис. 5.57.

Рассеяние света (5.58—5.90)

Рассеяние Рэля и Ми дифракция дисперсия

5.58. Цвет заката. Все мы мало обращаем внимания на закаты. Физики в основном склонны объяснять чудесное многообразие цветовых эффектов сумеречного неба рэлеевским рассеянием. А что вы думаете по этому поводу? При заходе солнца небо на западе вначале приобретает желтый или оранжевый оттенок. Далее, когда солнце становится огненно-красным, свечение западной части не-

ба меняется от желто-оранжевого (над линией горизонта) до ярко-зеленого. Наконец (примерно до высоты 25° над горизонтом) небо окрашивается в розовый цвет — появляется «пурпурный луч», о котором мы будем говорить ниже. Особенно ярким небо в сумерки бывает вскоре после больших извержений вулканов. Чем обусловлено такое усиление цвета?

164, с. 566, 567; 165, с. 184; 380; 954, гл. 11; 983, с. 234—244; 1075; 1102—1109; 1526; 128д; 177д.

5.59. Голубое небо. Вопрос «почему небо голубое?» смело можно отнести к разряду самых стандартных физических вопросов. Физики обычно отмахиваются от него, бормоча что-то насчет рэлеевского рассеяния. Но этот вопрос несомненно заслуживает большего внимания. Какая, к примеру, часть неба окрашена в наиболее яркий голубой цвет; почему не все небо имеет одинаковый оттенок? Действительно ли цвет дневного неба соответствует предсказываемому теорией Рэля? Почему ночное небо при полной луне не бывает голубым? На чем рассеивается солнечный свет, создавая голубую окраску дневного неба? Было ли бы небо столь же голубым, если бы частицы, на которых происходит рассеяние, имели бы много большие или много меньшие размеры? Почему, наконец, небо на Марсе голубое только в пределах нескольких градусов над горизонтом, остальная же его часть черная?

164, гл. 7; 165, с. 192; 170, с. 339, 340; 466, с. 35; 954; 983, гл. 9; 1075, с. 10; 1079; 1098—1102; 1505; 1526; 128д; 30д, с. 67—73; 134д, с. 575—600.

5.60. «Пурпурный луч» в сумерках. Почему, когда солнце скрывается за горизонтом, в западной части неба возникает «пурпурный луч» (хотя обычно он скорее розовый, чем пурпурный) (рис. 5.60)? Этот луч бывает особенно ярким через 15—40 мин после захода солнца.

А как объяснить второй «пурпурный луч», который иногда можно видеть на протяжении около двух часов после захода солнца, после того, как первый уже исчез? Каким образом солнце, скрывшееся более часа назад за горизонтом, все еще продолжает освещать небо?

164, с. 567; 165, с. 184—192; 954; 1075; 1102; 1104; 1110.

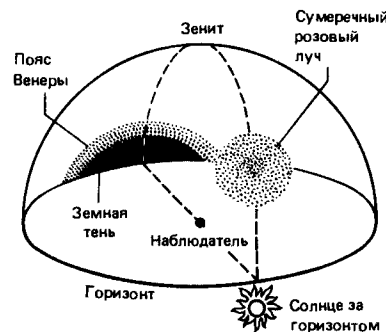


Рис. 5.60. Оптические явления на закате солнца. [Neuberger H. Introduction to Physical Meteorology. — Penn. St. Univ.]

5.61. Усиление голубизны зенита. Не кажется ли вам странным, что во время захода солнца небо в зените становится темно-синим (см. рис. 5.60)? Не должен ли зенит быть красным по той же самой причине, что и закат?

466, с. 207, 208; 1075, гл. 4; 1102.

5.62. «Пояс Венеры». Чем объясняется розовая полоска («пояс Венеры»), поднимающаяся в вечерние сумерки на востоке (см. рис. 5.60), которой окаймлена земная тень?

164, с. 566; 165, с. 184; 954, с. 270; 1075.

5.63. Зеленые уличные фонари и красные рождественские елки. Пролетая на самолете над городом, вы, наверное, замечали, что многие улицы освещены зелеными огнями. Когда же вы проезжаете по этим улицам на автомобиле, то уличные фонари оказываются не зелеными, а белыми. Откуда появляется эта разница в цвете? Почему издаleка рождественская елка кажется красной, хотя освещена она огоньками разного цвета?

1111, с. 172, 173; 1112.

5.64. Яркость дневного неба. Почему днем небо яркое? Можете ли вы примерно оценить его яркость?

164, с. 563—565; 170; 466, с. 35; 954; 1075; 1100, с. 33.

Зрение

5.65. Желтые очки для лыжников. Хотя лыжники надевают желтые очки главным образом из-за моды, они часто утверждают, что в таких очках лучше видно в туманной дымке, что они помогают различать небольшие снежные кочки на пути. В этом утверждении, вероятно, есть доля истины, поскольку знаменитый полярный исследователь Стефанссон тоже рекомендовал надевать очки со стеклами янтарного цвета во время путешествий по снежным и ледовым равнинам. Чем могут помочь желтые очки? Быть может, желтый цвет преобладает в свете, отраженном от снега в туманный день?

354; 1113.

5.66. Можно ли звезды увидеть днем? Со времен Аристотеля считается, что звезды можно увидеть и днем, если посмотреть на небо через длинную трубу, например печную. Труба уменьшает общее количество света, попадающего в глаз, и поэтому якобы позволяет различить звезды на том небольшом кусочке неба, который виден в трубу; этому может также способствовать частичная адаптация глаза к малой освещенности. Действительно ли такой способ позволяет видеть звезды днем? Попробуйте подкрепить свою точку зрения расчетами и проверить ее на опыте.

1114; 1115, 140д.

**Отражение
поглощение
рассеяние**

5.67. Цвет озер и океанов. Какого цвета чистое, прозрачное горное озеро? Зависит ли его цвет от облачности? Как влияют на цвет характер дна и глубина озера? Чем объясняется различие в цвете разных озер? Каков цвет морской воды у берегов и в открытом море? В какие цвета «окрашены» морские волны?

Плавая на глубоком месте, протяните вперед руку, держа ладонь горизонтально, и присмотритесь к ней. Вы заметите, что тыльная сторона руки отличается по цвету от ладони. Чем объясняется это различие?

360, с. 17—19; 380; 466, с. 201—203; 954, с. 304—321; 992, гл. 13; 1116—1118, 129д.

**Поглощение
пропускание
рассеяние**

5.68. Цвет неба, затянутого облаками. Если вам когда-нибудь приходилось жить в деревне, вы, возможно, заметили, что цвет неба, затянутого облаками, существенно зависит от сезона. Некоторые люди утверждают, что летом облачное небо чуть зеленее, чем зимой. Казалось бы, нетрудно догадаться о причинах такого изменения цвета, однако не спешите с ответом и подумайте, верна ли ваша догадка.

954, с. 299—304; 1119.

5.69. Наблюдение темной части лунного диска. Сразу после захода солнца, когда на горизонте узким серпом поднимается молодой месяц, вы можете увидеть и «темную» часть лунного диска. Почему это возможно?

466, с. 199; 954, с. 293, 294; 280, с. 208—211.

5.70. Белые облака. Почему облака в основном белые, а не голубые, как небо? Почему грозовые тучи черные?

322, т. I; 954, с. 299, 300; 1123; 1124.

5.71. Рассеяние солнечного света в облаках. Почему вода, сконденсированная в облаках, гораздо сильнее рассеивает солнечный свет, чем та же вода, присутствующая в атмосфере в виде чистого водяного пара? Кажется бы, раз число молекул воды остается прежним, то и степень рассеяния света не должна изменяться. Что вы думаете по этому поводу?

322, т. I; 1123; 1300.

5.72. Карты на небе. Над ледовыми равнинами крайнего Севера под низкими облаками иногда возникают как бы «карты» окружающей местности. Эти «облачные карты» помогают жителям Севера находить дорогу в разводяях, когда они плывут на своих лодчонках, или ориентироваться на бескрайних ледовых просторах, когда они едут на санях (рис. 5.72).

«Если горизонт не затянут

облаками, а порой и при абсолютно облачном небе, при приближении к паковому льду, ледяному полю или другой плотной ледовой массе, можно наблюдать феномен «облачной карты». «Облачная карта» — это слой прозрачной белизны, возникающий над льдом в атмосфере вблизи горизонта... Когда это происходит при особенно благоприятных обстоятельствах, взгляду открывается точная и прекрасная картина льдов, простирающаяся на 20—30 миль за пределы прямой видимости; если же атмосфера плотна и туманна, то это расстояние несколько меньше. «Облачная карта» не только показывает распо-

ложение льдов, но и позволяет опытному наблюдателю определить, ровна ли поверхность льда или покрыта торосами; если же это паковый лед — то плотен он или испещрен разводяями. Гладкая ледовая равнина дает наиболее прозрачный отблеск с легким желтоватым оттенком, отблеск пакового льда значительно белее, а отблеск ледовых торосов имеет сероватый оттенок. Земля, поскольку она покрыта снегом, дает более желтоватый оттенок, чем гладкий лед» [1120]. Как можно объяснить происхождение этих «облачных карт»?

1075, с. 8; 1113; 1120—1122.

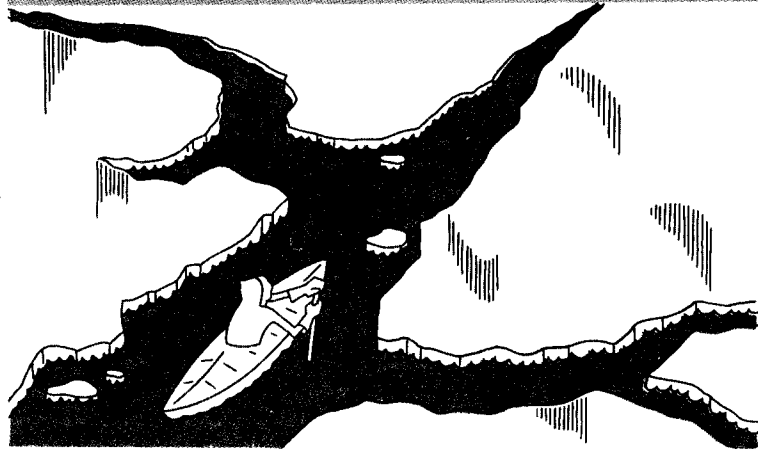
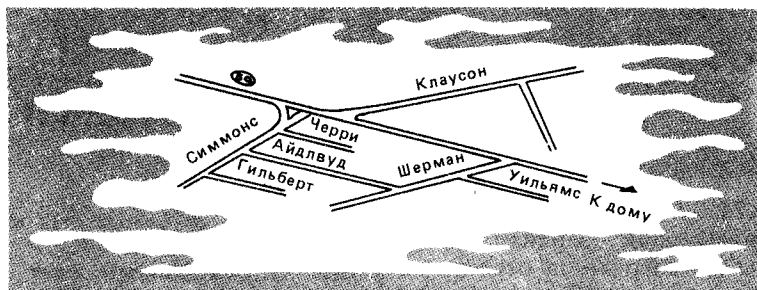


Рис. 5.72. В ледовых разводяях северных морей люди ориентируются по «облачной карте».

5.73. Перламутровые облака. Облака не всегда бывают белые или темные. Иногда на небе возникают перламутровые, или жемчужные, облака, имеющие очень красивые, нежные тона. Такие облака очень редки и наблюдаются лишь в высоких широтах. После захода солнца они порой бывают настолько яркими, что свет от них окрашивает лежащий на земле снег. Каковы особенности этих облаков и что придает им такую окраску? Не обусловлена ли она каким-то особым размером частиц, образующих эти облака? Почему перламутровые облака встречаются как правило, в высоких широтах и находятся на высоте 20—30 км?

361, с. 20—21; 28—29; 362, с. 74, 75; 536; 954, с. 233—236; 1124—1129; 126д.

Интерференция

5.74. Радужные кольца в запыленном зеркале. Если вы посмотрите на отражение в запыленном зеркале небольшой лампочки (она должна находиться прямо перед вами), то увидите, что это отражение окружено радужной каемкой. В чистом зеркале такая каемка не возникает — зеркало обязательно должно быть пыльным или слегка загрязненным¹. Почему появляется каемка? Сколько в ней полосок каждого цвета? Почему зер-

¹ Эти опыты очень хорошо проводятся с зеркалом, по поверхности которого предварительно покатали шарик из пластилина, и обычным фонариком. — *Прим. ред.*

кало непременно должно быть пыльным или грязным?

1130; 1131.

Освещенность рассеяние интенсивность

5.75. Луч прожектора. Почему лучи прожекторов (тех,

которые применяли во время второй мировой войны для обнаружения вражеских самолетов, а теперь используют для рекламы) так резко обрываются в воздухе (рис. 5.75)? Не должен ли луч слабеть постепенно?

954; 1147.

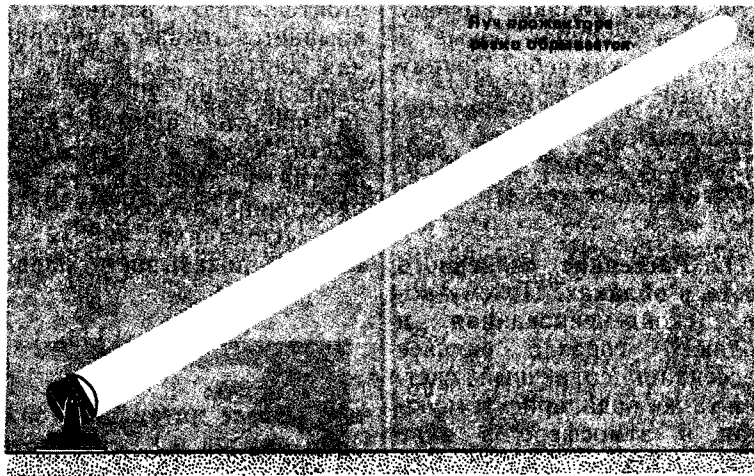


Рис. 5.75.

5.76. Зодиакальный свет и противосияние. Когда вам случится безлунной ночью оказаться вдали от городских огней, попытайтесь найти в небе зодиакальный свет и противосияние. Зодиакальный свет — это туманный треугольник, который можно наблюдать на западе в течение нескольких часов после захода солнца или на востоке — перед его восходом. Треугольник этот почти так же ярк, как Млечный Путь, и ориентирован вдоль плоскости эклиптики. Противосияние — это довольно слабое свечение, возникающее в той части неба, кото-

рая противоположна местонахождению солнца. Чем объяснить такие свечения в ночном небе?

954, с. 289—292; 1143—1146.

Отражение

5.77. Полоски света на ветровом стекле. Когда ночью в дождь вы едете на автомобиле, то на ветровом стекле можете увидеть полоски света, которые создают уличные огни (рис. 5.77). Каждая полоска кажется проходящей через источник света, причем чем меньше источник

(например, уличный фонарь), тем отчетливей полоска. При движении автомобиля полоска тоже движется. Однако если вы вый-

дете из машины или посмотрите на стекло другого автомобиля, то полоски «исчезнут». Почему возникают такие полоски? Наблюдаются

ли они так же отчетливо без дождя?

954, с. 25, 58; 1148.

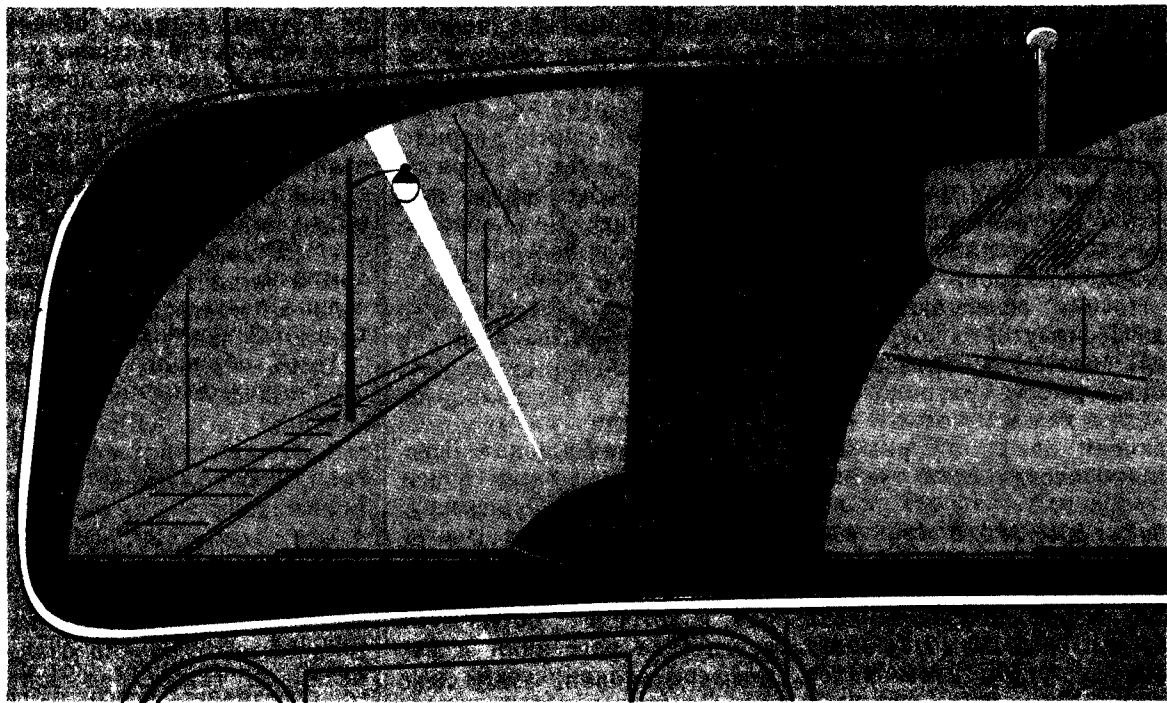
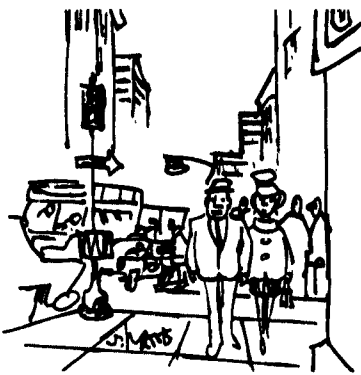


Рис. 5.77. Полоска света на ветровом стекле.

5.78. Цвет городской дымки.

Если вы живете в большом городе, то ваша жизнь в основном проходит «во мгле». Почему дымка, витающая над городом, имеет коричневый оттенок? Не связано ли это с каким-то избирательным поглощением света? Если так, то что именно поглощает свет? Может быть, дымка образуется в результате рассеяния света? Или же появление дымки обусловлено тем, и другим фактором?

1112; 1163; 1164; 130д.



«В природе нет совершенства. Вчера воздух был не так прозрачен, зато ароматы были куда лучше».

5.79. Глория. Если вы встанете на горе спиной к солнцу и посмотрите в расстилающийся перед вами густой туман, то увидите радужную каемку вокруг тени вашей головы. Эти цветные полоски могут даже иметь форму замкнутых колец. Они называются ореолом (а также антикоронной или Брокенским призраком). Когда видишь это прекрасное «священное» сияние, окружающее твою голову (но не голову спутника), на мгновение ощущаешь себя божеством. Как объяснить такое удивительное явление?

Современный человек часто может наблюдать подобные ореолы с самолета. Когда вам придется лететь на самолете, сядьте с противоположной солнцу стороны и постарайтесь увидеть ореол вокруг тени самолета на простирающихся под ним облаках. Мне как-то посчастливилось заметить такой ореол, состоящий из трех полных спектров. Вообще же удавалось наблюдать и фотографировать ореолы, содержащие до пяти полных спектров.

Почему возникают ореолы? Почему ореол окружает тень головы? В какой последовательности расположены цвета в каждом кольце? Как зависит ореол от размера частиц, «создающих» туман?

164, с. 555; 165, с. 180—184; 360, с. 68—70; 361, с. 4, 5; 362, с. 138, 139; 380; 536; 954, с. 231, 232, 259—261; 983, гл. 7; 1016; 1017; 1019; 1028, с. 130; 1149—1156; 1499; 1626.

5.80. Венцы. Почему Солнце и Луна порой бывают окружены яркой полоской — венцом? Обычно венец — это просто белая полоска вокруг светила; однако иногда за белой полоской следует голубая, потом зеленая и красная. Если вам повезет, то вы сможете увидеть даже два таких спектра. Чем вызвано это свечение? Почему венец не всегда бывает многоцветным? Чем определяется ширина венца? Можно ли предсказать расположение цветов в венце?

164, с. 547; 165, с. 178; 360, с. 78, 79; 536; 954; 983, гл. 5.

5.81. Венец на морозном стекле. Проходя холодной зимней ночью мимо замерзшей витрины магазина, можно заметить, что огни внутри магазина окружены цветными кольцами. На первый взгляд эти цветные полосы не отличаются от солнечного или лунного венцов. Однако в отличие от тех венцы, которые мы видим в витрине магазина, имеют черный цвет. Чем обусловлено такое различие? Чем вообще объясняется появление цветных колец?

954, с. 226—228; 983, с. 157.

5.82. «Кольцо Бишопа». Другой тип венца (этот венец гораздо больше по размеру, его угловой радиус достигает 15°) — белое и красно-коричневое «кольцо Бишопа», которое образуется вследствие рассеяния в атмосфере вулканической пыли. После некоторых извержений вулканов солнце в сумерки окрашивается в прекрасные золотые тона; сумеречное небо обретает невероятное богатство красок; тогда же на небе появляется второй (см. задачу 5.60) «пурпурный луч», который сохраняется в течение нескольких часов после захода солнца. Каков размер атмосферных частиц, обуславливающих такой красно-коричневый цвет. Будет ли «кольцо Бишопа» окрашено, если размеры частиц колеблются в широких пределах?

164, с. 555; 165, с. 178; 191; 536; 954; 983, с. 167, 243; 1104—1108; 1109, с. 430—434, 441; 1110.

5.83. Венцы вокруг уличных фонарей. Во время ночной прогулки вас может поразить радужный ореол вокруг уличных фонарей. Одинаковы ли происхождения этого явления, венцов вокруг солнца и луны, а также венцов, наблюдаемых в витрине магазина? Существует простой способ проверить, есть ли между ними хоть какое-то отличие. Останутся ли венцы в каждом из трех случаев, если закрыть чем-нибудь свет от уличного фонаря, лампочки в витрине или солнца и луны? Если какой-то из них исчезнет, то попытайтесь объяснить, чем он отличается от венцов других видов.

954; 1091, с. 224, 225; 1157; 1158.

5.84. «Синяя луна». Моя бабушка родом из маленького городка Алидо в штате Техас, «население» которого составляет всего около 100 человек, кур и собак. По выражению бабушки, праздник проходит в Алидо лишь «на синюю луну». Как часто бывает «синяя луна»? И вообще почему бы луне не быть синей? А может ли стать синим солнце? Могут ли солнце или луна быть зелеными?

536; 954; 983, с. 242; 991; 1014, с. 421—423; 1101; 1159—1162.

¹ Явление это настолько редкое, что вошло в английскую поговорку «Однажды при синей луне» (нечто близкое, но не тождественное русской поговорке «Когда рак на горе свистнет»). — *Прим. ред.*

5.85. Противотуманные фары. Почему «противотуманные» фары автомобиля делают желтого цвета? Помогает ли то, что они желтые на самом деле? Имеет ли при этом значение, где вы едете: в городе или за его пределами?

983, с. 244; 1111, с. 40.

5.86. Голубая дымка. Иногда над покрытой зеленью местностью, не слишком загрязненной отходами человеческой деятельности, возникает очень красивая, таинственная голубая дымка. Голубой хребет в штате Теннесси, США, и Голубые горы в Австралии знамениты именно своей голубой дымкой. Почему возникает такая дымка? Может быть, в ней повинен дым? Нет, поскольку она наблюдается как раз в малонаселенных, непромышленных районах. Может, причиной ее служит поднятая ветром пыль? Тоже нет, потому что самая насыщенная голубая дымка бывает при очень легком ветре. Дымка, наконец, не может быть туманом, потому что чаще всего она появляется теплым летом. Чем же в таком случае вызвана эта дымка и почему она голубая?

1112; 1165; 1166.

5.87. Тени в мутной воде. Почему в слегка замутненной воде вы можете увидеть свою тень, а в чистой — нет? Почему тень другого человека вы можете увидеть только в очень мутной воде?

В замутненной воде вокруг

тени наблюдается также цветная каемка, причем ближайший к вам край тени оказывается окрашенным иначе, чем удаленный. Чем вызвано это окрашивание? Зависит ли цвет каемки от того, где находится солнце: впереди вас или сзади?

954, с. 321—325; 1565.

5.88. Молоко в воде. Капнув несколько капель молока в стакан с водой, посмотрите сквозь него на источник белого света, например на лампочку. Лампочка покажется вам красной или бледно-оранжевой. Теперь посмотрите на свет, отраженный от стакана, — он кажется голубым. Чем объяснить такую удивительную разницу в цвете?

360, с. 60, 61.

5.89. Цвет табачного дыма. Присмотревшись к дыму, идущему от сигареты, вы обнаружите, что он светло-голубой, тогда как изо рта курящего после затяжки выходит белый дым. Почему меняется цвет дыма? (Это происходит не потому, что из дыма удаляются смолы и никотин.)

155, с. 411; 360, с. 62; 533; 536; 954; с. 240, 241; 983, с. 235.

5.90. Цвет дыма костра. Аналогично изменяется и цвет дыма костра. На темном фоне (например, на фоне деревьев) дым кажется синим. Однако над верхушками деревьев (на фоне

светлого неба) он выглядит желтым. Почему цвет дыма изменяется?

533; 954, с. 240, 241.

5.91. Масляные пятна и мыльная пленка. Почему масляные пятна, встречающиеся обычно на проезжей части улиц, окрашены? Какова толщина этих пятен? Обязательно ли улица при этом должна быть мокрой? Можно ли увидеть пятна в облачную погоду или они заметны только в прямом солнечном свете? Попробуйте рассчитать ширину одного окрашенного кольца и сравните полученное значение с измеренным. Влияет ли на расчетное значение ширины кольца тот факт, что Солнце не является точечным источником?

Почему тонкие мыльные пленки окрашены? Какова толщина мыльных пленок, в каком интервале значений толщины они окрашены? Почему именно в этом интервале? Почему на некоторых пленках имеются черные участки? Почему, наконец, граница между цветными и черными участками выражена столь отчетливо?

322; 528—531; 533; 954.

5.92. Цветовые эффекты после купания. Почему, когда вы, изрядно поплавав, выходите из воды, огни кажутся вам окруженными цветным ореолом?

Преломление дисперсия строение кристаллов напряжение

5.93. Жидкие кристаллы.

Если сжать сосуд (допустим, он достаточно податлив), в котором находится жидкий кристалл, то сосуд окрашивается в тех местах, где его сжимают. При этом его цвет зависит от того, под каким углом вы смотрите. Как наблюдаемая в зависимости от угла зрения последовательность цветов в окраске сосуда согласуется с последовательностью цветов в масляных пятнах? Если между ними существует разница, то как ее объяснить?

1081; 1132—1137; 139d.

5.94. Окраска бабочек. Почему крылья бабочек окрашены? Не является ли такая окраска следствием пигментации? У некоторых бабочек это действительно так, но у других, как, например, у бабочки вида *Morpho*, объяснить окраску пигментацией нельзя. Догадаться о происхождении окраски можно, посмотрев на крыло бабочки под разными углами: его цвета несколько меняются при изменении угла зрения. Почему?

1138—1142; 1625; 131d.

Дифракция

5.95. Темные линии между зубцами вилки. Возможно, вы замечали, что если свести почти вплотную большой и указательный пальцы, то

между ними возникает темная линия (рис. 5.95). Множество таких темных линий вы можете увидеть, если посмотрите между зубцами вилки, поворачивая ее при этом. Чем объясняется появление этих темных линий? Будут ли изменяться расстояния между линиями в зависимости от угла поворота вилки? Если да, то как?

170, с. 436, 439—445.

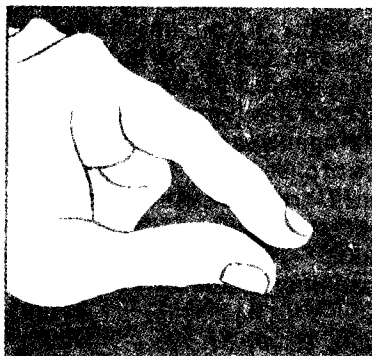


Рис. 5.95. Темная линия между пальцами.

5.96. Пятнышки в глазу. Что это за маленькие расплывчатые точки, которые нередко плавают у вас перед глазами? Может быть, это оптическая иллюзия или пылинки на поверхности глаза? Или же это какие-то инородные частички внутри глазного яблока? Посмотрев на яркий источник света через булавочное отверстие, сделанное в непрозрачном материале, вы увидите множество красивых концентрических колец и длинных цепочек, плавающих в пространстве (рис. 5.96). Если эти пятнышки просто тени, то почему же они имеют вид концентрических колец и цепочек?

Почему крохотное булавочное отверстие помогает вам увидеть строение этих пятнышек?

170, с. 470; 1091, т. 1, с. 204; 1167; 1168.

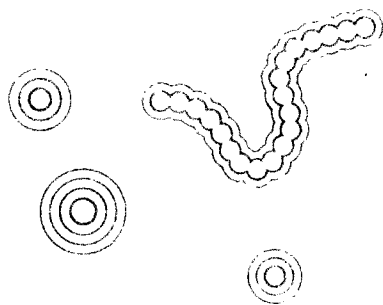


Рис. 5.96. Прозрачные тельца, плавающие в глазу.

5.97. Лучи звезд. Почему автомобильные фары иногда вдруг становятся звездообразными, «лучистыми»? Вряд ли это можно целиком объяснить физиологией нашего зрения, поскольку «лучи» видны и на фотографиях автомобильных фар. Почему звезды на фотографиях также бывают окружены лучами? Произвольно ли число лучей на фотографии фары или звезды? В частности, можно ли увидеть фотографию звезды с нечетным числом лучей?

954, с. 112, 113; 1169.

5.98. Пятно Пуассона. Почему в центре тени от маленького (диаметром, скажем, порядка 2 мм) шарика или диска возникает светлое пятно, тогда как большие предметы обычно создают сплошные темные тени? Воспользовавшись картонной трубкой и экраном, как показано на

рис. 5.98, вы не только увидите в тени шарика или диска светлое пятно, но и обнаружите, что вся тень состоит из множества чередующихся темных и светлых колец. Почему образуются центральное пятно (пятно Пуассона¹) и кольца? Почему они не заметны в вашей тени?

204; 1169, с. 200; 1170, с. 359—360; 132д.

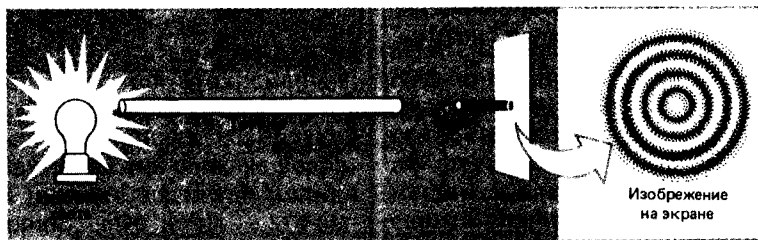


Рис. 5.98. Опыт, демонстрирующий появление светлого пятна Пуассона в центре тени от маленького шарика.

Преломление интерференция турбулентность

5.99. Теневые полосы во время затмения. За несколько минут до начала и через несколько минут после окончания полного солнечного затмения по земле пробегают темные теневые полосы (шириной около 2 см каждая), отстоящие друг от друга примерно на несколько сантиметров. Как возникают эти полосы? Почему они наблюдаются во время затмения? Связано ли их появление с какими-то процессами в атмосфере или здесь скрыты какие-то другие причины?

1171—1181; 1561.

¹ Говорят, что, когда в начале прошлого столетия Френель защищал диссертацию, один из членов комиссии, Пуассон, заметил, что если выводы диссертации верны, то в центре тени сферического предмета должно бы наблюдаться светлое пятно. А поскольку это представляется довольно странным, то, заключил он, данная диссертация, по-видимому, ошибочна. Однако такое пятно наблюдали еще за 50 лет до описанного события, и вскоре после него Араго вновь удалось обнаружить светлое пятно в тени сферического предмета.

5.100. Теневые полосы при заходе солнца. Было замечено, что во время обычных солнечных закатов по земле также иногда проходят темные полосы. Так, Р. Айвс [182] сообщал, что в течение 15 лет это явление наблюдалось 6 раз, причем все наблюдения были сделаны с возвышенностей. Полосы имели несколько километров в ширину и двигались по равнине со скоростью около 60 км/ч. Можно ли рассматривать эти полосы как еще один пример теневых полос? Чем они вызваны?

1182.

5.101. Полосы вокруг отражения в озере. Когда самолет при полете по направлению к отдаленному небольшому озеру оказывается в точке, откуда видно отражение солнца в озере, вы можете заметить, что основное отражение окружено чередующимися светлыми и темными полосами. Как объяснить эту картину?

360, с. 12.

Преломление сцинтилляция области турбулентности

5.102. Мерцание звезд. «В небе звездочка мерцает...» — пела мне мама. Почему же звездочка мерцает? Как возникает такое мерцание? Меняется ли при мерцании цвет звезды или она «дрожит» в поле зрения? Когда звезды мерцают сильнее: зимой или летом? Мерцают ли красные звезды сильнее, чем белые? Можно ли наблюдать мерцание звезд в телескоп? Мерцают ли также луна и планеты?

Почему предметы, если смотреть на них поверх нагретых поверхностей (например, крыши автомобиля или раскаленного шоссе), «колышатся»? Как высоко над нагретой поверхностью еще проявляется такой эффект? Какая часть воздуха сильнее влияет на изображение: ближайшая к вам или удаленная?

164, с. 462—466; 165, с. 166—169; 954, с. 84—91; 983, с. 17—19; 1111, с. 80, 81; 1183—1188; 28д, с. 252—256.

Фотохимия

5.103. «Отбеливание» светом. Почему цветные ткани выцветают на солнце? Зависит ли быстрота выцветания от цвета? Почему на солнечном свете и при свете люминесцентных ламп блекнут краски на картинах, написанных маслом? Почему некоторые продукты и напитки, например пиво, следуют оберегать от воздействия солнечного света? Оказывает ли подобное разрушающее действие преимущественно какая-то составляющая солнечного спектра или весь спектр в целом?

466, с. 214, 215.

Давление излучения преломление

5.104. Оптическое «парение». Мы уже рассматривали «парение» мячиков в воздушной и водяной струях (см. задачи 4.20 и 4.22) и знаем, что их устойчивость удивительна. Свет также способен «держат» шарики: луч достаточно мощного лазера поднимает и удерживает во взвешенном состоянии прозрачные стеклянные сферы диаметром около 20 мкм (рис. 5.104). Как свет может поднять такой шарик? Как достигается устойчивость при горизонтальных возмущениях?

1189—1191; 134д, с. 660—664.

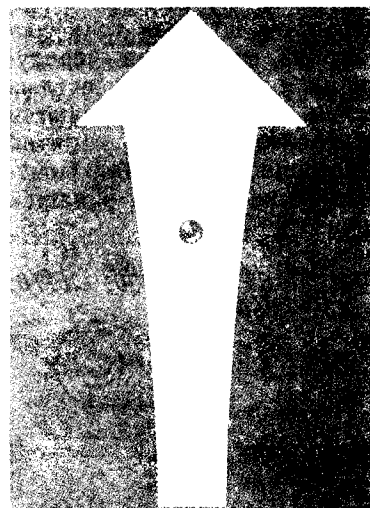


Рис. 5.104. Стеклянный шарик, «парящий» в луче лазера.

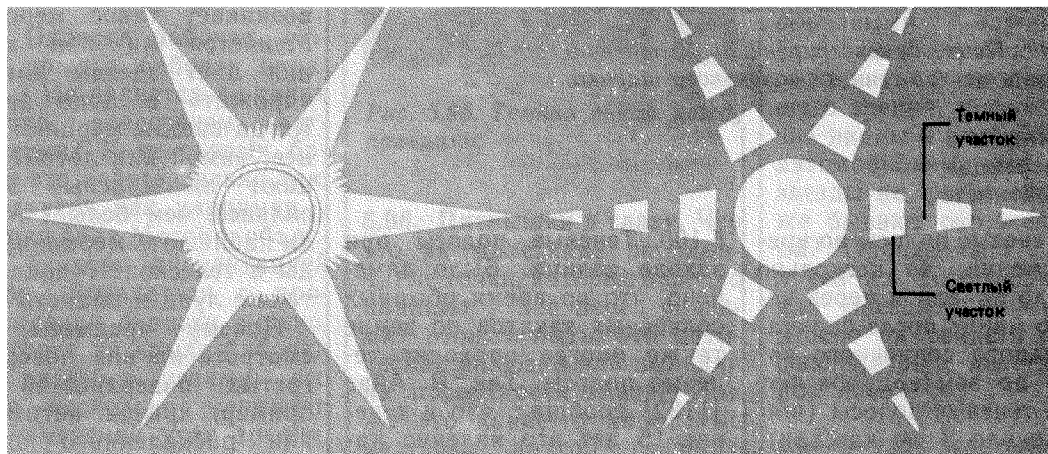


Рис. 5.105. Так выглядит фара автомобиля, если смотреть на нее сквозь оконные жалюзи (справа) и без них (слева).

Дифракция

5.105. Свет за жалюзи. Автомобильные фары выглядят по-разному, когда вы смотрите на них сквозь оконные жалюзи и прямо (рис. 5.105).

Чем обусловлено такое различие?

553, с. 163; 28д, с. 244—250.

Излучение абсолютно черного тела прозрачность атмосферы зрение

5.106. Цвет звезд. Одни звезды кажутся красными, другие — белыми. А существуют

ли голубые звезды или, скажем, зеленые?

5.107. Светящийся смерч.

Во многих сообщениях, как опубликованных, так и не опубликованных, описывались загадочные огни, связанные со смерчами. Обычно люди склонны считать их оптическими иллюзиями, тем не менее, можно сослаться на опубликованные фотографии [1192, 1193], на которых, судя по всему, действительно видны светящиеся колонны смерчей, возникших в ночи. Очевидцы рисуют захватывающую картину свечения этих смерчей.

«Торнадо излучал красивый искрящийся голубизной электрический свет, из воронки торнадо вылетали молнии и оранжевые шары — это было зрелище, достойное внимания» [1193].

«Я взглянул на облака и вдруг увидел нечто, напоминающее луч прожектора, который выходил из облака и достигал линии горизонта. Луч казался немного ярче самого облака. Он был прямым с отчетливо выраженными краями и весь одинаковой яркости. В нем не было заметно никакого движения или завихрений. Угловая ширина луча составляла около одного градуса. Все это выглядело довольно занятным; я достал свои поляроидные очки и смотрел на «луч», поворачивая поляроид, чтобы определить поляризацию. Никакой поляризации обнаружить не удалось. Луч был довольно заметен; прохожие останавливались и удивленно взирали на него. Все это длилось не менее 1—2 мин. Затем в одно мгно-

вение луч неожиданно превратился в обычную воронку смерча — никакого перехода» [1193]. (См. задачу 6.35.)

Все эти явления пока еще малопонятны, но, возможно, у вас есть какие-то соображения на этот счет. Попробуйте также в подкрепление своих доводов произвести соответствующие, пусть грубые, расчеты.

224; 225; 1192; 1193.

Триболоминесценция

5.108. Свечение сахара.

Как-то поздней ночью я размешивал в стакане сухой сахарный песок. Неожиданно погас свет. Продолжая мешать сахар, я увидел сквозь стенки стакана короткие вспышки света. Каким образом механические напряжения, возникающие при помешивании, могли вызвать такое свечение?

1194, с. 121, 292, 378—387; 1195.

5.109. Загар и солнечные ожоги.

Что именно вызывает загар и солнечные ожоги? Обусловлены ли эти два эффекта светом одной и той же длины волны? Почему риск получить солнечные ожоги уменьшается, когда ваше тело уже покрыто загаром? Может ли человек с темной кожей получить солнечный ожог с той же легкостью, что и человек со светлой кожей? Каким образом различные кремы и лосьоны для загара предотвращают ожоги и способствуют загару? Действительно ли их действие тако-

во, как в этом убеждает реклама? Если подобные средства не пропускают ту часть солнечного излучения, которая вызывает ожог, то не препятствуют ли они тем самым и получению загара?

Почему ожоги и загар менее вероятны, если солнце находится низко над горизонтом или вы защищены от него стеклом? Почему загореть (и получить ожоги) легче на пляже, чем на лужайке?

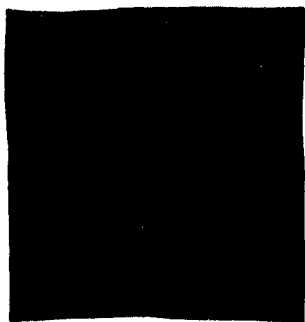
344, с. 19—22; 466, с. 212; 1203; 1512.

5.110. Светлячки.

Ловля светлячков в доме у бабушки — любимая забава моего детства. Я читал, что в Азии одновременное мерцание множества светлячков производит потрясающее впечатление.

«Вообразите дерево в 10—15 м высотой, сплошь покрытое мелкими яйцевидными листочками, на каждом из которых сидит по светлячку. Все они вспыхивают одновременно примерно раза три за две секунды, а между вспышками дерево погружается в полную темноту... Теперь вообразите речной берег протяженностью метров 150, вдоль которого непрерывной стеной растут деревья, и на каждом их листочке — и на концах этого ряда деревьев, и посередине — светлячки вспыхивают одновременно. Зрелище поистине восхитительное!» [1196].

Каков механизм наблюдаемого свечения? Такой свет часто называют холодным, имея в виду, что в этом случае энергия попусту не переходит в тепло (лампочка на-



[С разрешения Дж. Харта, компании «Филд энтерпрайзис».]

каливания, напротив, дает «горячий» свет). Не равен ли коэффициент полезного действия такого преобразо-

вания энергии в свет 100%? Какого цвета это свечение и почему? Каким образом азиатские светлячки «синхронизируют» свои вспышки?

954; 1090, гл. 4; 1194, с. 538—554; 1196—1201; 1458; 1585; 1624.

Фотохимия

5.111. Другие светящиеся организмы. Помимо светлячков свет испускают и многие другие живые организмы. У бразильского железно-дорожного червя, например, голова светится красным, а бока — зеленым. Некоторые фосфоресцирующие организмы, обитающие в море, если их потревожить, скажем, движением лодки, «поджигают» море. Ночью эти организмы светятся голубоватым светом, а днем — красным. Один из видов ракообразных, если его предварительно высушить, светится при увлажнении. Таким источником света во время второй мировой войны пользовались японские солдаты, когда использовать более яркий свет было опасно: стоило поплевать на высушенную креветку, и при ее свете можно было читать карту.

Можно привести множество других, более редких, примеров природной люминесценции. Рассказывают, что нарезанный картофель светился настолько ярко, что в темной комнате можно было читать. Говорят, что покойники также иногда светятся в темноте. Существует масса других интересных и пикантных историй на эту тему.

Чем во всех рассмотренных

случаях вызвана люминесценция?

1194, с. 457—492; 1200—1202; 1458; 47д.

Фотохимия пропускание света

5.112. Светочувствительные солнечные очки. Существуют солнечные очки, которые меняют свою прозрачность в зависимости от освещения: в помещении они светлые, но стоит выйти на солнечный свет, как они темнеют. Однако в отсутствие солнечного освещения прозрачность быстро восстанавливается. Чем вызваны эти обратимые изменения светопропускания стекла?

984; 1204.

Флуоресценция

5.113. Светящиеся плакаты. Некоторые плакаты светятся в невидимом ультрафиолетовом свете. Подобный же эффект позволяет производителям моющих средств утверждать, что выстиранное в созданных ими порошках белье становится «белее белого». Как объяснить эти явления?

1205, с. 70; 134д, с. 749.

Флуоресценция фосфоресценция

5.114. Флуоресцентное преобразование света. В лампе дневного света сначала возникает ультрафиолетовое излучение, которое затем преобразуется в видимый свет.

Как это происходит? Как быстро должен протекать процесс преобразования света? Очевидно, не настолько быстро, чтобы свет лампы мерцал в соответствии с частотой питающего ее напряжения. Но лампа не должна и долго светиться после того, как ее выключат.

466, с. 233—240; 954, с. 128, 129; 1205, с. 76; 134д, с. 749—766.

Зрение (5.115—5.141)

Когерентность интерференция

5.115. Точечные узоры. Если вы посмотрите на гладкий, матово-черный листок бумаги под углом 45° к направлению падающего солнечного света, то увидите разноцветные зернышки-точки, пляшущие по бумаге. Подобные узоры лучше наблюдать в луче лазера, но, разумеется, солнечный свет для нас гораздо доступнее. И в том и в другом случае при повороте головы наблюдаемая картина смещается. Интересно заметить, что она может сдвигаться как в ту же сторону, куда поворачивается голова, так и в противоположную, и это зависит от того, какое у вас зрение: страдаете ли вы близорукостью, дальнорукостью или имеете нормальное зрение. Чем вызываются точечные узоры и почему в солнечном свете они кажутся окрашенными? Как объяснить смещение узоров и его зависимость от характера вашего зрения?

1206—1209; 1560.

Стробоскопический эффект

5.116. «Мычание» и зрение. Попробуйте, глядя на экран телевизора с некоторого расстояния, промывать «мм-м» с закрытым ртом, и вы увидите, что на экране появятся темные линии. «Мыча» соответствующим тоном, вы можете заставить эти полосы двигаться вверх, вниз или же стоять на месте. Вы можете провести и другой аналогичный опыт. Поставьте на вращающийся проигрыватель диск, разделенный на черные и белые секторы. Освещая диск стробоскопическим источником с различной частотой вспышек, вы можете «заморозить» секторы или заставить их медленно двигаться в ту или иную сторону. Такого же эффекта можно добиться и «мычанием» на определенной частоте. Почему же «мычание» так влияет на ваше зрение?

1210; 1211; 117д.

Задержка зрительного восприятия интенсивность света

5.117. Солнечные очки и искажение видимого движения. Закрыв темным фильтром (например, стеклом от солнечных очков) один глаз, посмотрите на качание простого маятника. Хотя вы точно знаете, что маятник качается в одной плоскости, у вас создается впечатление, что он описывает эллипс (рис. 5.117). Непосвященному это наблюдение может показаться удивительным, даже загадочным. Кажущееся трехмерное движение можно еще более подчеркнуть, если прицепить к точке подвеса маят-



Рис. 5.117. Если смотреть на качающийся в вертикальной плоскости маятник, прикрыв один глаз темным стеклом, то будет казаться, что маятник движется по эллипсу.

ника нитку: возникает иллюзия, что маятник крутится вокруг нитки.

Если бы вам как-нибудь пришлось сидеть за рулем автомобиля в солнечных очках с одним стеклом, то вы бы

обнаружили, что скорость автомобиля, идущего слева от вас, заметно отличается от скорости автомобиля, идущего справа, хотя на самом деле они двигались бы с одинаковой скоростью. Скорость обоих этих автомобилей вы оцениваете неверно. Более того, в рассмотренном случае вы также неправильно оцениваете расстояние до окружающих предметов, и ошибка в оценке зависит даже от того, справа или слева от вас находится предмет.

Чем объясняется кажущееся трехмерное движение маятника? Какую роль играет темный фильтр или стекло очков в оценке этого движения, скорости автомобиля и расстояния до предметов?

1212—1222; 1541—1543.

Стробоскопический эффект

5.118. Вращающийся волчок перед экраном телевизора. Если в темной комнате перед экраном телевизора, изображение на котором сохраняется неизменным, запустить плоский волчок с узором на верхней поверхности, то на волчке возникнут умопомрачительные картинки. Нет сомнения, что они обусловлены узором на поверхности волчка, но при чем тут свет телевизионного экрана?

170, с. 49, 50; 117д.

5.119. Взгляд звездочета. Почему слабую звезду, расположенную «по соседству» с яркой, различить легче, если смотреть на нее искоса, «краем глаза»?

332, т. 1; 412, с. 439.

5.120. «Голубые дужки» сетчатки. «Голубые дужки» сетчатки — это еще одна проблема, связанная с физиологией зрения, которая в последнее время привлекла к себе значительное внимание. Впервые об этом явлении сообщил Пуркинье. Разжигающая огонь, он примерно в течение полминуты наблюдал две голубые дуги, «исходящие» от тлеющего конца трута. Вы тоже можете увидеть их при соответствующих условиях. Закройте источник света, например лампочку, картонкой с отверстием. Посидев с минуту (не больше) в темноте, включите лампочку¹. В зависимости от формы отверстия вы сможете в течение 1 с наблюдать голубые дуги различной формы (как, например, на рис. 5.120).

Почему возникают эти дуги? Возможно, вследствие рассеяния света внутри глаза? Но почему в таком случае они всегда голубые? Разве их цвет не должен зависеть от цвета рассеянного света? Возможно, эти дуги обусловлены биолюминесценцией или вторичным электрическим возбуждением нервных волокон или возбуждением нейронов другими нервными волокнами. Если верно последнее, то зависимость формы дуг от формы отверстия может кое-что рассказать нам о строении сетчатки. Но пока мы еще не в состоянии объяснить, почему эти дуги голубые.

1224—1227.

¹ В работе [1224] подробно описывается, как можно продемонстрировать этот эффект перед небольшой аудиторией.

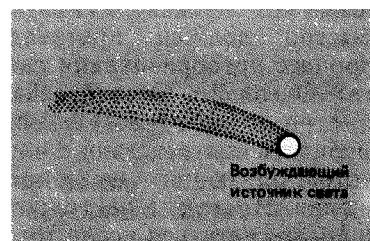


Рис. 5.120. Голубая дужка в поле зрения левого глаза. [Moreland J. D. *Vision Research*, 8, 99 (1968).]

5.121. Фосфены. Иногда зрители, заключенные в темные камеры, видят перед собой яркие световые образы («кинематограф заключенного»). Подобные световые картины предстают перед глазами водителей на дальних рейсах, когда они долго смотрят на покрытую снегом дорогу. Эти явления, так называемые «фосфены», возникают всегда, когда отсутствуют внешние зрительные возбуждения. Однако их нетрудно вызвать в любой момент, попросту надавив кончиками пальцев на закрытые веки. Восхитительные фосфены вызывают некоторые галлюциногенные вещества. Иногда фосфены возникают под действием электрического удара. В XVIII в. было принято устраивать коллективные наблюдения фосфенов (однажды в этом принимал участие и Бенджамин Франклин): люди становились в круг и, держась за руки, подвергали себя воздействию тока от высоковольтного электростатического генератора. Фосфены возникали всякий раз, когда цепь замыкали или размыкали.

«В 1819 г. физиолог из Боннии Иоганн Пуркинье опу-

бликовал самое подробное описание фосфенов. Он проделал опыт на себе: присоединив один электрод ко лбу, другой — ко рту и быстро замыкая и размыкая электрическую цепь при помощи цепочки из металлических шариков, он сумел вызвать устойчивые зрительные образы» [1223].

В последнее время изучение фосфенов уже не представляет собой чисто академический интерес, так как недавно исследования показали, что слепые люди, которые способны наблюдать фосфены, в будущем с их помощью могут получить искусственное зрение. Миниатюрная телекамера, помещенная внутри искусственного глаза, будет посылать сигнал в миниатюрный компьютер, размещенный в оправе очков. Компьютер в свою очередь станет возбуждать мозг через электроды, расположенные вблизи височных долей мозга. Если телекамера, скажем, «обнаружит» предмет слева от человека, то компьютер подаст напряжение на электрод, стимулирующий появление фосфена в левой части поля зрения. Таким образом человек сможет видеть внешний мир.

Почему фосфены возникают при нажатии на глазное яблоко, электрическом возбуждении или же при полном отсутствии какого-либо внешнего возбуждения?

1223; 1572; 1573.

Задержка зрительного восприятия интенсивность света

5.122. Цепочка уличных фонарей. Когда вам придется

ехать по улице в сумерки, постарайтесь обратить внимание, как включаются фонари: они загораются вдоль улицы один за другим. Действительно ли электрическому току требуется такое время, чтобы «пройти» от одного фонаря к другому? Вы также можете заметить, что на перекрестке фонари загораются раньше, чем на улице (рис. 5.122). Это уж, конечно,

нельзя объяснить электрической задержкой. Почему же фонари загораются не одновременно?¹

1212—1222.

¹ Кстати, о фонарях. Почему уходящая вдаль цепочка уличных фонарей кажется одинаково яркой по всей длине — ведь расстояние до фонарей возрастает? — *Прим. ред.*

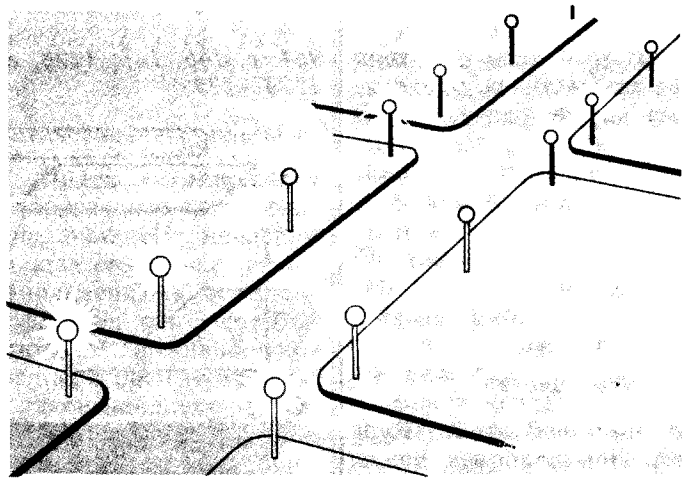


Рис. 5.122.

5.123. Точки перед глазами. Поглядев в ясное небо, вы увидите перед глазами множество движущихся точек. Они имеются всегда, но обычно вы их не замечаете. Почему?

Эти точки движутся рывками и, казалось бы, случайным образом, однако, нащупав свой пульс, вы можете связать их движение с ударами пульса; вы также обнаружите, что точки в пределах поля зрения движутся по определенным траекториям. Что представляют собой эти точки? Почему они движутся рывками и по определенной траектории?

1091, т. 1, с. 222, 223; 1168; 1233, с. 407, 408.

5.124. Теневые фигуры Пуркинье. Зажмурьте глаза и один глаз закройте рукой, теперь повернитесь лицом к яркому свету и начинайте двигать другую руку перед лицом вправо-влево так, чтобы тени от пальцев то и дело проходили по глазу, не прикрытому ладонью. Тогда в центре поля зрения вы увидите черные и белые квадраты, расположенные в шахматном порядке, а книзу от центра — либо многоугольники, либо просто фигуры

неправильной формы. Если источником света будет солнце, то вы сможете увидеть также восьмиконечные звезды и спирали различной формы. Как объяснить это разнообразие узоров?

1091, т. 2, с. 256, 257; 1234.

5.125. Утренние тени в глазах. Открыв утром глаза в залитой солнцем комнате, вы почему-то некоторое время будете видеть темные тени. Почему же? Если это тени каких-то частичек, находящихся внутри глаза, то почему они не видны постоянно, а вскоре после того, как вы открыли глаза, исчезают?

1091, т. 1, с. 212; 1168; 1233, с. 406, 407; 1235.

Восприятие цвета

5.126. Цветовой эффект Пурины. При слабом освещении синий цвет иногда может казаться ярче красного; однако при хорошем освещении различие в их яркости часто бывает обратным. Почему относительная яркость красного и синего цветов зависит от уровня освещенности?

332, т. 1.

5.127. Полосы Маха. Насколько резко очерчена ваша тень при ярком солнечном свете? Присмотревшись к ней внимательно, вы увидите две тени: одна из них, более темная, четко вписана внутрь другой, более светлой. Внутренний контур светлой тени очерчен темной полоской, а внешний контур — светлой.

Но ничего особенного в этом нет: тень любого предмета имеет такие же края. (Конечно, если источников света будет несколько, то картина усложнится.) На рис. 5.127 показано, как можно увидеть край тени с помощью картонки, которую держат перед люминесцентной лампой. Откуда берутся светлая и темная полоски, окаймляющие тень, а также полутень? Можно ли их сфотографировать?¹

954, с. 146, 147; 1228, гл. 2; 1229—1232.

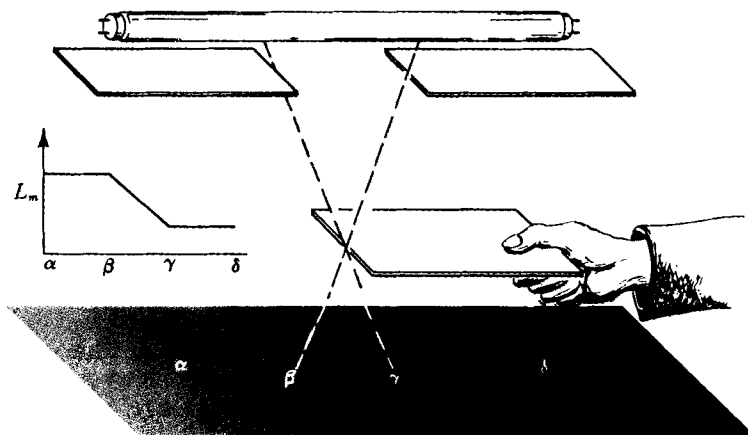


Рис. 5.127. Этот опыт позволяет увидеть полосы Маха. Если лампа находится на высоте 30 см от экрана, то картонку следует держать в 3-5 см от него. Полосы легче рассмотреть, если слегка подвигать картонку в горизонтальной плоскости. [Ratliff F., Quantitative Studies on Neural Networks in the Retina: Holden-Day, Inc.]

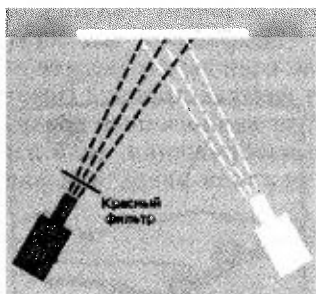
Цветовой эффект Лэнда восприятие цвета

5.128. «Воображаемые» цвета. Если предмет выглядит синим, значит, он излучает синий свет, не так ли? Вообще, как казалось бы, любой видимый нами цвет должен соответствовать определенной длине волны света или комбинации нескольких длин

¹ В первых экспериментах по измерению длины волны рентгеновских лучей ученые пользовались дифракционной картиной (как они тогда считали), возникающей при прохождении рентгеновских лучей сквозь обычную щель. На фотоснимках обнаруживались светлые и темные полосы; по ним и пытались рассчитывать длину волны рентгеновского излучения. Однако впоследствии оказалось, что наблюдаемая ими картина никак не связана с дифракцией рентгеновских лучей, а объясняется тем же эффектом, который обуславливает «двойную» тень.

волн. Эдвин Лэнд несколькими простыми опытами, которые легко сделать дома, поставил это утверждение под сомнение.

Что получится, если вы сделаете два черно-белых диапозитива (один через красный фильтр, а другой —



Проектор со слайдом, сделанным через красный фильтр Проектор со слайдом, сделанным через зеленый фильтр

Рис. 5.128. Демонстрация цветового эффекта Лэнда.

через зеленый) с одного и того же цветного пейзажа? Разумеется, два черно-белых слайда: что еще можно получить на черно-белой пленке!

Теперь, пользуясь двумя диапроекторами, спроецируйте свои слайды на экран, как показано на рис. 5.128. Перед объективом проектора, через который проецируется диапозитив, сделанный через красный светофильтр, поставьте красный фильтр; «зеленый» же диапозитив можно проецировать в обычном белом свете. Что же вы увидите на экране? Несмотря на то что оба слайда черно-белые и при проекции вы пользуетесь только красным цветом, совмещенное на экране изображение полностью воспроизведет всю гамму красок сфотографированного пейзажа.

Для этой цели пригодны обычные светофильтры. Единственное, что нужно, — это два фильтра разных цветов; впрочем достаточно даже одного цветного фильтра, но тогда второй снимок нужно сделать в белом свете. Оба слайда можно даже сделать через фильтры одного цвета,

лишь бы длины волн пропускания у них слегка отличались.

Почему же на экране полностью восстанавливаются краски исходного объекта, хотя, как казалось бы, в каждом снимке информация о цвете полностью утрачена? А теперь вернемся к нашему вопросу: если предмет выглядит синим, то должен ли он обязательно испускать синий цвет?

1236—1239; 1566; 1567; 135д.

Хроматическая аберрация

5.129. Палец «окрашивает» окно. Проследите одним глазом за пальцем, медленно перемещая его в поле зрения по направлению к освещенному солнцем окну, которое находится с противоположной от вас стороны комнаты. Едва палец начинает закрывать и искажать видимое изображение окна, прилегающая к пальцу часть изображения окна становится желто-красной (рис. 5.129). Когда же палец доходит до противоположной стороны окна, та окрашивается в си-

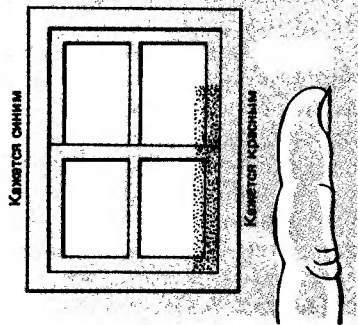


Рис. 5.129. [Jacobs S. F., Stewart A. B. Amer. J. Phys., 20, 247 (1952).]

ний цвет. (Тот же эффект можно наблюдать и на лампочке накаливания, только синий цвет в этом случае будет гораздо слабее.) Почему изображение окна окрашивается и почему разные его стороны окрашиваются по-разному?

533; 1091, т. 1, с. 175, 176; 1516.

Восприятие цвета

5.130. Цвета черно-белого диска. Можно ли различить какие-либо цвета на черно-белой поверхности? Как правило, нет. Однако сделайте диск с чередующимися черными и белыми секторами и, вращая его с относительно небольшой скоростью, пристально смотрите на него, стараясь не замечать отдельных секторов. Через несколько минут передние по отношению к направлению вращения края белых секторов станут красными, а задние — синими. (При разных уровнях освещенности оттенки будут различными.) При вращении с большей скоростью белые секторы становятся красными, а черные — частично окрашиваются в зеленовато-голубой цвет. При дальнейшем увеличении

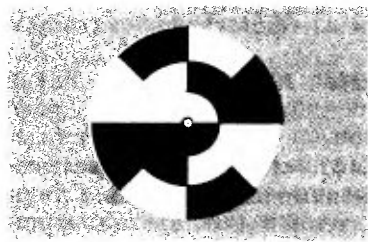


Рис. 5.130. Черно-белый диск при вращении кажется окрашенным.

скорости вращения цвета уже не удастся различить, но по диску начинают прыгать искорки фиолетово-розового и зеленовато-серого цветов. На диске, изображенном на рис. 5.130, можно наблюдать все три эффекта одновременно. Почему мы видим эти цвета? Почему, чтобы диск «окрасился», нужно прежде в течение нескольких минут посмотреть на него?

332, т. 1; 1091, т. 2, с. 255; 1231; 1240; 1241; 117д; 136д.

Стробоскоп флюоресценция фосфоресценция

5.131. Цветовые эффекты от люминесцентных ламп. Если описанный выше диск вращать быстрее (от 5 до 15 об/с), то цветовые эффекты пропадают. Но если осветить диск светом люминесцентной лампы, то можно наблюдать другой цветовой эффект: на диске появятся два concentрических кольца, состоящих из чередующихся красных, синих и желтых полос. Глядя на запущенную волчком монетку в свете люминесцентной лампы, можно увидеть на ней желтую или оранжевую (в зависимости от фона) камеру. Почему люминесцентное освещение вызывает эти цветовые эффекты? Можно ли их сфотографировать?

1242—1246.

5.132. «Плавающие» телевизионные изображения. Глядя в темной комнате на экран телевизора, быстро переведите глаза сначала на полметра влево от экрана, а потом тут же — на полметра вправо.

Вы увидите яркое, детальное, призрачное изображение телевизионного кадра, «висящее» в воздухе справа от экрана (рис. 5.132). Иногда даже возникают три-четыре изображения, каждое в виде наклоненного вправо параллелограмма. Почему появляются эти призрачные изобра-

жения и почему они наклонены? Сохранится ли их наклон, если вы переведете глаза в другую сторону? Возникнут ли аналогичные призрачные изображения, если перевести глаза вверх или вниз?

1247.



Рис. 5.132, «Двойники» телевизионного изображения.

5.133. Объемные кинофильмы, плакаты, открытки. Существуют два способа изготовления стереофильмов и забавных книжек с объемными картинками. При первом из них картинка печатается в двух цветах: красном и зеленом, а рассматривают их через дешевые очки, где в одну половину оправы вставлены зеленый целлофан, а в другую — красный. Второй способ состоит в том, что в очки и объективы двух кинопроекторов, через которые изображения одновременно проецируют на экран, вставлены поляроидные стекла. Каким образом эти способы создают иллюзию объемного изображения? Как вам, видимо, известно, стереокино не получило большого распространения; это означает, что в нем скрыты какие-то недостатки. В чем же тут проблема, если не считать неудобства ношения очков? Как достигается эффект объемности в открытках? Некоторые красочные крас-

но-синие плакаты или яркие книжные обложки тоже создают ощущение глубины, если красные буквы отпечатаны на синем фоне: в этом случае буквы как бы выступают вперед. Почему? Зависит ли эффект объемности, в котором используются различные цвета, от уровня освещенности? Какими другими способами можно создать иллюзию объемности изображения?

533; 1070, с. 107—110; 1092; 1213; 1255—1260; 1591—1607, 133д, с. 12—15; 137д.

5.134. Увеличение Луны. Пожалуй, самая поразительная природная оптическая иллюзия — это кажущееся увеличение Луны, когда она находится низко над горизонтом. Связано ли это с влиянием атмосферы или это чисто психологический эффект? Можете ли вы оценить кажущееся увеличение Луны?

165, с. 154, 155; 533; 954, с. 168—178; 1248—1253.



Рис. 5.134. [С разрешения Дж. Харта, компания «Филд энтерпрайзис».]

5.135. Лучи Будды. Иногда на закате можно увидеть, как от солнца веером расходятся яркие лучи, рассекая западную часть неба (рис. 5.135). Этот эффект возникает, когда горы или облака частично закрывают солнечный свет. Иногда можно увидеть, как такие лучи сходятся в противоположной от солнца стороне — на востоке. И совсем редко удается наблюдать, как лучи, исходя от солнца на западе, дугами пересека-

ют небо и скрещиваются на востоке. Но как же облака или горы могут так закрыть солнечный диск, чтобы лучи расходились веером? Ведь солнце находится очень дале-

ко от нас, и его лучи, казалось бы, должны идти параллельно? А каков цвет этих лучей?

164, с. 452, 567; 165, с. 185; 954; 1513.

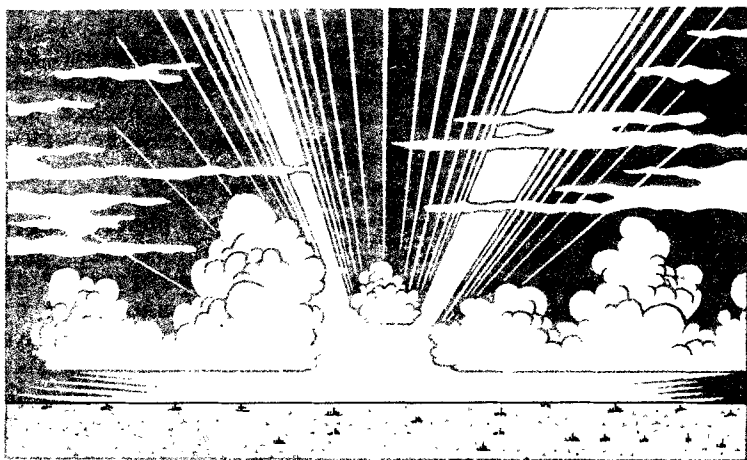


Рис. 5.135.

5.136. Линия Солнце—Луна. Если вам когда-нибудь придется увидеть лунный серп в дневное время, мысленно проведите линию по его оси симметрии (рис. 5.136). Направлена ли эта линия к

Солнцу? Должна ли она проходить через Солнце?

165, с. 149; 954; 1250—1254.

5.137. Изогнутые лучи прожекторов. Если смотреть на луч прожектора сбоку, то он кажется изогнутым. Действительно ли луч отклоняется вниз из-за рассеяния или отражения света в атмосфере?

165, с. 149; 954; 1260—1254.

5.138. Стоп-сигнал и светофор. Представьте себе, что вы едете на машине по ночной улице; в это время идущий на квартал впереди вас автомобиль подъезжает к красному светофору, но вам кажется, что его красный стоп-сигнал горит где-то за перекрестком. Однако,

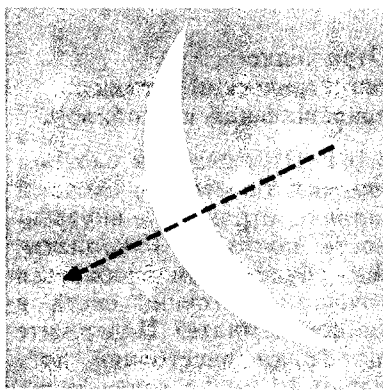


Рис. 5.136. Должна ли линия, которая делит лунный серп пополам, проходить через Солнце?

подъехав к светофору, вы убеждаетесь, что автомобиль, как и положено, остановился перед светофором. Как объяснить этот обман зрения?

1261.

Световой поток восприятие

5.139. Снежная слепота. После долгого пребывания среди белизны снегов и ледяных равнин начинает казаться, что глаза полны песка. Иногда боль в глазах не прекращается много дней. Это так называемая снежная слепота (белая мгла). Чем она вызывается? Когда вероятнее наступление снежной слепоты: в солнечную погоду или в облачный день? Знаменитый полярный исследователь Стефанссон, вспоминая о пяти годах арктических экспедиций, писал:

«Можно было бы предположить, что снежная слепота чаще всего наступает в ясные солнечные дни. Но это не так. Опаснее всего дни, когда облака достаточно плотно закрывают солнце, но они еще не настолько плотны, чтобы погоду можно было назвать мрачной... все вокруг кажется одинаковым, ровным. Можно налететь на торос, доходящий до пояса; еще легче попасть в сугроб в полметра высотой» [1113].

В таких условиях невозможно даже различить линию горизонта. Почему облака увеличивают вероятность наступления снежной слепоты?

1113; 1122; 1262.

5.140. Различимы ли земные объекты из космоса? Каковы минимальные размеры объектов, которые космонавты, находясь на орбите, еще могут различить на поверхности Земли? В частности, могут ли они днем или ночью увидеть большие города или другие крупные объекты, скажем египетские пирамиды? Первые облеты Марса принесли разочарование многим людям, особенно неспециалистам, поскольку на сделанных во время полетов фотографиях Земли не было обнаружено ничего такого, что свидетельствовало бы о разумной жизни на ней. Какие признаки разумной жизни на Земле можно было бы найти на фотографиях, имеющих разрешение, скажем, в 1 км, — типичное разрешение фотоснимков, сделанных с метеорологических спутников. Если такого разрешения недостаточно, то каким оно должно быть, чтобы фотографии зафиксировали такие признаки?

360, с. 182—184; 1263—1265; 1498.

Отражение геометрическая оптика разрешающая способность

5.141. Отражения в елочном шарике. Блестящий елочный шарик отражает внутренность почти всей комнаты. А как будет в нем отражаться точечный источник света в темной комнате? Подержите шарик на расстоянии примерно 10 см от глаза и попытайтесь поймать отражение точечного источника. (Прекрасный точечный источник можно сделать из

лампы, закрыв ее куском фольги, в котором проколото отверстие.) Изображение такого источника в шарике оказывается не точкой, а длинной светящейся линией. Но как только вы включаете в комнате свет, линия немедленно сжимается, превращаясь в неискаженное точечное изображение. Во-первых, почему в темной комнате елочный шарик искажает изображение точечного источника? Во-вторых, почему степень этого искажения зависит от освещения в комнате?

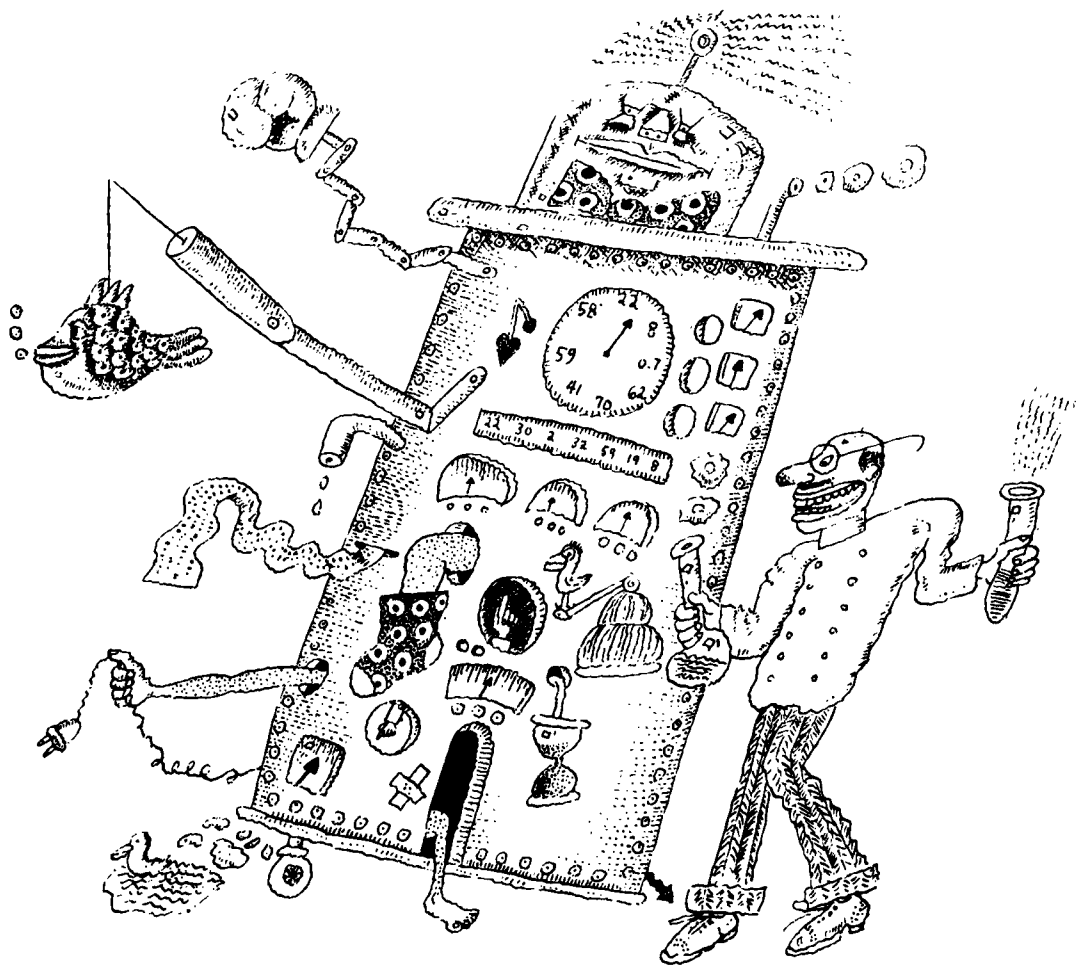
1266.

5.142. Муаровые узоры. Если два похожих правильных геометрических узора с несколько отличными периодами наложить друг на друга, то получится более крупный, так называемый муаровый узор. Его легко наблюдать, сложив вдвое край тюлевой занавески или держа в вытянутой руке расческу и глядя сквозь ее зубья на ее отражение в зеркале; сама расческа и ее отражение сливаются, и вы видите более крупный зубчатый узор. Чтобы сделать кое-какие количественные оценки этого явления, поставьте два металлических листа, в которых высверлены круглые отверстия, сантиметрах в десяти друг за другом и попытайтесь рассмотреть получающийся муаровый узор, глядя на эти листы с некоторого расстояния. Как зависит наблюдаемый муаровый узор от расстояния между вами и металлическими листами? Как он зависит от расстояния между самими листами? В какую

сторону и как быстро смещается муаровый узор, когда вы передвигаетесь параллельно листам? Зависит ли это смещение узора от расстояния между вами и металлическими листами?

954; 1267—1272; 28д, с. 236—241; 138д.

Электрический злодей и волшебное колечко



Биоэлектричество (6.1—6.5)

Джоулево тепло фибрилляция мощность

6.1. Поражение электрическим током. Что именно происходит с вами, когда вы прикасаетесь к проводу, который находится под напряжением? Что поражает вас и может даже убить? Напряжение? Ток? То и другое? Получаете ли вы ожог? Нарушается ли у вас сердечный ритм? Как степень опасности зависит от частоты тока? Почему, в частности, утверждают, что ток промышленной частоты 50 Гц, которым пользуются в Европе, менее опасен, чем ток принятой в США частоты 60 Гц? Действительно ли постоянный ток опаснее, чем переменный, или все зависит от обстоятельств?

Возможно, прикоснувшись к токонесущему проводу, вы не погибнете сразу, но если вы будете долго держать его, то это в конце концов может привести к смерти: со временем электрическое сопротивление вашего тела уменьшается, и поэтому величина протекающего через вас тока может приблизиться к некоему критическому значению. Почему сопротивление тела меняется со временем?

1273; 1274.

6.2. Лягушечьи лапки. В своем классическом опыте по исследованию природы нервных и мышечных волокон, проведенном в 80-х годах XVIII в., Гальвани использовал паразитально простое

устройство. На бронзовом кронштейне, привинченном к железной перекладине, подвешивалась лапка лягушки так, что она касалась основания перекладины (рис. 6.2), и всякий раз, касаясь основания, лапка сокращалась и судорожно подергивалась. После того как подергивания прекращались, лапка вытягивалась и опять касалась перекладины, и вновь начинались сокращения и подергивания. Что вызывало такую реакцию лапки? Постарайтесь подкрепить свои доводы расчетами.

1275; 141d, с. 219—225.



Рис. 6.2. Лапка лягушки, прикасаясь к железной перекладине, начинает подергиваться.

6.3. «Прилипание» к электрическому проводу. Если вы случайно схватитесь за электрический провод, так что через вашу руку пройдет ток порядка 25 мА, то не исключено, что вы будете не в силах оторвать руку от провода. Почему? Только не пытайтесь проверить это на себе нарочно — это опасно (см. задачу 6.1).

6.4. Электрический угорь. Как может поразить током электрический угорь? Крупный угорь вырабатывает напряжение до 600 В при токе до 1 А. Откуда он черпает такую невероятную мощность? Происходит ли непрерывный разряд угря через морскую воду? Почему угорь не поражает током сам себя?

Способность различных морских животных ориентироваться под водой долгое время оставалась загадкой. Однако исследования последних лет показали, что некоторые из этих животных реагируют на электрические поля, которые возникают вследствие движения океанских течений в магнитном поле Земли. Полагают, что именно эти поля помогают морским существам ориентироваться под водой. Во-первых, постарайтесь объяснить, как движение воды приводит к возникновению электрического поля. Во-вторых, каким образом животное может обнаружить столь слабое поле?

1276—1282; 142d.

Поглощение микроволн

6.5. Высокочастотная печь. В обычной газовой духовке мясо вначале поджаривается снаружи, а уже потом прожаривается внутри. В высокочастотной (микроволновой) печи мясо, наоборот, сначала прожаривается внутри, так что приготовленный в ней ростбиф вполне может быть прожаренным внутри и розовым снаружи. Если вы окажетесь рядом с работающей антенной мощного радиолокатора или засунете

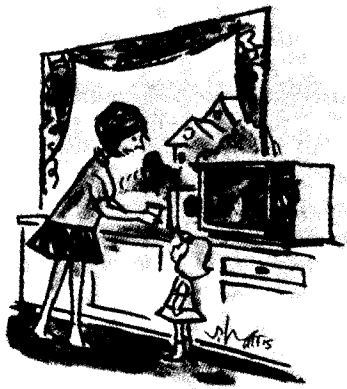


Рис. 6.5. «Когда я была маленькой, высокочастотных печей еще не было и на готовку иногда уходил целый час».

руку в высокочастотную печь, то тоже можете хорошо прожариться внутри, оставшись розовым снаружи. Почему токи высокой частоты (микроволны) обладают тепловым действием? И вообще почему они способны жарить мясо?

1492.

Электрический ток тепловое свечение

6.6. Пора зажигать свет. Сколько времени проходит между моментом поворота выключателя и моментом, когда лампочка загорается? Требуется ли какое-то время, чтобы электроны по проводам «добрались» до лампочки? Через какое время после того, как в цепи пошел ток, лампочка начинает светиться?

1312; 143д; 144д; 141д,
с. 162—163.

Электростатика (6.7—6.18)

Разделение зарядов электрическое поле разряд

6.7. По ковру ходить опасно! Иногда вас может «ударить током», если вы просто пройдетесь по ковру или поерзаете на сиденьи автомобиля. Очевидно, при этом каким-то образом накапливается заряд. Можете ли вы более подробно объяснить, что именно происходит? Почему, например, вас «бьет током», когда вы идете по ковру, но ничего не случается, если вы стоите на нем? Почему эти эффекты зависят от времени года?

На занятиях по физике обычно демонстрируют другой опыт: чтобы наэлектризовать стеклянные палочки, их яростно натирают кошачьим мехом или чем-то подобным. Почему их так натирают? Будут ли они электризоваться медленнее, если тереть их спокойнее? Действительно ли трение играет какую-то роль в электризации? Почему знак заряда палочки зависит от того, чем ее натирают? Почему, наконец, заряд палочки уменьшается, если ее подержать над зажженной спичкой?

300, с. 168—170; 537; 1288—1297.

6.8. Капельница Кельвина. Часто демонстрируется и другой опыт — капельница Кельвина (рис. 6.8). Вкратце суть его такова: вода капает сквозь две жестяные банки, которые соединены проводом, как показано на рисун-

ке. Через некоторое время одна пара жестянок заряжается положительно, а другая — отрицательно. Почему? Прибор как будто симметричен. Почему же банки заряжаются по-разному? Можете ли вы, в частности, объяснить, почему начинается накопление зарядов?

155, с. 261—262; 146д.

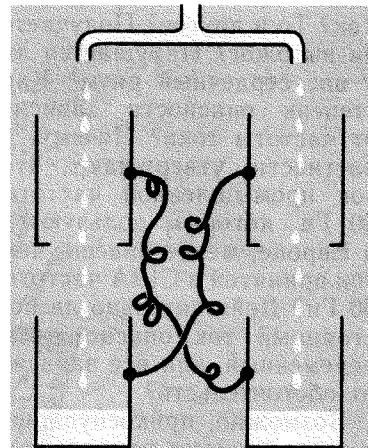


Рис. 6.8. Электростатическая капельница Кельвина.

6.9. Электрическое поле и струйки воды. Обычно тонкая струйка воды внизу дробится на капли. Однако, если поднести к струйке заряженный предмет, она до конца останется сплошной. Если заряд предмета достаточно велик, то струйка притянется к нему. Как это объяснить? Прежде всего, конечно, нужно объяснить, почему струйка воды обычно дробится на капли.

322; 1283—1287; 145д,
с. 238—243.

6.10. Электризация проводочных изгородей при снегопаде. Поражения электрическим током часто связаны с песчаными и снежными бурями. Например, когда в Скалистых горах в Колорадо разыгрывается метель, «проводочные изгороди в долине накапливают заряд такой величины, что, прикоснувшись к ним, человек или животное могут буквально быть сбиты с ног; иногда из изгородей в ближайшие заземленные предметы летят искры. Жители долин порой наблюдают искры, отскакивающие на целый метр от изгороди» [354]. (Трехсантиметровая искра может свалить вас с ног так, что вам придется отлеживаться несколько часов.) Каким образом падающий снег электризует изгороди?

354, с. 704, 705; 1298—1301; 1527.

6.11. Свечение клейкой ленты. Если вы станете отматывать клейкую ленту с катушки в темной комнате, то увидите, что линия, по которой лента отрывается от рулона, слабо светится. Чем вызвано это свечение? Имеет ли оно какой-то определенный цвет? Если да, то почему?

1194, с. 252; 1302.

6.12. Просеивание сахара. Однажды я просеивал сахарную пудру, чтобы посыпать ею пирог. Вдруг с пудрой произошло нечто странное: сначала она сыпалась прямо вниз, но постепенно все большая ее часть стала отлетать в сторону (рис. 6.12). Почему это произошло?

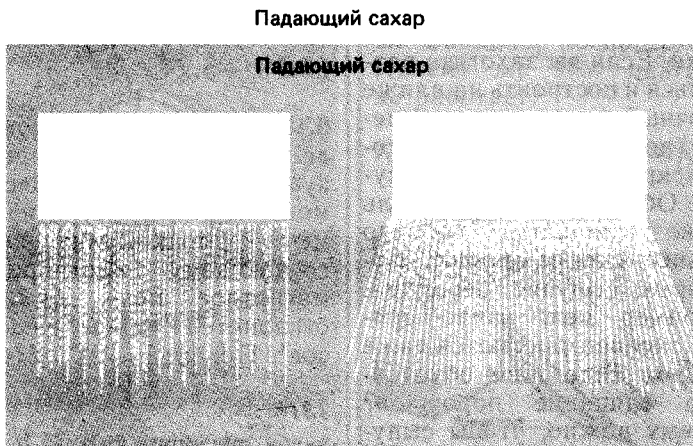


Рис. 6.12.

6.13. Цепи на бензовозах. Почему к бензовозам раньше прикрепляли цепи, которые волочились по земле? Следует ли приделывать такую цепь к легковому автомобилю?

1303—1306.

6.14. Заряд в душевой. Когда вы принимаете душ, разбрызгивающаяся вода создает в помещении отрицательный заряд. Напряженность электростатического поля при этом достигает 800 В/м. Аналогичные поля обычно обнаруживаются вблизи естественных водопадов. А когда нефтяные танкеры моют мощными брандспойтами, могут возникать электростатические поля напряженностью до 300 кВ/м. Почему возникают эти поля? Применительно к супертанкерам, это отнюдь не академический вопрос: во время мойки этих судов не раз происходили крупные взрывы.

539; 1296; 1307—1311.

6.15. Отрицательный заряд дарит блаженство. Бытует мнение, что, попав в область отрицательного заряда, например под душ, о котором говорилось в предыдущей задаче, человек испытывает невероятное блаженство. Итак, отрицательный заряд делает вас счастливыми, а положительный вызывает неприятные эмоции. Не исключено, что то удовольствие, которое мы получаем от душа, в равной мере обусловлено как ощущением собственной чистоты, так и отрицательным зарядом, возникающим в ванной. Как объяснить такое «эмоциональное воздействие» положительных и отрицательных зарядов? (См. также задачу 3.18.)

1307; 1408.

6.16. Почему мы не проваливаемся сквозь пол? Какие силы удерживают нас?

6.17. Песочные замки и крупинки. Если вы захотите развлечься и построить на пляже песочный замок, то, разумеется, воспользуетесь для этого мокрым песком, а не сухим. Обычная столовая соль также слипается гораздо сильнее, если ее смочить. Некоторые сыпучие вещества, например мел, какао-порошок, хорошо слипаются даже в сухом виде. Чем обусловлено слипание порошков? Почему важно, чтобы сыпучий материал (соль, песок) был смочен? Как вы думаете, различны ли способности к слипанию у тонких и более грубых порошков?

Как известно, образование крупинок играет большую роль в создании плодородной почвы. В то же время если за почвой неправильно ухаживать, то она может слипаться в никуда не годные комки грязи. Чем обусловлено образование почвенных крупинок? Почему другие материалы, скажем песок, пудра для лица, не слипаются в комки?

1313, с. 288—290; 1314; 1315; 147д.

6.18. Пленка для заворачивания продуктов. Если некоторые прозрачные пленки для пищевых продуктов натянуть на горлышко банки и потянуть вниз, то пленка останется натянутой и герметично закроет сосуд. Она как бы «прилипает» к горлышку сосуда. Почему это происходит?

Магнетизм (6.19—6.24)

6.19. Доллар в магнитном поле. Если взять долларовую купюру за угол и поднести к мощному магниту (например, подковообразному), создающему неоднородное магнитное поле, бумажка отклонится к одному из полюсов¹. Почему?

1316.

¹ С советскими купюрами этот опыт не получается. Попробуйте другой опыт: поднесите к мощному магниту подвешенную на нитке спичку. Скорее всего, она не притянется. Теперь сожгите ее серную головку. Спичка притягивается к магниту! — *Прим. перев.*

6.20. Движение пузырька в магнитном поле. Если поднести к плотницкому пузырьковому уровню большой магнит, пузырьки сдвинутся. Почему? В какую сторону сдвинется пузырек: к магниту или от него?

1316; 141д, с. 304—306.

Индукция

6.21. Электромагнитное «парение». Металлическое кольцо, надетое на катушку электромагнита, через которую пропускают переменный ток неизменной амплитуды, спокойно висит в воздухе (рис. 6.21). Однако если ток резко включить, то кольцо весьма эффектно подпрыгнет. Почему кольцо ведет себя по-разному в этих двух случаях? Что удерживает кольцо во взвешенном состоянии и чем определяется высота, на ко-

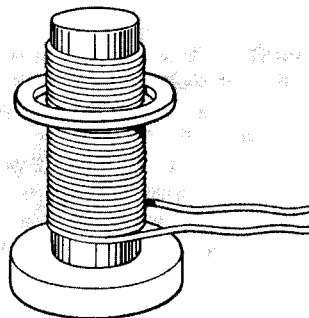


Рис. 6.21. Металлическое кольцо «висит» на катушке.

торой оно висит? Насколько устойчиво положение кольца? (Возвращается ли кольцо в прежнее положение, если его сдвинуть с места или наклонить?) Если вы возьметесь предсказывать поведение различных колец в магнитном поле, интуиция может вас подвести. Попробуйте ради забавы угадать, что произойдет с кольцом в следующих случаях (а затем проверьте свои догадки на опыте).

На одной ли высоте «повиснут» тонкое и толстое кольца, если их диаметры и плотности одинаковы? Что случится, если медленно увеличивать ток в катушке, на которую надеты кольца? Как будут вести себя кольца, если диаметр одного из них окажется больше, чем другого?

1317—1321.

Индукция

6.22. Вращение диска в «тени» магнитного поля. Над одним из полюсов переменного электромагнита поместите свободно вращающийся на оси медный диск (рис. 6.22).

Диск будет отталкиваться от магнита, но не придет во вращение. Теперь вставьте между диском и магнитом медный лист, тем самым частично экранируя диск от магнитного поля. Диск тут же начнет вращаться. Почему?

1321, с. 82; 1410, с. 329—334.

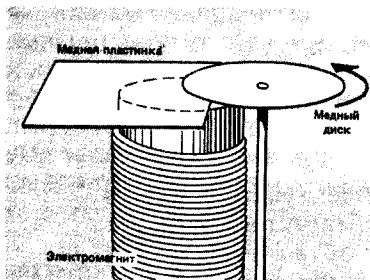


Рис. 6.22. Когда медная пластинка частично закрывает диск, он начинает вращаться.

Индукция

6.23. Автомобильный спидометр. Притягивает ли подковообразный магнит алюминиевые предметы? Как правило, нет. (Почему?) Однако можно сделать устройство, в котором алюминий будет двигаться под действием магнита. Подвесьте подковообразный магнит на нитке над алюминиевым диском (рис. 6.23). Диск следует укрепить так, чтобы он мог вращаться вокруг оси, проходящей через его центр. Если теперь раскрутить магнит, то диск начнет вращаться. Будет ли диск вращаться в ту же сторону, что и магнит? Почему для этого опыта годится только алюминий?¹

¹ Опыт хорошо получается и с медными дисками.— *Прим. ред.*

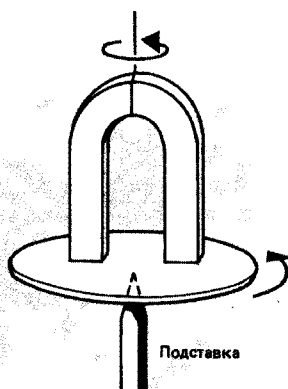


Рис. 6.23. При вращении магнита алюминиевый диск тоже начинает вращаться.

Примерно так же работает спидометр автомобиля, с той лишь разницей, что в автомобильном спидометре вращающийся магнит находится внутри круглой алюминиевой коробочки, к которой прикреплены стрелка и пружинка; коробочка не вращается, так как ее удерживает пружина.

155, с. 344; 592, с. 87; 1410, с. 329—334.

6.24. «Вечное» магнитное движение. Из множества забавных вечных двигателей, когда-либо придуманных людьми, одним из простейших является двигатель, сделанный епископом Честерским в 70-х годах XVII в. (рис. 6.24). Магнит, укрепленный на стойке, должен тянуть железный шарик вверх по наклонной плоскости, пока тот не поднимется до отверстия сверху. Провалившись в отверстие, шарик скатывается вниз по желобу и снова под действием магнита начинает двигаться вверх по наклонной плоскос-

ти. Забавно, не правда ли? Почему же этот двигатель не работает?

1325 (с.м. также 1322—1324).

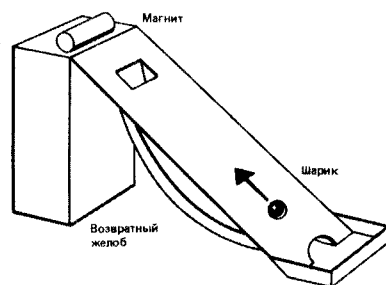


Рис. 6.24. Модель «вечного двигателя».

Радиофизика и физика ионосферы (6.25—6.31)

Физика ионосферы плазменная частота электромагнитные волны

6.25. Дальность приема радио- и телевизионных сигналов. Некоторые явления в радиотехнике всегда приводили меня в недоумение. Почему, например, станции длинно- и средневолнового диапазонов ночью можно принимать на гораздо большем расстоянии, чем днем? Иногда самый простой дешевый транзистор «ловит» станцию, находящуюся за тысячи километров. (Именно поэтому правила, разработанные Федеральной комиссией связи, обязывают многие радиовещательные станции уменьшать с наступлением сумерек свою мощность или даже вообще покидать эфир.) Люди были в восторге, когда Маркони впервые передал сигналы беспроводно-

лочного телеграфа через Атлантический океан. Но почему эти сигналы не уходили прямо в космическое пространство, а огибали Землю вдоль ее поверхности?

Известно, что станции, работающие в УКВ-диапазоне, и телевизионные передачи редко удается принимать за пределами города, где станции расположены. Иногда (например, во время метеорных дождей) эти сигналы распространяются на огромные расстояния, однако порой (во время сильных магнитных бурь) они ослабевают настолько, что во всем мире связь выходит из строя. Чем объясняется такая разница в дальности приема телепередач и станций УКВ, с одной стороны, и обычных радиостанций с амплитудной модуляцией (ДВ, СВ, КВ) — с другой? С чем связаны столь значительные изменения в распространении телевизионных и УКВ ЧМ-сигналов?

170; 215; 1326; 1327; 148д, 149д.

Резонанс

6.26. Детекторный приемник.

Во времена моего детства детекторный приемник был очень прост. Он состоял всего лишь из антенного провода, конденсатора, большой проволочной катушки, наушников и кристаллического детектора (рис. 6.26). Известен ли вам принцип его работы? Почему, перемещая контакт по проволочной катушке, можно было перестраиваться со станции на станцию? Для чего служил детектор?

Время от времени приходится слышать рассказы о

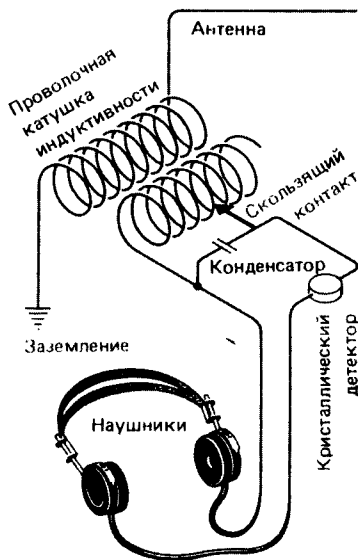


Рис. 6.26. Детекторный приемник.

том, как некоторые люди умудряются принимать местные радиостанции на свои зубные пломбы, кроватные пружины и т. п. Возможно ли такое? Если да, то что служит детектором в этих необычных «радиоприемниках»?

158, с. 577, 578; 211, с. 417, 418; 253, с. 409.

6.27. Влияние самолетов на телевизионное изображение.

Каким образом близкий летящий самолет влияет на работу вашего телевизора?

6.28. Автомобильная антенна.

Почему антенны автомобильных радиоприемников устанавливаются снаружи и, как правило, вертикально? А можно ли установить антенну на ветровом стекле?

6.29. Несколько станций на одном делении шкалы приемника. Обычно при определенном положении стрелки на шкале моего автомобильного приемника я слышу одну местную станцию. Однако когда я проезжаю вблизи антенны этой станции, то слышу одновременно с ней еще и передачу какой-то другой станции. Почему? Иногда я принимаю одну и ту же станцию в разных участках шкалы приемника. Почему?

Заряженные частицы в магнитном поле возбужденные состояния атомов и молекул

6.30. Северное сияние.

«С наступлением темноты чуть раньше или позже на северном горизонте возникает слабая прозрачно-белая световая дуга, центр которой иногда бывает несколько смещен к востоку. Дуга медленно поднимается по небосклону и становится ярче, постепенно приобретая бледный желто-зеленый цвет, напоминающий нежный цвет растения, проросшего в темноте. По мере того как дуга поднимается, ее концы на горизонте расходятся к западу и востоку. Ширина такой дуги раза в три больше, чем ширина радуги. Нижний край ее обычно очерчен более резко, чем верхний. Медленно, почти незаметно она движется к зениту. Вслед за первой дугой нередко появляется вторая, а иногда их возникает три, четыре, пять и даже больше. Они поднимаются вместе, некоторые из них могут пересечь зенит и пройти в южную часть неба.

Часто этим все и ограничивается; но бывают ночи, когда северное сияние через некоторое время переходит в новую фазу, гораздо более разнообразную и активную. Переход от первой фазы ко второй может произойти быстро, даже неожиданно. Дуга становится уже и начинает испускать лучи; затем она изгибается, образуя мелкие складки. Дальше она превращается в непрерывно меняющуюся неправильной формы широкую лучистую ленту, которая, точно огромный занавес, закрывает небо. Она может оставаться желто-зеленой, но иногда на нижнем крае ее образуется пурпурно-красная полоска, которая то исчезает, то возникает вновь. Изредка появляются яркие зеленые, фиолетовые, голубые цвета. Порой кажется, что лучи стремительно, как пущенные сверху стрелы, падают вниз. Временами вдоль лучей или вдоль ленты происходит какое-то движение. Вдруг «занавес» начинает быстро колыхаться в небе, словно под порывами ветра; он может неожиданно исчезнуть и вновь появиться в том же или в другом месте. Это величественное зрелище продолжается долгие минуты и даже часы, непрерывно меняя форму, положение, цвет, яркость.

Иногда огромную ленту сияния можно увидеть почти прямо над собой. Выходящие из ее разных частей лучи сходятся вместе, образуя так называемую корону. Нередко такая корона быстро меняет форму, ее лучи вспыхивают со всех сторон или кружатся вокруг центра.

Под конец северное сияние

принимает совершенно фантастические формы: это уже не полотнища и ленты, а множество разбросанных по всему небу маленьких ленточек, которые попеременно вспыхивают и гаснут. В иные ночи небо покрывается мягкими пушистыми «облачками», похожими на обычные ровные облака, которые появляются и исчезают в считанные секунды. И наконец, небо становится чистым — сияние пропадает. Но затем все может начаться снова и продолжаться до тех пор, пока восходящее солнце не затмит мягкий свет северного сияния» [1328].

Природа северного сияния еще не разгадана полностью, но, может быть, вы в общих чертах попытаетесь объяснить, как оно образуется. Почему возникают цвета и волнообразные структуры? Почему северное сияние гораздо чаще наблюдается в высоких широтах? Почему в северной Канаде сияния бывают чаще, чем, например, в Сибири, расположенной на той же географической широте?

219, с. 242—246; 1328; 1329; 1500—1520.

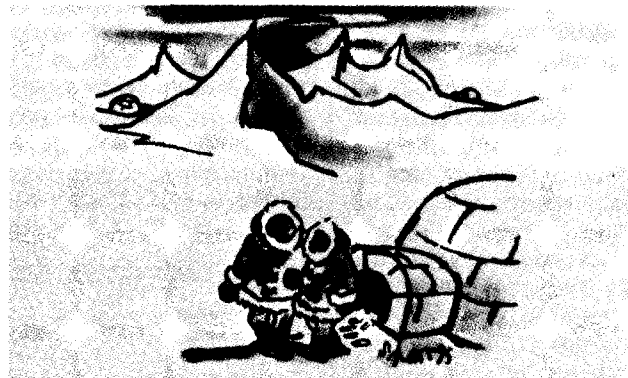


Рис. 6.30. «Но мы уже ходили с тобой смотреть северное сияние на прошлой неделе!» [Chicago Tribune Magazine.]

Преломление дисперсия

6.31. Ионосферные свисты. Во время первой мировой войны немцы подслушивали переговоры союзников по полемому телефону, используя небольшую утечку тока из телефонных проводов в землю. В землю вдоль телефонного провода втыкали металлические колышки метров на двести друг от друга, снятые с этих колышков телефонные сигналы подавались на чув-

ствительный усилитель, а затем прослушивались сотрудниками разведки. Но помимо разговоров немцы все время слышали также какие-то загадочные, довольно громкие посвистывания, причем частота свиста равномерно уменьшалась. Впоследствии было установлено, что эти помехи обуславливались ионосферными явлениями, так называемыми «свистящи-

ми атмосфериками». Были обнаружены и другие звуки: позвякивания, пощелкивания, попискивания, свист быстро возрастающего тона — в общем целый «утренний хор». Что же служит источником этих звуков?

219, с. 302—304; 1330; 1331, 153д, с. 144—146.

Атмосферные разряды (6.32—6.49)

Разряд электрическое поле электрический потенциал

6.32. Молния¹. Молния — настолько привычное для нас явление, что порой мы не замечаем ее красоты. Поэтому, прежде чем обращаться к странным или парадоксальным явлениям, связанным с молнией, попробуем выяснить несколько простых вопросов, касающихся ее общих свойств. Разряд молнии состоит по меньшей мере из двух разрядов: «лидера» и «обратного» разряда. Какой из них мы видим и почему не оба²? Почему мы вообще видим молнию, что в этом процессе создает видимый свет? Как направлен видимый разряд: снизу вверх или сверху вниз? Почему он так сильно изломан? Каков ток разряда молнии? Какова яркость вспышки? Какова толщина видимого канала молнии: 100 м, 1 м или всего несколько миллиметров? Как долго длится вспышка молнии: несколько секунд, несколько миллисекунд или около микросекунды?

220; 299, с. 110—123; 300; 301; 332; т. II, гл. 9; 1332; 1333; 1550; 1590; 153д, с. 421—423; 154д; 155д.

¹ Рекомендации по фотографированию молнии даны Орвиллом [1334]. Первая в истории фотография молнии воспроизводится Дженнингсом в работе [1335].

² Если ехать в грозу на автомобиле, то можно наблюдать, как многократный разряд молнии дает несколько стробоскопических изображений щетки «дворника», движущейся по ветровому стеклу [1336].

6.33. Электрическое поле Земли. Основной вопрос, конечно, состоит в том, почему вообще возникает молния. В результате чего создается электрическое поле между землей и облаками? На открытом воздухе разность потенциалов между кончиком вашего носа и ногами составляет 200 В. Почему же

“Боже мой, знаешь ли ты, что между землей и твоим носом разность потенциалов 200 вольт? Почему же нас не бьет током?”



Рис. 6.33. Электрическое поле Земли.

вы, несмотря на это, не получаете электрического удара? Может ли такое электрическое поле питать электрический двигатель? (В некоторых случаях — может.)

299, с. 97—109; 300, с. 105, 106; 332, т. II, гл. 9; 1296; 1337—1339; 1548; 1549; 1568.

6.34. Форма молнии. Электрический разряд между облаком и землей — не единственный тип молнии. Существует еще разряд облака в воздухе, который обрывается на полпути (рис. 6.34,а). Порой

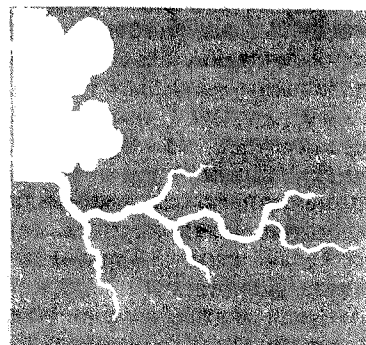


Рис. 6.34,а. Удар молнии из облака в воздух.

грозовое облако находится так далеко, что его не видно, тогда «гром с ясного неба» может привести вас в ужас. В некоторых случаях можно увидеть несколько параллельных разрядов, которые производят впечатлительные свисающей с облака ленты (рис. 6.34,б). Но наибольший интерес, по-видимому, представляет четочная молния (рис. 6.34,в), которая напоминает четки —

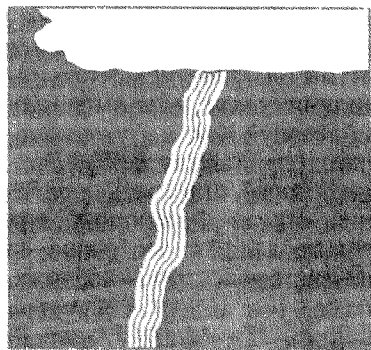


Рис. 6.34,б. Ленточная молния.

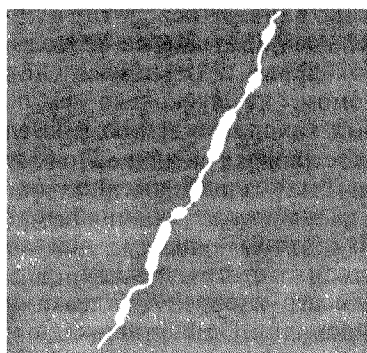


Рис. 6.34,в. Четочная молния.

яркие бусины, нанизанные на запутанную нитку. Что вызывает все эти типы разрядов и чем определяется их специфический характер? Как происходит разряд между облаком и воздухом?

299, с. 128, 129; 300, с. 5; 301; 1340; 1341; 1611, разд. GL; 1623; 154д; 157д.

6.35. Шаровая молния. Один из самых спорных вопросов в физике — существование шаровой молнии. Вопрос этот по-прежнему остается открытым, несмотря на множество наблюдений и опубликованных свидетельств. Шаровую

молнию наблюдало до 5% населения земного шара, однако многие люди продолжают утверждать, что это обман зрения, обусловленный, например, остаточным изображением яркой вспышки света на сетчатке глаза.

Очевидцы рассказывают, что светящиеся шары бесшумно «плавают» или «танцуют» на протяжении нескольких секунд. Иногда они проходят сквозь оконное стекло, не оставляя следов, иногда же стекло ломается. Такие шары наблюдали в закрытых помещениях (даже в самолетах) и на улице. Хотя они обычно бесшумны, их исчезновение сопровождается хлопком. Они, наконец, смертоносны. По-видимому, жертвой шаровой молнии и стал Рихман, ког-

да он пытался повторить опыт Франклина с воздушным змеем. Бледно-голубой огненный шар величиной с кулак отделился от громотвода, установленного в лаборатории Рихмана, медленно приблизился к его лицу и взорвался. Рихман, с багровым пятном на лбу и двумя отверстиями в одной из туфель, замертво упал на пол.

Какие из множества существующих объяснений шаровой молнии, на ваш взгляд, кажутся более правдоподобными? Можете ли вы предложить другие объяснения или доказать, что шаровая молния является просто обманом зрения?

299, с. 130—133; 1349—1370; 1611, разд. GLB; 158д, с. 55—60; 159д; 160д.



Рис. 6.36.

5.36. Молния при ядерном взрыве. Молния была сфотографирована также при взрыве водородной бомбы мощностью в 10 Мт, который был произведен в 1952 г. на атолле Эниветок. Разряды этой молнии ветвились вверх от поверхности моря (рис. 6.36). Когда расширяющийся огненный шар достиг того места, где перед этим были видны разряды (видимые вспышки к этому времени исчезли), на его фоне вновь

показались извилистые каналы. Заряд, породивший молнии, судя по всему, образовался очень быстро, но почему он образовался, остается неясным до сих пор. Есть ли у вас какие-либо соображения на этот счет? Можете ли вы также объяснить, почему каналы молний вновь появились на фоне огненного шара?

1347; 1348.

6.37. Вулканическая молния. Когда в 1963 г. из глубин Исландского моря поднялся вулкан, образовав новый небольшой островок, в темных облаках над вулканом сверкали яркие молнии. Как в таком случае создается огромный заряд, который необходим для возникновения молнии? Одна из возможных причин образования заряда — попадание морской воды на расплавленную лаву. Как при этом мог возникать заряд?

1342—1346.

6.38. Молнии при землетрясениях. Должны ли землетрясения порождать разряды молний? Японцы уже давно воспринимают молнии в ясном небе как признак неминуемого землетрясения. Действительно, в Японии и в других местах землетрясения, как правило, связаны с появлением обычных и шаровых молний. Почему возможна связь между этими природными явлениями?

1371; 1372.

6.39. Воздушный змей Франклина. Об опытах Бенджамина Франклина с воздушным змеем вы, должно быть, узнали еще в начальной школе. Но понимаете ли вы все тонкости этих очень опасных для жизни опытов? Франклин так описывал свой опыт в письме к другу: «К концу продольной палочки крестовины [змея] прикрепляется очень сильно заостренный провод длиной в 1 фут или больше. К концу бечевки, ближайшему к

руке, привязывается шелковая лента, а в месте соединения бечевки и ленты прикрепляется ключ. Змея нужно запускать при приближении грозы, а человек, держащий бечевку, должен стоять в дверях, за окном или под другой укрытием, чтобы шелковая лента не промокла. Нужно также позаботиться о том, чтобы бечевка не касалась дверной или оконной рамы. Как только какое-нибудь грозное облако приблизится к змею, заостренный провод начнет вытягивать из него электрический огонь, и змей вместе с бечевкой наэлектризуется. Волокна из бечевки вылезут во все стороны и будут притягиваться к пальцу, если его приблизить. Когда дождь намочит змея и бечевку так, что они станут свободно проводить электрический огонь, вы увидите, что он в изоляции вылетает из ключа, если приблизить к нему костяшки пальцев; от ключа можно зарядить лейденскую банку. От полученного таким образом электрического огня можно зажигать спирт и проводить все прочие электрические опыты, которые обычно делаются с помощью натертого шара или трубки. Тем самым была окончательно продемонстрирована одинаковость электрической материи с материей молнии».

С какой целью Франклин прикреплял к верхушке змея заостренный провод? Почему ключ привязывали к шелковой ленте? Почему бечевка притягивалась к пальцу и почему ее растрепанные волокна торчали во все стороны? Что вызывало свет, который видел Франклин, когда подносил к ключу костяшки

пальцев? Как удалось ему остаться невредимым? Смогли бы он спастись, если бы молния ударила в змея или в бечевку? Как мы уже говорили (см. задачу 6.35), Рихман погиб, пытаясь повторить опыты Франклина, так что не делайте их, даже со всеми предосторожностями.

299, с. 37—44; 301, гл. 2; 1373; 1374; 1580, с. 273—286.

6.40. Молниеотвод. Молниеотвод (или громоотвод, как было принято говорить) в доме моей бабушки на несколько футов возвышался над домом, на несколько футов был закопан в землю и имел заостренный конец. Почему он был сделан именно так? Как действует молниеотвод? По этому поводу немало спорят с тех самых пор, как его изобрел Бенджамин Франклин. Одни утверждают, что молниеотвод способствует постепенному, «тихому» разряду проходящего над ним облака и тем самым предотвращает катастрофический удар молнии. Другие говорят, что молниеотвод просто безопасно отводит в землю всякий разряд, происходящий вблизи него.

Высказывалось немало противоречивых и ошибочных суждений о том, как действует и как должен быть устроен молниеотвод. Первое время после его создания убедительно доказывалось, что на конце стержня следует прикреплять металлический или даже стеклянный шарик. Утверждалось также, что внизу молниеотвод должен соединяться только с верхним слоем почвы, так как, если разряд

уйдет слишком глубоко во влажную землю, возможен взрыв. Недавно одна из компаний, производящих молниеотводы, начала устанавливать на их верхушках радиоактивные источники. Предполагалось, что такой источник радиации должен способствовать ионизации воздуха, вызывая тем самым разряд молнии на молниеотвод и оберегая здание.

Действительно ли радиоактивный источник может оказаться полезным?

299, с. 188; 300, гл. 15; 301, гл. 2, 6; 1296; 1373—1381; 157д; 158д, с. 284—285.

6.41. Молния и деревья. Существует поверье, что молния предпочитает ударять в дубовые деревья. И правда, среди разбитых молнией деревьев встречается очень много дубов. Трудно, однако, представить, что молния способна отличать дуб от других пород деревьев. Почему же тогда чаще всего разбиваются именно дубы? Как вообще удар молнии разбивает дерево? Разумеется, не всегда удар молнии приводит к гибели дерева. Орвилл, например, опубликовал замечательную фотографию прямого удара молнии в ясень [1389; 1390]. Однако, когда на другой день стали осматривать дерево, на нем не обнаружили никаких следов удара.

Каким образом молния вызывает лесные пожары? Почему не всякий удар молнии в лесу приводит к пожару?

299, с. 177—187; 300, с. 151; 301; 1382—1390.

6.42. Удар молнии в самолет. Удары молнии в самолет случаются довольно часто, однако лишь изредка они причиняют какие-либо серьезные повреждения — разве что несколько мелких отверстий в фюзеляже. Автомобили, автобусы и другие транспортные средства тоже не страдают от ударов молнии. Вскоре после старта в космический корабль «Аполлон-12» ударили две молнии, не причинив никакого ущерба ни кораблю, ни его экипажу. Почему молния не причиняет вреда ни транспорту, ни пассажирам? Более того, пассажиры могут вовсе не заметить молнии¹.

299, с. 232—235, 249; 300, с. 151, 152; 301; 1296; 1379; 1391, с. 22; 1392—1397.

¹ Внимательный пассажир самолета может предвидеть удар молнии, обратив внимание на резкое усиление огней св. Эльма (см. задачу 6.46) на концах крыльев и других остроконечных предметах. Светящиеся полосы могут достигать 3—5 м в длину и 15 см в ширину [301].

6.43. Порыв дождя после удара молнии. Возможно, во время грозы вы замечали, как за ударом молнии следуют сильные порывы дождя или града. Имеется ли какая-нибудь связь между порывом дождя и ударом молнии? Или это просто совпадение?

164, с. 358, 359; 300, с. 165, 166; 301; 1398—1400; 1619.

6.44. Молния срывает одежду. При прямом ударе молнии с вас вполне могут слететь одежда и обувь. Почему это происходит?

301.

6.45. Электрические поля в земле при ударе молнии. Если вас застигнет гроза, не следует укрываться под деревом. Кроме того, нужно укрыться так, чтобы ваша голова находилась ниже окружающих предметов. Чем опасны деревья? Разве вы не находитесь в безопасности, если стоите в некотором отдалении от ствола?

Можно ли при грозе ложиться на землю? Голова при этом, конечно, будет находиться на минимально возможной высоте; но не возникает ли при этом какая-то другая опасность? Молния нередко поражает коров. Это связано не только с тем, что коровы обычно находятся на открытом воздухе, а в грозу укрываются под деревьями, но и с тем, что задние ноги коровы далеко отстоят от передних (рис. 6.45). В этом у них есть нечто общее с человеком, лежащим на земле. Почему удар молнии так опасен для лежащего на земле человека и для коровы?

299, с. 223; 301; 1350, с. 279; 1391, с. 282—283.



Рис. 6.45. Почему молния, которая ударила в дерево, поражает корову? [Beck E. *Lightning Protection for Electric Systems*: McGraw-Hill.]

6.46. Огни святого Эльма.

Огонь св. Эльма — довольно продолжительный светящийся разряд, который во время грозы можно увидеть на корабельных мачтах, на концах крыльев самолета и даже на кустарниках. Голубое, зеленое или фиолетовое свечение сопровождается потрескиванием. Чем вызвано это свечение и почему оно имеет именно такой цвет?

«Когда воздух сильно наэлектризован, проводники в горах любят изображать из себя Тора, размахивая ледорубом над головой. Металлические части ледоруба создают чудеса электрической пиротехники. Если держать геологический молоток в одном положении, из него вылетают длинные горячие искры, если же его повернуть на 90° , искры исчезают... Нередко, чтобы определить,

заряжен ли воздух, над головой поднимают палец. Если воздух заряжен, из кончика пальца вылетают искры, издавая звук, напоминающий шипенье жарящейся свинины» [354].

Приведем еще один пример таких необычных разрядов: во время грозы из вершин песчаных дюн часто вылетают электрические искры длиной в несколько метров. Такие искры, по-видимому, должны быть как-то связаны с уносимым ветром песком. Но как именно?

165, с. 233; 301; 354, с. 744; 961; 1402, с. 219; 1403, 153д, с. 419—421.

6.47. Пережившие удары молнии. Молния не раз поражала людей. Бывали случаи, когда при этом дыхание

человека останавливалось почти на 20 мин, но затем он полностью приходил в себя — у него не обнаружилось никаких остаточных мозговых повреждений из-за кислородного голодания или электрического шока. Предполагается [1401], что во время такого шока потребность мозга в кислороде уменьшается. Допустим, но разве пораженный молнией человек не должен получить серьезные ожоги и разве сердце его не останавливается? Как велика энергия, которая воздействует на человека, ставшего жертвой молнии?

299, с. 226—230; 301; 1401.

6.48. Свечение в Андах.

Одиночные вспышки света и продолжительное свечение порой возникают над вершинами некоторых горных хребтов. Этот свет «не только обволакивает горные вершины, но и образует светящиеся столбы, которые можно видеть с открытого моря за многие мили». Эти загадочные огни часто называют «свет Анд», но это не значит, что их можно увидеть только в Андах. Чем вызвано такое свечение? Огнями св. Эльма, возникающими в различных местах горной вершины? Но огни св. Эльма обычно не превышают по высоте нескольких сантиметров. Как же можно их увидеть на расстоянии нескольких миль?

165, с. 233; 1404—1406.

6.49. Электрическая вертушка. В учебной физической

лаборатории иногда демонстрируют вертушку, которая приводится в движение подключением ее к высоковольтному источнику постоянного напряжения (рис. 6.49). Эта вертушка была предметом споров на протяжении двух столетий, однако в последнее время про нее почему-то забыли. Почему крутится вертушка? Будет ли она крутиться в вакууме или в среде, лишенной пыли? Почему цвет возникающего разряда зависит от полярности напряжения на вертушке? Почему на концах лопастей должны быть острия? Можете ли вы рассчитать, с какой скоростью будет вращаться вертушка при заданных условиях (см. также задачу 6.33)?

155, с. 434—435; 1407.

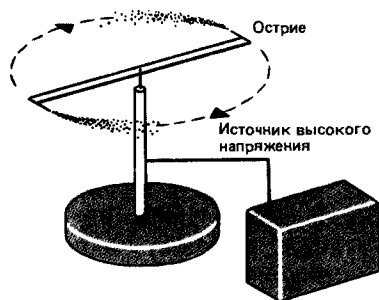


Рис. 6.49. Электрическая вертушка, приводимая в движение электрическим разрядом.

6.50. «Блюз» высоковольтной линии. Для того чтобы более эффективно передавать электрическую энергию, некоторые электрические компании строят «сверхвысоковольтные» линии электропередачи (765 000 В). Может быть, в общем такие линии целесообразны, но живущим вблизи них людям они

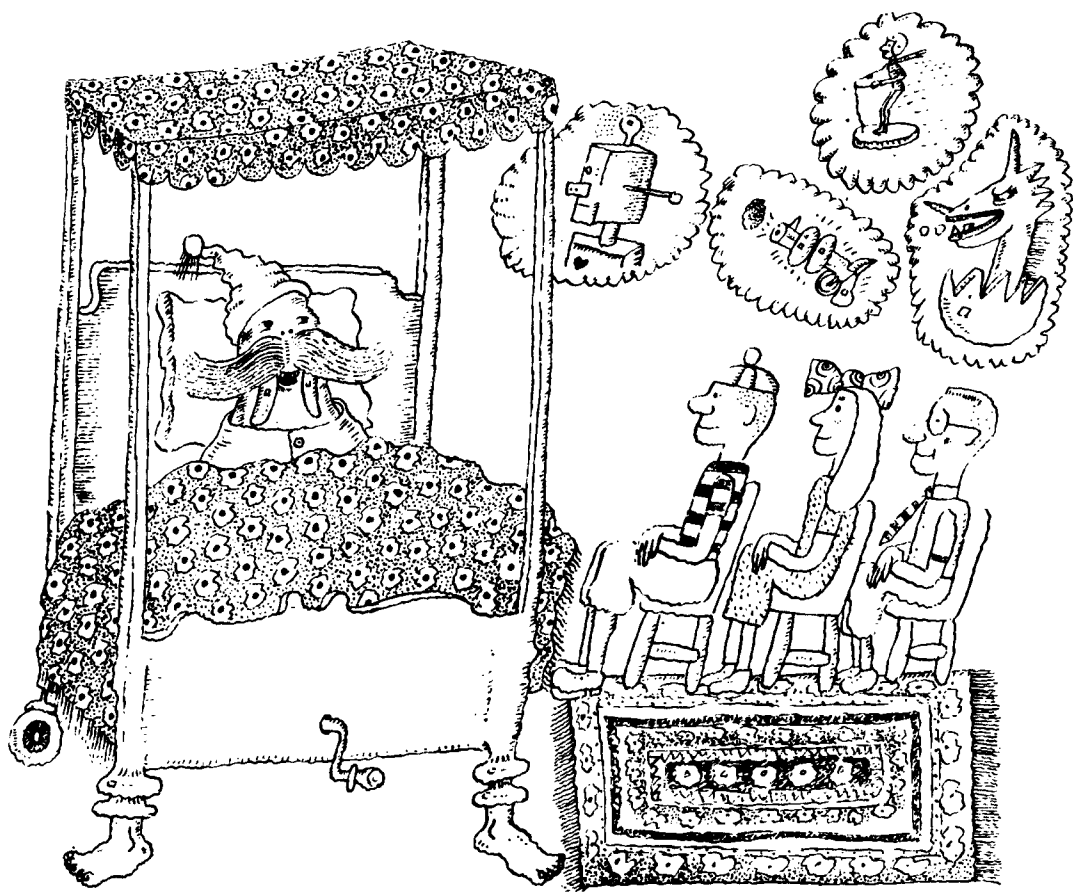
доставляют массу неприятностей. Эти линии часто докучают тем, что светятся в темноте небесно-голубым светом и заставляют таинственно светиться выключенные люминесцентные лампы. Еще неприятнее то, что многие люди, прикасаясь к металлическим предметам вблизи сверхвысоковольтных линий, получают электрические удары.

«Недавно проведенное исследование показало, что члены 18 семей, проживающих вблизи линии электропередачи компании «Огайо Пауэр», не раз получали электрические удары при прикосновении к сельскохозяйственному оборудованию, проволочным изгородям и даже мокрым бельевым веревкам. Две женщины жаловались, что их ударило током в туалете. Другие жалобы касались плохого приема телевидения и шипящего звука электрических разрядов. Раглз, по территории фермы которого проходит линия электропередачи, сказал: «Клянусь богом, мы будто живем рядом с водопадом» [1558].

Почему прикосновение к предметам, находящимся вблизи такой высоковольтной линии, может привести к электрическому удару? Я слышал, что некоторые люди запускают электромоторы, присоединяя их к антеннам, тайком устроенным вблизи высоковольтных линий. Действительно ли таким способом можно получать электроэнергию?

1558.

И под конец
обо всем
понемногу...



7.1. Способ передвижения НЛО.

Когда подводит сила притяженья
И не спасает отрицательный заряд ...

Боб Дилан, блюз «Совсем как мальчик с пальчик»

В последние несколько десятилетий много говорится о наблюдениях так называемых неопознанных летающих объектов (НЛО), якобы управляемых разумными существами. Попробуем проанализировать возможность существования таких объектов с точки зрения известных физических законов. Обратимся, например, к способу их передвижения. Судя по многочисленным сообщениям, в местах посадки и взлета НЛО не оставляли никаких повреждений. Возможно ли это для таких объектов, как космические корабли, использующие ядерную или химическую энергию? О какой величине энергии может идти речь при таких источниках? Может ли такой космический корабль каким-то образом использовать магнитное или электрическое поле Земли? Если да, то какого ускорения он мог бы достигнуть в этом случае и должны ли существовать какие-то ограничения по географической широте на выбор места посадки?

В научно-фантастических произведениях весьма популярен способ передвижения космических кораблей путем экранирования гравитационного поля. Герои романов Г. Уэллса уже давно пользовались этим средством для путешествия на Луну. Представьте себе, что космиче-

ский корабль резко «огородил» себя от действия земного притяжения. Оторвется ли он от Земли? Если да, то как быстро он будет двигаться? Действительно ли он сможет достигнуть тех огромных скоростей, с которыми, как утверждают, летают НЛО?

1409

7.2. Дорога к звездам. Сирано де Бержерак в одноименной пьесе Э. Ростана использует самые невероятные физические способы, чтобы не допустить злодея Де Гиша в дом Роксаны, где происходила ее свадьба. Спрыгнув с ветки дерева перед носом у Де Гиша, Сирано клянется, что только что упал с луны.

Де Гиш. ...Что это значит, сударь!

Откуда он упал?

Сирано. С луны.

Де Гиш. С луны?..

Он не в своем уме!

Сирано. Хотите знать, как я туда влетел?

Тут весь вопрос в изобретенье!

Шесть способов подняться есть.

Де Гиш. Но неужели целых шесть?

Сирано. Вот первый: в утренней росе

Ложитесь голый под оконцем —

Вы испаритесь так, как все

Росинки, поднятые солнцем!

Второй: на мельнице крестьянской,

При ветре крылья отпилив.

Вы понеслись бы с силой адской
Под сень космических олив!

Де Гиш. А третий?

Сирано. Взяв ядро стальное,

Набейте порохом внутри И, наплевав на все

земное, Взрывайтесь и неситесь...

Де Гиш. Три.

Сирано. Четвертый способ — лучший в мире:

Воздушный шар приклейте к бороде,

И шарик унесет вас в ту равнину, где

Пасутся звездочки...

Де Гиш. Четыре!

Сирано. Лечь на железный лист

И сильными рывками Магнит подбрасывать.

Он лист железный с вами Подтянет вверх.

Вы опять. Так до луны и упражняйтесь!

Де Гиш. Пять!

Сирано. Последний способ — номер шесть!

Бараньим мозгом смажьтесь весь

И при луне ложитесь оголенным,

Втирая в кожу жирные мазки.

Луна ведь, судя по влюбленным,

Вбирает всякие мозги. Де Гиш. Да, шесть!

Беспорные не все хоть, Но способом каким вы

были там в гостях?

Сирано. Но, сударь, на луну поехать

При нашей технике — пустяк!

Де Гиш. Какое ж было ваше средство?

Сирано. Седьмое! В яркий
лунный свет...
Угу-гу-гу... Вы
догадались?
Де Гиш. Нет.
Сирано. Луна оттягивает
волны, как известно.
Поэтому отлив бывает
по ночам.

Я на волну прилег...
Меня отлив качал...
Усиливался между тем
он...
И вдруг... я поднялся...
и полетел... как демон!
(Перевод Вл. Соловьева.)

вать ослабление с расстоянием интенсивности света от каждой звезды. Поэтому полный поток света от звезд, находящихся на любом фиксированном расстоянии, должен быть всегда одинаков. При бесконечном числе звезд ночное небо должно быть светлым и равномерно освещенным. Почему же в таком случае ночное небо довольно темное?

1410—1416; 1587; 1610.

Физика атмосферы гравитационные волны

7.4. Серебристые облака. Летом в высоких широтах вскоре после захода солнца на темном небе иногда появляются призрачные голубовато-серебристые облака. О причинах возникновения этих серебристых облаков на протяжении многих лет идет спор. Предполагается, в частности, что они связаны с вхождением космической пыли в атмосферу, но это всего лишь гипотеза. Почему серебристые облака наблюдаются лишь после захода солнца? Какова приблизительно высота, на которой находятся эти облака? Почему они обычно видны в высоких широтах и главным образом летом? Почему эти облака часто имеют волнистую структуру, напоминающую морскую поверхность?

362, с. 150—151; 954; 1417—1423.

7.5. «Водоискательство». Говорят, что некоторые люди способны обнаруживать подземные воды при помощи раздвоенной веточки, рогуль-

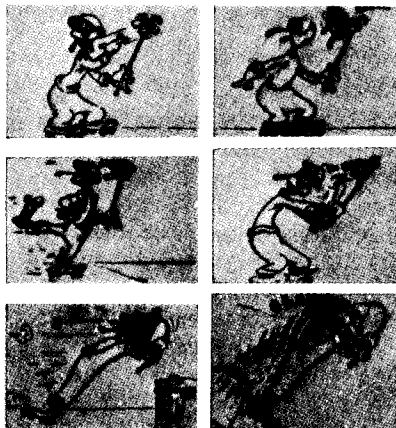


Рис. 7.2. Самодвижущийся Гуфи (из мультфильмов Уолта Диснея).

Космология

7.3. Парадокс Ольберса. Некоторые ученые подвергают сомнению то, что Вселенная бесконечна и содержит бесконечно большое количество звезд. Парадокс Ольберса состоит в следующем: «Если Вселенная бесконечна и содержит равномерно распределенное в ее объеме бесконечное число звезд, то все небо должно светиться ярким светом» [1414]. Конечно, интенсивность света, приходящего к нам от далеких звезд, будет меньше интенсивности света от близких, но если звезды распределены в объеме Вселенной равномерно, то с увеличением расстояния до Земли их число должно возрастать именно так, чтобы скомпенсиро-

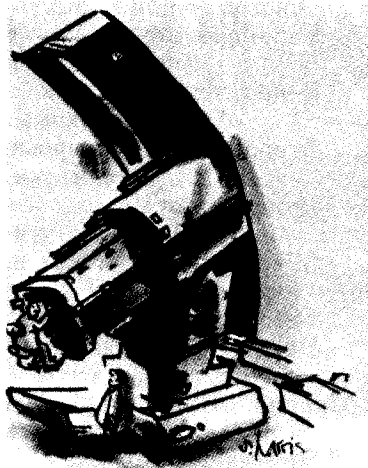


Рис. 7.3. «Похоже, что там — бесконечность!» [Из журнала студенческой корпорации «Фи Дельта Каппа».]

ки и т. д. (рис. 7.5,а). Когда с такой рогулькой обходят местность, всякий раз, как она оказывается над скрытой под землей водой, она якобы наклоняется к земле (рис. 7.5,б). Возможность такого



Рис. 7.5,а. Рогулька водоискателя.

ДА НЕ БОЙСЯ,
НЕ ПРОМОКНЕШЬ. ОНА
ТОЛЬКО УКАЗЫВАЕТ,
ГДЕ ВОДА.



Рис. 7.5,б. [С разрешения Дж. Харта, компания «Филд энтерпрайзис».]

«водоискательства» представляется весьма сомнительной, хотя немало рассказывают об удачах «водоискателей», но объяснить это явление с физической точки зрения пока оказывается невозможным. Как вы думаете, может ли существовать какая-то сила, которая оказывает подобное воздействие на рогульку или, быть может, она действует на самого человека. Уж не «таинственная» ли сила подсказывает «водоискателю», где скрыта вода?

1520—1523.

Ударные волны перенос энергии

7.6. Снежные волны. Иногда, ступив на заснеженное поле, вы можете вызвать «снеготрясение», которое, подобно волнам, распространяется во все стороны от того места, куда вы ступили ногой. Это «снеготрясение» сопровождается свистящими звуками, уровень снега в результате понижается. Если «снеготрясение» происходит на огороженном участке, то волна отражается от ограды и возвращается к месту, где произошло «снеготрясение»; при этом раздается свист возвращающейся волны. В чем причина распространения этих «снеготрясений», чем определяется их скорость? Почему понижается уровень снежного покрова? Чем вызван сопровождающий «снеготрясение» свистящий звук? Почему снежные волны отражаются от ограды?

1426; 1427; 1455.

7.7. «Неподвижная» точка. Если размешать кофе в чашке, а затем дать ему успокоиться, то по крайней мере одна точка на поверхности кофе вновь вернется на свое первоначальное место (мешать кофе следует спокойно, не создавая всплесков). Если вы, предположим, вырвете страницу из книги, сомнете ее, скатаете в шарик, а затем положите его обратно в книгу, то хотя бы одна точка страницы вновь окажется точно над своим прежним местоположением. Почему?

1428—1430.

7.8. Геофизическое «оружие». Китайская Народная Республика, возможно, обладает новым устрашающим видом «оружия» — геофизическим. Некоторые специалисты считают, что если все население Китая (свыше 1 млрд. человек) одновременно прыгнет с двухметровых платформ, то в земле начнет распространяться ударная волна. Прыгая снова всякий раз, как эта волна будет проходить через Китай, китайцы могут усилить ее до такой степени, что она может разрушить отдельные районы Соединенных Штатов, особенно в Калифорнии, нередко и сейчас страдающие от землетрясений.

По какой траектории будет распространяться в земле такая волна? Как часто придется прыгать китайцам, чтобы усиливать эту волну, и насколько будет увеличиваться ее энергия при каждом таком прыжке? Смогут ли население другой страны каким-то образом защититься от воздействия геофизи-

ческого «оружия», например с помощью аналогичных прыжков (рис. 7.8). Будет ли зависеть амплитуда такой волны от того, как именно

станут прыгать китайцы? Кое-кто утверждает, что прыгать следует, не сгибая ног, так как прыжок на полусогнутых ногах вызовет го-

раздо меньшую волну. Что вы можете сказать по этому поводу?

1424; 1425.

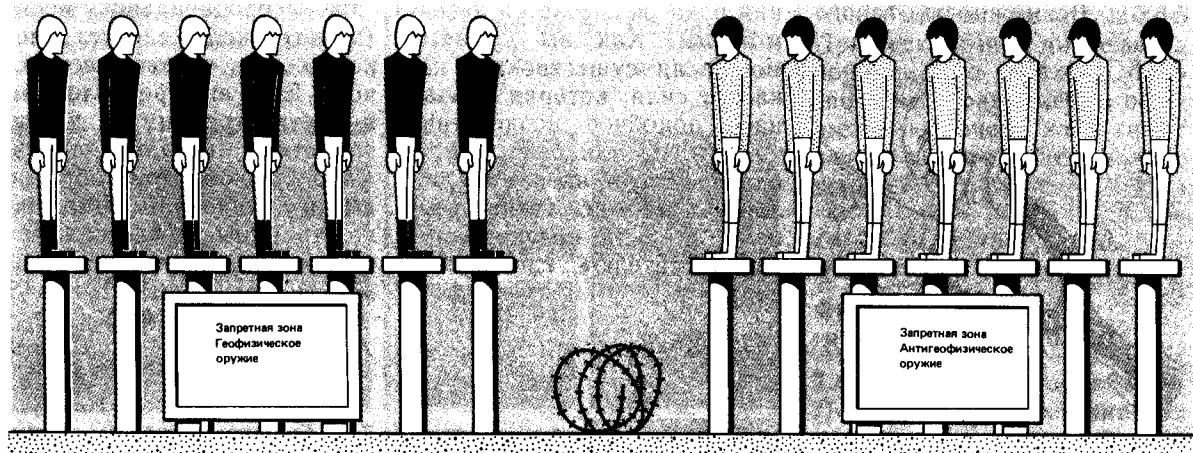


Рис. 7.8. Возможно ли геофизическое оружие?

7.9. Сбивание и нагревание яичных белков. Почему при сбивании яичные белки из жидкости превращаются в густую пену? Приготавливая, например, пирожные безе, белки взбивают до тех пор, пока они не начнут «стоять» (когда сбивалку вынимают из белка, пена оказывается настолько густой, что буквально «стоит колом»). Каким образом взбивание делает белок таким плотным? Другой аналогичный вопрос: в результате чего яичный белок — прозрачная бесцветная жидкость — превращается в белое, почти твердое вещество, когда вы, скажем, жарите яичницу?

316, с. 123—126, 87—90; 1431.

Реология клейкой ленты напряжения

7.10. Почему трудно оторвать клейкую ленту? Хотя состав, которым покрыта клейкая лента, не может проникнуть во все неровности поверхности, к которой ленту приклеивают, однако, как мы знаем, оторвать ленту от

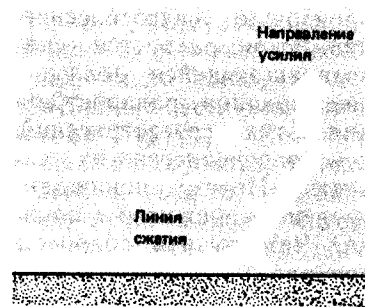


Рис. 7.10. Образование линии сжатия на клейкой ленте, когда ее отрывают от рулона.

поверхности довольно трудно. Прилипание ленты частично обусловлено образованием линии сжатия, проходящей чуть впереди линии отрыва (рис. 7.10). Линию сжатия можно увидеть, слепив вместе две полоски ленты, а затем медленно разделяя их. Чем вызвано сжатие?

950; 1432.

Сдвиг напряжения

7.11. Следы на песке. Если вам приходилось гулять по пляжу во время отлива, то, вероятно, вы заметили, что, как только нога ступает на мокрый твердый песок, он немедленно подсыхает и бежит вокруг вашего следа.

Обычно это объясняют тем, что под тяжестью тела вода «выжимается» из песка. Однако это не так, потому что песок не ведет себя подобно мочалке. Почему же белеет песок? Будет ли песок оставаться белым все время, пока вы стоите на месте?

924; 937; 938; 1313, с. 288—294; 1433, с. 624—626; 1434; 1435; 162д.

Напряжение

7.12. Мяч, наполненный песком и водой. Наполните камеру мяча песком и водой так, чтобы вода полностью покрывала песок, но не заполняла всю камеру. Теперь завяжите камеру и попробуйте сжать ее. Вначале это получается легко, но, чем дальше вы сжимаете ее, тем сильнее она сопротивляется сжатию, с какой бы силой вы на нее ни давили. Чем это вызвано?

924; 938; 1313, с. 288—294; 1433, с. 624—626; 1434; 1435; 163д.

7.13. Покупка мешка кукурузы. В те времена, когда кукурузное зерно продавалось не на вес, а на объем, некоторые торговцы всячески старались сделать так, чтобы зерна занимали возможно больший объем. Мешки кукурузы у таких хитрецов казались полными, хотя содержали меньше кукурузы, чем мешки такого же объема у более честных торговцев. Как вы думаете, следовало ли покупателю, столкнувшись с таким обманом, попытаться нажимать на мешок, чтобы

уплотнить в нем зерна? Оказывается, именно нажимать на мешок в таком случае и не следует. Почему?

938; 1433, с. 624—626; 1434; 1435.

Космические лучи вспышки на Солнце ядерные реакции

7.14. Уровень радиации в самолете. Действительно ли солнечные вспышки и космическая радиация представляют реальную опасность для человека, находящегося в высоко летящем самолете? Почему, когда самолет взлетает и набирает высоту, общий уровень радиации сначала (примерно на первых 500 м подъема) уменьшается, а затем начинает возрастать? Если космическое излучение как-то меняется с высотой, то с чем это связано?

1296, с. 392—393; 1436; 1437.

Возбуждение и ионизация Черенковское излучение

7.15. Вспышки, наблюдаемые астронавтами. Во время полетов на Луну американские астронавты видели белые звездообразные вспышки, происходившие с частотой один-два раза в минуту. Эти вспышки можно было наблюдать как с открытыми, так и с закрытыми глазами. Судя по всему, вспышки вызывались космическими лучами. Но как именно? Почему астронавты видели точечные вспышки (иногда с каким-то неясными «хвостиками»), а не равномерное белое свечение по всему полю зрения? Могут ли подобные

Ах, ох, их, ох...



Ах, ох, ух, эй...



ЭТИ КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ
ДОКОНАЮТ МЕНЯ



Рис. 7.15. [С разрешения Дж. Харта, компания «Филд энтерпрайзис».]

вспышки наблюдать пассажиры самолета, летящего на большой высоте?

1438—1451.

7.16. Рентгеновские лучи в картинной галерее. Нередко ультрафиолетовое, инфракрасное и рентгеновское излучения используются для обнаружения живописных полотен старых мастеров, скрытых под более поздними картинами, написанными на том же полотне. Это метод позволяет отыскивать утерянные полотна, дает возможность проследить процесс работы художника над картиной, а также служит для обнаружения различных

подделок. Так, например, рентгеновский анализ помог разоблачить мошенничества известного фальсификатора Ганса ван Меегрена, который писал свои подражания известным мастерам на старых, не представляющих ценности полотнах, что придавало его подделкам больше подлинности.

По-видимому, ультрафиолетовое, инфракрасное и рентгеновское излучения как-то взаимодействуют с нижними слоями краски, помогая их «увидеть». Но в таком случае они должны взаимодействовать и с верхними слоями. Как же тогда удается различить слои?

110, с. 190—193; 1452—1454.

7.17. Светящийся шар при ядерном взрыве. Почему при взрыве атомной бомбы возникает огненный светящийся шар? Что именно излучает свет в данном случае? Как долго светится этот шар и почему он в конце концов перестает светиться? Почему из красного или красно-коричневого вначале этот шар затем превращается в белый?

219, с. 306—309; 371, с. 20; 1459.

7.18. Силовое поле. Герои научно-фантастического романа Ф. Герберта «Дюна» [1460] обеспечивают себе защиту, создавая вокруг себя некое «силовое поле», которое пропускает лишь медленно движущиеся объекты. Такая «защита» предохраняет людей от пуль или ударов ножом, но через нее беспрепятственно проникает необ-

ходимый для дыхания воздух. Возможна ли такая «защита» с физической точки зрения?

И прочее... (7.19—7.24)

7.19. Трение. Как объяснить сущность трения моей бабушке, не прибегая к каким-то сложным научным построениям, а на самой простой модели. Обусловлено ли трение неровностями сцепляющихся поверхностей или, возможно, действием электростатических сил? Может быть, местное «прилипание» вызывают молекулярные силы, а может, твердая поверхность «проникает» в более мягкую и они сцепляются? Вопрос этот очень стар, незамысловат и наверняка должен иметь простой ответ.

3; 1462—1465.

7.20. «Текущая» крыша. Национальный собор в Вашингтоне (округ Колумбия) построен в стиле средневековых английских соборов. Его крыша, как и у английских соборов, была покрыта свинцовыми листами: в средние века Англия была богата свинцом. К несчастью, через несколько лет после постройки вашингтонского собора «красивая, нежных оттенков свинцовая крыша начала неотвратимо соскальзывать вниз, никакие гвозди или крепления были не в силах ее удержать» [1461]. Предполагалось, что это обусловлено двумя факторами: во-первых, географической широтой Вашингтона и,

во-вторых, чистотой современного свинца. Каким же образом эти обстоятельства могут объяснить соскальзывание свинцовой крыши?

1461.

7.21. Трещины. Искусство гранения алмазов состоит в том, чтобы разделить кристалл именно так, как это требуется. Скульптор тоже должен умело скалывать материал, с которым он работает. Если вам приходилось резать стеклянные трубки, вы, наверное, делали это так: сначала на боковой поверхности трубки делали небольшую насечку, а потом надламывали трубку; это предотвращало появление рваного края.

Чем определяется направление трещин? Почему вообще они возникают и распространяются дальше? Можно разломать кусок стекла при гораздо меньшем усилии, чем это нужно для разрыва межатомных связей; но тем не менее эти связи разрываются.

Как удается «оторвать» атом от атома, приложив относительно небольшую силу?

1466—1474, 164д; 165д.

7.22. Коррозия хромированной поверхности. Вы, наверное, замечали, что хромированные детали вашего автомобиля со временем подвергаются коррозии (правда, сейчас эту проблему в какой-то степени удалось решить). Она обычно возникает на дефектах внешнего слоя хромированного покрытия (рис. 7.22), поэтому в прежние времена такое покрытие ста-

рались делать достаточно толстым и равномерным, чтобы снизить вероятность образования дефектов. Однако даже при нормальной эксплуатации автомобиля ржавчина все равно появлялась. Тогда было обнаружено, что коррозия, напротив, снижается, если хромированная поверхность изобилует мелкими дефектами. Поэтому теперь на хромированных поверхностях специально создают мелкие дефекты. Почему дефекты в слое хрома приводят к коррозии и почему, когда их много, коррозии, напротив, уменьшается?

1475; 166д, с. 247—248.

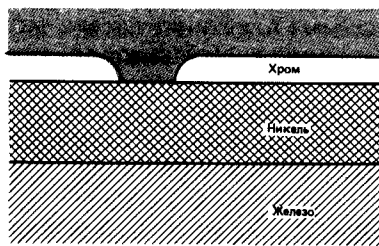


Рис. 7.22. Коррозия хромированных деталей начинается с дефектов на поверхности покрытия.

7.23. Полировка. Многие, наверное, знают, какое это утомительное занятие начищать металлические поверхности, скажем столовые приборы. Что именно происходит в таком случае: микроабразивная обработка поверхности или, возможно, при полировке поверхность плавится? Или, быть может, происходит просто «смазывание» бугорков? Впервые физику этого процесса три века назад пытался объяснить Исаак Ньютон [1477]; однако до недав-

него времени этот вопрос так и оставался до конца невыясненным, и лишь последние исследования пролили на него какой-то свет. Что такое «гладкая» поверхность — по сравнению с чем «гладкая»? Что должно происходить с поверхностью (на молекулярном уровне), если полировка представляет собой абразивную обработку, «смазывание» бугорков или расплавление поверхности?

1476; 1477.

7.24. Липкие пальцы. Почему прилипают липкие вещества? Кажется бы, простой вопрос, но ответить на него достаточно сложно. Можно, конечно, отделаться от него, пробормотав что-то о межмолекулярных силах. Однако все это не так просто.

Почему, например, не разваливается кофейная чашка — ее удерживают межмолекулярные силы? Допустим, вы разбили чашку на две части, а затем аккуратно сложили их так, что трещина оказалась почти незаметной. Почему же эти части не удерживаются вместе? Разве здесь не действуют те же самые межмолекулярные силы?

Скрепить половинки разбитой чашки вам поможет соответствующий клей. Каким образом? Должен ли клей обязательно быть липким? Должен ли он быть жидким? Почему, например, для склеивания чашки одни клеи пригодны, а другие нет? Существуют ли материалы, которые не поддаются никакому клею?

Иногда возникают прямо противоположные ситуации,

когда приходится опасаться, чтобы два предмета не склеились без клея. В первое время, когда только начались полеты космических кораблей с экипажами на борту, существовала реальная опасность, что металлическая подошва ботинка космонавта может самопроизвольно «приклеиваться» к металлической обшивке корабля. Чем обуславливалось такое опасение? Мы должны быть благодарны природе, что самопроизвольное склеивание — не столь уж частое явление, иначе мир давно бы превратился в какое-то липкое месиво.

950; 1432; 1478—1480; 167д.

Краткие ответы

В составлении ответов к этой книге таится ряд опасностей. Одна из них связана с тем, что, во-первых, в литературе, на которую я ссылаюсь, и в моих собственных рассуждениях возможны ошибки. Опасность этого особенно реальна там, где речь идет о проблемах, еще не окончательно исследованных, таких, как например, шаровая молния. (В некоторых журналах статьи о ней появляются чуть ли не через номер.) Со своей стороны я могу сказать лишь одно: я сделал все, что мог, пользуясь доступной мне литературой и стараясь уложиться в весьма ограниченный объем. Но не забывайте, что эти ответы — лишь верхушка айсберга; за каждым из них кроется еще много несказанного и неизведанного. Не нужно также считать эти ответы последним словом; напротив, вы должны только отталкиваться от них и пересматривать их в свете новых публикаций и исследований.

Вторая опасность еще более серьезна и заставляет меня сомневаться, стоит ли вообще приводить ответы. Может оказаться, что вы будете заглядывать в них так поспешно, что не успеете получить удовольствие от прозоров. Пока вы по-настоящему не почувствуете всей прелести вопросов (пытаясь, быть может, даже до изнеможения ответить на них), цель этой книги не будет достигнута. Главное — как именно подходить к изу-

чению мира, в котором мы живем, — заключено скорее в первой части книги, чем во второй. Так что, прежде чем заглядывать в этот раздел или отправляться в библиотеку, постарайтесь найти собственные ответы и не жалейте на это времени.

1.1. Скрип и визг в рассмотренных случаях обусловлены «зацеплением и соскальзыванием». Так, мел, когда его неправильно держат, вначале зацепляется за доску, но когда пишущий достаточно сильно нажимает на мел, он внезапно соскакивает и начинает вибрировать, периодически «зацепляясь» за доску и вновь соскальзывая. Вследствие этого и возникает скрип.

1.2. Палец возбуждает продольные колебания, распространяющиеся вдоль кромки. При этом возникают также поперечные колебания, перпендикулярные кромке. Последние вызывают движение жидкости. Пучности поперечных колебаний, а следовательно, и пучности колебаний жидкости, расположены в 45° от пучностей продольных колебаний. Так как в том месте, где палец касается кромки бокала, находится пучность продольных колебаний, пучность колебаний жидкости смещена от пальца вдоль кромки бокала на 45° .

1.3. Представьте себе, что одна мембрана барабана колеблется, а другая — нет. Движущаяся мембрана начинает возбуждать неподвижную, сжимая находящийся между ними воздух. Когда же вторая мембрана приходит в колебательное

движение, воздух внутри барабана начинает тормозить первую и ее колебания постепенно затухают. Наконец, колебания второй мембраны достигают максимума, а колебания первой прекращаются — мембраны меняются ролями и т. д.¹

¹ Мембраны барабана ведут себя так же, как два связанных маятника. Подвесьте одинаковые математические маятники на горизонтальной нити, затем выведите один из них из положения равновесия и отпустите. Вы увидите, как колебания одного из маятников будут постепенно затухать, а другого — усиливаться. Затем начнут затухать колебания второго маятника и усиливаться первого и т. д. — *Прим. ред.*

1.4. Для того чтобы записывать на пластинке басы с той же амплитудой сигнала, что и высокие частоты, потребовалось бы такое отклонение иглы, которое захватило бы и соседнюю дорожку².

² Плохое излучение иглой низкочастотных звуков связано в первую очередь с тем, что размеры такого излучателя малы по сравнению с длиной волны. Разные коэффициенты усиления при воспроизведении низких и высоких частот объясняются несколькими причинами. Во-первых, уровень высоких частот при грамзаписи специально повышают, чтобы сделать его намного больше уровня высокочастотных помех — свистов, скрипов и т. д. Во-вторых, выходной сигнал в современных звукозаписывающих магнитной системы обычно пропорционален скорости движения иглы, а значит, и частоте записанного звука. — *Прим. ред.*

1.5 и 1.6. В обоих случаях звук, по-видимому, обусловлен колебаниями песка, которые возникают, когда отдельные его слои сдвигаются относительно друг друга.

Песок под ногой вдавливаются вглубь, а при осыпи один слой песка скользит по другому. Хотя механизм возникновения звука пока остается неясным, по-видимому, «поет» песок, состоящий преимущественно из круглых песчинок одинакового размера.

1.7. Под действием смычка пластина начинает колебаться. Характер колебаний, то есть места расположения максимумов и минимумов, зависит от формы пластины и от точки ее закрепления. При движении смычка песок, находящийся в местах пучностей (амплитуда колебаний максимальна), сбрасывается в те участки, где расположены узлы (амплитуда колебаний минимальна). Таким образом, картина колебаний становится видимой. То же происходит и с мелкой пылью, но ее уносят воздушные потоки, возникающие при вибрации пластины. Поскольку эти потоки направлены вдоль пластины от узлов к пучностям (откуда они уходят вверх), пыль попадает в пучности и там оседает.

1.8. Когда струну дергают ногтем или медиатором, в ней возбуждается больше высших гармоник, чем когда ее трогают пальцем. Высшие гармоники и придают звуку банджо звенящую окраску.

1.9. Голос вызывает вибрации банки, которые в свою очередь возбуждают волны в веревке. Эти волны бегут на другой конец веревки и заставляют колебаться доннышко второй банки, превращаясь таким образом в

слышимый звук. Вторая банка «не отзывается» на низкие частоты, которые присутствуют в голосе говорящего, поэтому на другом конце веревки голос воспринимается как высокий.

1.10. Смычок то сцепляется со струной, то отрывается от нее: струна колеблется в те моменты, когда смычок свободно скользит.

1.11. Частота колебаний струны зависит от ее плотности, длины и натяжения. Если струна натянута, то первые два параметра не изменяются, и увеличение натяжения приводит к повышению частоты колебаний. Если же натягивать резиновую ленту, изменяются все три параметра, и частота звучания остается примерно той же.

1.12. Первый звук появляется, когда доннышко кастрюли нагрелось достаточно для того, чтобы образовывались пузырьки: образование каждого пузырька сопровождается щелчком, а все вместе они создают шипение. При дальнейшем нагревании пузырьки отделяются от дна, поднимаются в более холодный слой воды и там лопаются; при этом возникает еще более громкий звук. Его мы слышим до тех пор, пока вода не прогревается настолько, что пузырьки начинают достигать поверхности и разрываться там. Тогда вода кипит «белым ключом», а пузырьки, лопающиеся на поверхности, создают более мягкий, «плещущий» звук.

1.13. Отчасти журчание ручейка обусловлено пузырь-

ками, образующимися в быстро текущей воде. Возникновение пузырьков сопровождается слабыми звуками, тогда как колебания объема пузырьков и их «схлопывание» производят более громкие звуки.

1.14. Если земля очень холодная (ее температура ниже -23°C), то лед уже не тает под ногами, а трескается. (См. также ответы к задачам 3.46—3.49.)

1.15. Между пушинками свежевыпавшего снега существуют маленькие полости, благодаря которым такой снег поглощает звук так же, как звукопоглощающие покрытия в современных служебных помещениях. По мере уплотнения снега поглощение звука в нем ослабевает¹.

¹ По наблюдениям Д. Тиндаля, свежевыпавший снег не уменьшает радиуса слышимости: по-видимому, он поглощает в основном высокие частоты, делая городские звуки более глухими.— *Прим. ред.*

1.16. Любое периодическое движение может вызывать звуковые волны. Периодический обрыв отдельных волокон при разрывании ткани порождает звуковые волны, и мы слышим, как рвется ткань.

1.17. Треск суставов обусловлен разрывом крохотных газовых пузырьков в жидкости, смазывающей суставы пальцев, который происходит, когда палец растягивается и давление в жидкости уменьшается. Требуется несколько минут, прежде чем жидкость снова погло-

тит газ и сустав опять шелкнет.

1.18. Когда хлопья разбухают в молоке и в конце концов лопаются, из них начинает выходить воздух, в результате чего и возникает пощелкивание.

1.19. Потрескивание обусловлено раскалыванием льда под влиянием температурных напряжений, которые возникают в толще льда при нагревании. Шипение же связано с воздушными пузырьками, заключенными внутри льда, которые лопаются, когда в результате таяния льда «выбираются» на поверхность. Если таких пузырьков нет, то лед при таянии будет только потрескивать.

1.20. То обстоятельство, что звук в земле распространяется быстрее, чем в воздухе, в данном случае не имеет значения, поскольку скорость лошади много меньше скорости звука. Звук лучше проходит в земле потому, что там он меньше рассеивается и меньше поглощается, чем в атмосфере.

1.21. Резонансные частоты полости рта (как и всякой другой полости, заполненной газом) пропорциональны скорости звука в заполняющем ее газе. Скорость звука в гелии выше, чем в воздухе, поэтому голос становится более высоким.

1.22. При растворении порошка содержащийся в нем воздух высвобождается. Поскольку скорость звука в воздухе меньше, чем в воде, скорость звука в воде с большим содержанием воздуха

ниже, чем в воде, где воздуха мало. Когда в сосуде много воздуха, резонансная частота (которая пропорциональна скорости звука) оказывается пониженной. Поэтому мы слышим более низкий тон¹.

¹ Пузырьки значительно увеличивают поглощение и рассеяние звука. Мелкие пузырьки, которые остаются в воде после всплытия более крупных, поглощают в основном средние и высокие частоты.— *Прим. ред.*

1.23. Поскольку резонансные частоты духовых инструментов пропорциональны скорости звука, они возрастают по мере того, как оркестрант своим дыханием согревает инструмент и тем самым увеличивает скорость звука. Струна же от трения нагревается и растягивается. Ее натяжение уменьшается и резонансная частота понижается.

1.24. Примерно в пределах двух метров от поверхности земли звук, исходящий непосредственно от самолета, может интерферировать со звуком, отраженным от земли; при этом некоторые частоты усиливаются. Высота, на которой происходит «усиливающая» интерференция, приводящая к усилению звука, зависит от длины звуковой волны. Чем ближе к земле, тем более короткие волны усиливаются. Поэтому низко над землей вы слышите более высокие звуки, а поднимаясь выше — звуки более низкие (с большей длиной волны).

1.25. Чтобы звук при прохождении через трубу уси-

ливался, он должен отражаться от стенок под определенным углом, зависящим от длины волны звука. Звуки большой длины волны, которые усиливаются и доходят до нас, отражаются под большими углами, чем коротковолновые (высокочастотные) звуки; следовательно, расстояние между точками отражения для длинноволновых звуков меньше, чем для коротковолновых, и первые достигают конца трубы позднее. Поэтому наблюдатель у конца трубы вначале слышит высокочастотные звуки, а затем все более и более низкочастотные¹.

¹ Здесь, по-видимому, возникает интерференция между прямой звуковой волной и волной, отраженной от стенок трубы (см. [4д], с. 258—260).— *Прим. ред.*

1.26. Чтобы эхо было отчетливым, отраженный звук должен приходиться с задержкой не менее 50 мс (миллисекунд). Если устранить отражение звука от стен, то акустика помещения значительно ухудшится. Поэтому стены в концертных залах делают так, чтобы они равномерно рассеивали звук по помещению. При этом применяются рассеиватели различных видов: одни эффективно действуют в области малых длин волн (высоких частот), другие — больших размеров — рассеивают звуки большой длины волны (то есть низкой частоты). Рассеяние должно быть достаточно равномерным, чтобы внутри помещения не создавались так называемые «мертвые зоны», где из-за интерференции происходит полное гашение звука.

1.27. Звуки, исходящие из одного фокуса эллиптической комнаты, собираются в другом фокусе, и разговор, происходящий в одном из фокусов, слышен в другом.

1.28. Скорость звука в теплом воздухе больше, чем в холодном. Если с увеличением высоты над землей температура воздуха уменьшается, то верхняя часть звуковой волны, распространявшейся вначале горизонтально, будет двигаться медленнее, чем нижняя. Вследствие этого траектория волны загибается вверх. В холодный же день температура воздуха может увеличиваться с высотой (особенно над большими водоемами). Тогда звук отклоняется не вверх, а вниз, распространяясь таким образом на большее расстояние вдоль земной поверхности.

1.29. Скорость звука в воздухе увеличивается с повышением температуры. Поэтому, когда звук достигает относительно более теплых слоев в стратосфере, траектория волны искривляется и в конце концов отклоняется вниз. Звук будет слышен там, где он достигнет поверхности земли. Звук, распространяющийся вдоль земной поверхности, поглощается и рассеивается различными объектами, расположенными на ней. Между областью, которой достигает прямая звуковая волна, и областью, куда приходит волна, отраженная от стратосферы, находится «мертвая зона», в которой звук источника не слышен. Если проходящий из стратосферы звук достаточно хорошо отражается землей и снова достигает

стратосферы, то благодаря преломлению в ней он может опять вернуться к земле и его снова можно слышать в области, изображенной на рис. 1.29 внешним белым кольцом.

1.30. Рассеяние звука на предметах, размер которых мал по сравнению с длиной волны, обратно пропорционально четвертой степени длины волны. Поэтому звуки более короткой длины волны (высокой частоты) рассеиваются сильнее, чем звуки большой длины волны (низкой частоты). Эхо от крика будет иметь более высокий тон, поскольку высокочастотные звуки лучше отражаются от препятствий и при возвращении имеют большую интенсивность.

1.31. Непрерывно отражаясь от стен купола, звуковые волны распространяются в узком поясе вдоль стены¹. Если наблюдатель стоит внутри этого пояса, он слышит шепот. За пределами этого пояса, дальше от стены, шепот не слышен. Шепот слышен лучше, чем обычная речь, так как он богаче звуками высокой частоты, а «пояс слышимости» для высоких частот шире.

¹ Звук при этом распространяется как бы в цилиндрическом волноводе и его интенсивность убывает с расстоянием значительно медленнее, чем при распространении в открытом пространстве.— *Прим. ред.*

1.32. Предположим, вы стоите около забора лицом к нему. Звук, отраженный от некоторой штакетины слева от вас, дойдет до вас

несколько раньше, чем звук, отраженный от соседней с ней штакетины, расположенной еще левее, то есть дальше от вас. Поэтому вначале приходит звук, отраженный от ближних штакетин, а затем — по очереди — от каждой следующей, что придает эху музыкальную окраску, частота тона которой обратно пропорциональна интервалу времени между отражениями от соседних штакетин забора.

1.33. Звуки извне могут и не проникнуть внутрь столба смерча, так как звуковые волны сильно преломляются в быстрых воздушных потоках, создаваемых смерчем. Ощущение абсолютной тишины внутри смерча усиливается также и тем, что при резком понижении давления способность человека слышать ухудшается. (Летая на самолете, вы, наверное, замечали, что при наборе высоты и снижении вы плохо слышите до тех пор, пока ваши уши не приспособятся к изменению давления.)

1.34. На этот вопрос однозначного ответа нет. В зависимости от конструкции моста может преобладать тот или иной эффект либо оба могут быть одинаково важны.

1.35. Звук распространяется по ветру дальше не потому, что в этом направлении он меньше ослабляется, а потому, что, двигаясь по ветру, звуковые волны отклоняются вниз, тогда как при движении против ветра они отклоняются вверх. Скорость ветра обычно возрастает с увеличением высоты, так

как у поверхности Земли на его пути встречаются различные препятствия. Когда волна распространяется по направлению ветра, она движется вверх с большей скоростью, чем вниз, поэтому в целом отклоняется книзу. Аналогичное рассуждение позволяет понять, почему волна, движущаяся против ветра, отклоняется кверху.

1.36. Скорее всего, бронтиды связаны с аномальным распространением звука (см. задачу 1.29) от отдаленных невидимых источников такого типа, как взрывы, гром и т. д.

1.37. Звуковые волны дифрагируют в промежутках между кучами торфа и таким образом проходят в пространство за ними. Угловая ширина дифракционной картины (угол, в котором распространяется звуковая волна после выхода из отверстия) тем больше, чем больше длина волны. Поэтому, если бы птицы издавали более низкие звуки, область дифракции звука была бы шире.

1.38. Здесь действуют те же причины, которые мы уже рассматривали в задачах 1.28 и 1.29: звуковые волны, возникающие при разряде молнии, отклоняются вверх в теплых слоях воздуха у поверхности земли. За пределами области радиусом примерно 25 км звук отклоняется настолько, что уже не слышен на земле.

1.39. Здесь мы вновь сталкиваемся с уже знакомым нам явлением преломления звуковых волн из-за изменения температуры с высотой (глубиной). Как правило, темпе-

ратура воды с глубиной понижается. Звуковая волна, распространяющаяся вначале горизонтально, постепенно отклоняется вниз, поскольку ее верхняя часть, лежащая в теплых слоях воды, движется быстрее, чем нижняя, которая приходится на более холодные слои воды¹. Подобное отклонение звуковой волны иногда оказывается настолько сильным, что она полностью уходит в глубину, так и не достигнув подводной лодки.

¹ Важную роль играет изменение с глубиной солености воды.—*Прим. ред.*

1.40. Звуковая волна дифрагирует на щели точно так, как описывалось в задаче 1.37. Хотя дверь лишь слегка приоткрыта, звук, проникая через щель, распространяется по всей комнате.

1.41. Звук от громкоговорителя воспринимается звукоснимателем электрогитары, усиливается и снова поступает в громкоговоритель. Частота возникающего при этом «звона» обратно пропорциональна интервалу времени между моментами возбуждения звукоснимателя струной и возникновения звука от громкоговорителя.

1.42. Угловая ширина дифракционной картины тем больше, чем уже отверстие. При прямоугольном отверстии рупора звуковая волна меньше «расплывается» в плоскости, в которой лежит большая сторона прямоугольника. Поэтому рупор должен быть ориентирован так, как показано на рисунке.

1.43. Если пренебречь отражением звука от окружающих предметов, можно сказать, что вы слышите стоящего к вам спиной приятеля потому, что звук благодаря дифракции огибает его голову. Угловая ширина дифракционной картины тем больше, чем больше длина волны (чем ниже частота) звука. Поскольку шепот состоит в основном из высокочастотных звуков, он слышен хуже обычной речи, так как дифракционное «уширение» высокочастотной звуковой волны сравнительно мало.

1.44. Эффективная длина трубы на каждом открытом конце возрастает примерно на треть ее диаметра. Это удлинение увеличивает длину волны собственных гармоник трубы (то есть понижает резонансные частоты), что особенно заметно сказывается в широких трубах.

1.45. Инфразвук может, например, привести в состояние колебаний грудную клетку; вызываемые им изменения давления происходят достаточно медленно, так что грудная клетка успевает колебаться в такт с ними. При таких колебаниях возникает трение между внутренними органами, что может привести к внутреннему кровоизлиянию. При меньших интенсивностях инфразвук нередко вызывает головокружение и тошноту. «Укачивание» в автомобиле отчасти также обусловлено возбуждаемым при его движении инфразвуком.

1.46. При увеличении скорости потока в местах суже-

ний в трубах может возникнуть турбулентность, которая приводит к кавитации (образованию и разрыву пузырьков). Колебания пузырьков усиливаются трубами, а также стенами, полами, потолками, к которым трубы прикреплены¹.

¹ Иногда шум может быть вызван и периодическими ударами турбулентного потока о препятствия (например, сужения) в трубе.— *Прим. ред.*

1.47. Колебания стержня возбуждают внутри трубки стоячую звуковую волну. Пыль из тех мест, где колебания столба воздуха имеют пучности, постепенно перемещается в области узлов, собираясь там в относительно большие кучки, показанные на рисунке. При наличии достаточного быстрых воздушных потоков в трубе возникают вихри. В тех местах, где два соседних вихря одновременно поднимаются и опускаются, откладывается меньше пыли.

1.48. Из шума, который создает вода, наливаемая в бутылку (или выливаемая из нее), выделяются и усиливаются те звуковые частоты, которые возбуждают резонансные колебания в столбе воздуха в бутылке. Самая низкая из этих частот звучит громче остальных; ее конкретное значение зависит от объема столба воздуха. Чем больше объем, тем ниже эта частота. Поэтому, когда из бутылки выливают воду, слышимая нами резонансная частота понижается.

1.49. Окружающие звуки, в том числе и легкое дуновение

ветра вблизи устья раковины, возбуждают в заключенном в ней объеме воздуха резонансные колебания. Возбуждение и затухание этих колебаний создает у слушающего иллюзию звуков океанского прибой.

1.50. Тембр голоса определяется длиной и натяжением голосовых связок. При увеличении давления в трахее наступает момент, когда связки резко расходятся, а затем возвращаются в прежнее положение. Продолжительные колебания связок вызывают изменения давления воздуха, которые в свою очередь возбуждают резонансные гармоники полости носоглотки. Мужской голос обычно ниже женского, так как у мужчины голосовые связки толще, длиннее и вибрируют с более низкой частотой. Голос мальчиков «ломается» в период быстрого роста: гортань увеличивается, и голосовые связки из детских — тонких и коротких — превращаются в мужские. При шепоте голосовые связки расслабляются и бездействуют в гортани. Частота произносимых звуков в этом случае определяется колебаниями воздушного потока, возникающими из-за наличия других препятствий, а также резонансными частотами носоглотки.

1.51. Когда вы поете на открытом воздухе, то слышите звуки собственного голоса лишь в тот момент, когда их издаете. В ванной комнате каждый звук многократно отражается от близко расположенных стен, поэтому он слышен дольше; в результате ваш голос приобретает звон-

кость (обусловленную достаточно продолжительным звучанием высокочастотных составляющих) и сочность (благодаря продолжительному звучанию низкочастотных составляющих)¹.

¹ Важно также отметить, что эхо от стен имеет иные частотные характеристики, чем звук, который слышит человек, поющий на открытом воздухе (см. задачу 1.71).— *Прим. ред.*

1.52. Бокал имеет определенные резонансные частоты. Если певец на протяжении нескольких секунд будет петь на одной из этих частот, то колебания бокала могут усилиться до такой степени, что стекло треснет.

1.53. Завывания ветра могут возникать на висящих проводах и голых ветвях деревьев (см. задачу 1.55) или (как краевой тон) на углах крыш и других заостренных предметах (см. задачу 1.56).

1.54. Воздушный поток в трубке направлен от того ее конца, который держат в руке, к свободному концу. Такой поток возникает потому, что вследствие вращения трубки давление воздуха у вращающегося ее конца уменьшается, тогда как у другого оно равно атмосферному. Обтекающая гофрированную поверхность трубки, воздух начинает вибрировать. Частота возникающих при этом колебаний зависит от расстояния между складками и скорости воздушного потока. Из некоторого набора возникших при данной скорости вращения колебаний в трубке выделяется

и усиливается ее собственная резонансная частота, которой и определяется слышимый нами тон. Увеличивая скорость вращения, мы повышаем частоту колебаний, и в трубке выделяется более высокая гармоника.

1.55. При обтекании ветром провода или ветки дерева воздушный поток становится неустойчивым, и тогда с препятствия могут срывать вихри. С телеграфного провода, например, вихри срываются попеременно то с верхней, то с нижней его части. Эти вихри и создают колебания давления воздуха, которые мы воспринимаем как звуки. Если ветер достаточно силен, то колебания давления с двух сторон провода могут заставить его вибрировать целиком; впрочем, колебания провода не обязательны для возникновения звука. Так как локальные изменения давления обусловлены вихрями на верхней и нижней частях провода, то сам он вынужден совершать колебания перпендикулярно воздушному потоку.

1.56. При возникновении краевого тона вихри срываются с края препятствия, когда его обтекает воздушный поток. Возникающие при этом колебания края препятствия и создают слышимый нами звук. Частично звук возвращается к источнику воздушного потока. Вследствие этого возникает дополнительная неустойчивость потока, способствующая образованию вихрей. Когда эти вихри достигают края препятствия, они вновь возбуждают звук и т. д.

Когда свист создается

с помощью отверстия, звук, возвращаясь к источнику воздушного потока, изменяет скорость последнего; в результате образуются вихревые кольца (подобные кольцам табачного дыма). Когда эти кольца доходят до отверстия, снова возбуждается звук и т. д.

Чаще всего свист чайника создается двумя отверстиями, которые расположены в крышке и разделены небольшим углублением. Когда воздух изнутри чайника проходит через первое отверстие, оно становится источником воздушной струи, которая создает неустойчивость воздушного потока у второго отверстия и тем самым порождает звук. Поначалу скорость такого потока недостаточна для возникновения неустойчивости, когда же вода близка к кипению, воздух движется быстрее, завихрения у второго отверстия становятся больше, и возникает звук.

1.57. Бутылка из-под лимонада, свирель, флейта отличаются от свистков, рассмотренных в задаче 1.56, тем; что в них вблизи отверстия или края, на которых образуются неустойчивости, находится резонирующая полость. Из набора частот, присутствующих в звуке, возникающем на краю препятствия или в отверстии, полость выделяет и усиливает резонансную частоту, которую мы и слышим.

1.58. В полицейском свистке вдуваемый в него воздух создает краевой тон, из которого полость выделяет

свою резонансную частоту¹. Находящийся в полости шарик то и дело перекрывает поток воздуха, отчего свисток издает «трель».

¹ Основной эффект возникает по другой причине. Воздушный поток разбивается острым краем резонансной полости на два потока, один из которых проходит мимо края, а другой направляется в полость, давление в которой повышается. Через определенные промежутки времени второй поток прерывает основную струю, вследствие чего и возникают периодические колебания давления в воздухе, распространяющиеся в виде звуковой волны.— *Прим. ред.*

1.59. По-видимому, обычный свист сквозь губы можно уподобить свисту, который создается отверстием (см. задачу 1.56), а рот при этом играет роль полости-резонатора; однако все тонкости движения воздуха в этом случае пока еще не исследованы².

² При свисте губами звук возникает, по-видимому, благодаря периодическому образованию вихрей при истечении воздуха между губами.— *Прим. ред.*

1.60. Рупор граммофона и воздух внутри него «нагрузили» мембрану граммофона и трансформировали колебания маленькой мембраны в колебания воздуха у края рупора. Длинная узкая труба лишь накапливала бы энергию колебаний в стоячих волнах, выделяя среди них свои собственные резонансные частоты. Если бы мембрана сообщалась с окружающим воздухом без трубы, то она колебалась бы слишком свободно и воздуху передава-

лась бы лишь малая доля энергии ее колебаний¹.

¹ Маленькая мембрана не может излучать достаточно большую мощность, поскольку давление воздуха по обе стороны мембраны выравнивается. Вместо того чтобы возбуждать звуковую волну в окружающем воздухе, маленькая мембрана «перекачивает» прилегающие к ней слои воздуха с одной стороны на другую. Рупор препятствует такому выравниванию давления. Второй важный эффект — дифракция звука, в результате которой маленькая мембрана излучает звук во всех направлениях. Рупор устраняет дифракцию на краях плоской волны, благодаря чему волна подходит к широкому устью рупора, оставаясь близкой к плоской, и излучается так, как если бы колебалась большая мембрана, площадь которой равна площади устья рупора. — *Прим. ред.*

1.61. Звук, по-видимому, обусловлен колебаниями давления в неустойчивых вихрях, выходящих из центрального отростка свистка.

1.62. Различие размеров динамиков объясняется двумя основными причинами. Во-первых, большой диффузор не «успевает» колебаться с высокой частотой, и на его поверхности появляются изгибные волны. Поэтому в области высоких частот используется «легкий» диффузор сравнительно малых размеров. Во-вторых, динамик должен излучать звук так, чтобы он заполнял все помещение. Угловая ширина дифракционной картины зависит от соотношения между размерами диффузора и длиной звуковой волны. Волны малой длины (высокие частоты) на большом диффузоре будут излучаться в малом угле, то есть направленно.

Поэтому для того, чтобы высокие частоты хорошо заполняли помещение, они должны исходить из маленького динамика.

1.63. Обычно, когда мы говорим, звук благодаря дифракции распространяется почти равномерно во всех направлениях. Размеры открытого конца рупора-мегафона велики по сравнению с длиной волны звука, поэтому дифракция в этом случае выражена слабо. В результате рупор усиливает звук в определенном направлении.

1.64. Наше ухо воспринимает низкие тона даже в том случае, если они не излучаются динамиком. Дело в том, что, когда ухо улавливает колебания двух различных частот, мы слышим также частоты, равные их сумме и разности, а кроме того, — равные суммам и разностям некоторых частот, кратных основным. Наиболее отчетливо слышна разностная частота (разностный тон), которая воспринимается как басовый звук.

1.65. Частота слышимого звука зависит от скорости источника звука относительно наблюдателя. Изменение частоты (в данном случае — звука) при движении источника называется эффектом Доплера. Когда гоночный автомобиль приближается к неподвижному наблюдателю, частота «рева» его двигателя, воспринимаемая наблюдателем, повышается, когда же автомобиль удаляется от наблюдателя, частота понижается.

1.66. До сих пор остается

неясным, как работает локатор летучей мыши. Одни летучие мыши излучают короткие импульсы постоянной частоты (ПЧ); отраженный сигнал сообщает мыши о наличии препятствия (или какого-либо объекта), а по частоте отраженного сигнала она может определить, с какой скоростью она движется относительно него (об эффекте Доплера см. задачу 1.65). Другие летучие мыши излучают частотно-модулированный (ЧМ) сигнал. В этом случае частотная характеристика отраженного сигнала может нести информацию о форме, размерах, характере поверхности препятствия и расстоянии до него. Поскольку ЧМ-сигнал не является монохроматическим, а занимает некоторую полосу частот, то в этом случае невозможно определить скорость объекта по доплеровскому смещению. Поэтому некоторые летучие мыши для получения наиболее полной информации об объекте излучают комбинированный ПЧ — ЧМ-сигнал.

1.67. Флуктуации давления не настолько велики, чтобы мы могли воспринимать их. Но даже если бы броуновское движение было более интенсивным, мы, скорее всего, все равно «не слышали» бы его, так как мозг отфильтровывал бы любой постоянный шумовой сигнал.

1.68. Предположим, вы разговариваете с кем-нибудь в комнате. Вы одновременно слышите и непосредственную речь вашего собеседника, и ее звуки, отраженные от стен и различных предметов. Если в комнате,

кроме того, ведутся и другие разговоры, то возникает общий рассеянный шум, который ваш собеседник, чтобы вы слышали его, должен преодолеть. Уровень этого шума зависит от объема помещения, звукопоглощающей способности стен и находящихся в комнате предметов, а также от числа говорящих. Когда последнее достигает некоторого критического значения, голос вашего собеседника начинает тонуть в общем шуме. При дальнейшем увеличении числа говорящих ему придется повысить голос, но то же самое сделают и другие, так что шум усилится.

1.69. Скорость полета ракеты Фау-2 превышала скорость звука, поэтому звук от взрыва приходил к наблюдателю раньше, чем звук самой ракеты.

1.70. «Живой» разговор во время шумной вечеринки несет по крайней мере один вид дополнительной информации, которая отсутствует в магнитофонной записи, — направленность. Вы можете расслышать конкретный разговор среди общего шума, если вам удастся определить (это достигается благодаря бинауральному слуху) направление доносящегося звука.

1.71. Когда вы слышите собственный голос, большая часть звуков, особенно низкочастотных, поступает к вам в ухо непосредственно через кости черепа. Окружающие же слышат ваш голос лишним тех низкочастотных составляющих, которые для вас окрашивают собственный

голос в более сочные, глубокие тона. Слушая свой голос в записи на хорошем магнитофоне, вы воспринимаете его таким же, каким его слышат окружающие.

1.72. Направление прихода звука можно определить, сравнивая приходящие к нам звуки по интенсивности, разности фаз и временной задержке. Разница в интенсивности звуков играет роль только для высоких частот (то есть коротких длин волн), так как более длинноволновые звуки огибают голову благодаря дифракции и их интенсивность у обеих ушей примерно одинакова. Однако звуки с большой длиной волны приходят к правому и левому ушам в разной фазе, причем разность фаз зависит от ориентации головы относительно направления на источник звука. На промежуточных частотах (в области примерно 4 кГц) оба этих способа определения направления неэффективны и определить направление прихода звука довольно трудно.

1.73. Если самолет летит со скоростью, большей скорости звука, то впереди него образуется ударная волна (скачок уплотнения воздуха) конической формы. Этот конус, расширяясь, достигает поверхности земли, где возникает скачок давления, воспринимаемый как звук хлопка или выстрела. Вторую ударную волну создает хвост самолета. Иногда эти два скачка давления неразличимы, иногда же они воспринимаются как два отдельных удара. Ударная волна может и не достигнуть поверхности земли, если она

достаточно искривляется в теплом нижнем слое воздуха. (О преломлении звуковых волн при изменении температуры см. задачи 1.28 и 1.29.)

1.74. В настоящее время явление грома стало предметом внимательного изучения. Предполагается, что электрический разряд молнии вызывает сильное нагревание и резкое расширение воздуха; в результате создается цилиндрическая ударная волна, которая и служит основным источником грома. Недалеко от места удара молнии можно также расслышать шипение [скорее всего, его производит коронный разряд (см. задачу 6.46)] и щелчок — видимо, это звук движущегося вверх «лидера» (см. задачу 6.32). Длительное звучание грома (рокот и раскаты), вероятно, обусловлено отражением звука от окружающих объектов.

1.75. Ослабление звука в атмосфере (за счет вязкого трения и теплопроводности) слишком сильно, чтобы звук с высоты более 80 км мог достигнуть земли. Для того чтобы звук возникал при столкновениях ледяных кристаллов, образующихся из выдыхаемого пара, температура воздуха должна быть не выше -40°C .

1.76. Видимые полосы создаются возникающими во время артиллерийской канонады ударными волнами. Эти волны изменяют показатель преломления воздуха и вызывают резкое увеличение конденсации паров в облаках или в тумане, через которые

они проходят (см. задачу 3.27).

1.77. Здесь возможны два объяснения: либо кончик бича, изгибаясь, бьет сам по себе, издавая при этом звук, либо, двигаясь быстрее звука, он создает ударную волну.

2.1. Предположим для простоты, что вы надели шляпу и поэтому капли дождя, падающие на голову вас не беспокоят. Тогда, если дождь идет навстречу или падает вертикально, следует как можно быстрее бежать к укрытию. Если же дождь бьет в спину, то нужно двигаться со скоростью, равной горизонтальной составляющей скорости дождевых струй.

2.2. Конечно, экстраполировать траекторию мяча игроку помогает опыт. В статье, на которую мы ссылаемся, высказывается мнение, что игрок должен следить за углом, под которым мяч виден над горизонтом (углом возвышения мяча). Если бежать так, чтобы скорость изменения этого угла все время оставалась постоянной, то вы подбежите к месту падения мяча точно в нужный момент. Впрочем, опытный игрок обычно следит за углом возвышения мяча непроизвольно.

2.3. Подъезжая к перекрестку, на котором только что загорелся желтый свет, водитель может затормозить с максимальным отрицательным ускорением, проскочить перекресток с максимальным положительным ускорением или продолжать ехать

с прежней скоростью. Для примера рассмотрим следующий набор параметров: автомобиль движется со скоростью 54 км/ч (15 м/с), ширина перекрестка 10 м, желтый свет горит 2 с, а максимальное ускорение равно -3 м/с^2 при торможении и $+3\text{ м/с}^2$ при разгоне. Определим, на каком расстоянии от перекрестка нужно находиться, чтобы выбрать какой-либо из трех вариантов прохождения перекрестка (при условии, что двигатель немедленно реагирует на нажатие педали акселератора). Для того чтобы успеть вовремя проскочить перекресток в тот момент, когда загорается желтый сигнал, вы должны находиться от него не дальше, чем в 26 м. Чтобы вовремя остановиться, нужно быть от перекрестка не ближе чем в 37,5 м. При расстоянии в пределах 26—37,5 м можно выбрать любую тактику.

2.4. Поскольку мяч пролетает зону (в которой игрок с битой имеет право отбить мяч) примерно за 0,01 с, время удара нужно рассчитывать с точностью выше 0,01 с. Ошибка в определении расстояния по вертикали должна быть меньше 1 мм. «Судьба чемпионата мира 1962 г. была решена ударом, при котором бита коснулась мяча на миллиметр выше, чем нужно. Звание чемпиона было потеряно» [4].

2.5. Если пренебречь тем, насколько может быть опасен для пассажиров удар автомобиля тем или другим бортом, и если стену объехать нельзя, то нужно двигаться

прямо на нее, пытаясь затормозить как можно скорее. Расчет показывает, что при идеальном состоянии тормозов и дорожного покрытия избежать столкновения со стеной, двигаясь по дуге окружности, можно только в том случае, если сила трения между колесами и дорогой будет вдвое больше, чем при торможении, когда автомобиль движется прямо.

2.6. При ударе мяч приобретает тем большую скорость, чем больше момент силы, действующей на клюшку. Однако при данном конкретном значении момента скорости конца клюшки будет зависеть от того, как именно действуют силы. Согласно исследованию [5], чем дольше не распрямлять кисть руки, тем больше будет скорость конца клюшки. Правильный выбор времени, в течение которого кисть удерживается в согнутом состоянии, и умение добиться этого и составляют искусство игры в гольф, постигнуть которое стремятся игроки.

2.7. В бобах сидят маленькие червячки, которые то и дело подпрыгивают¹.

¹ Система боб — червяк не замкнута. Она взаимодействует с ладонью и с Землей. — *Прим. ред.*

2.8. При прыжке с шестом спортсмен, чтобы прыгнуть как можно выше, должен максимально увеличить свою кинетическую энергию; в обычном же прыжке высота зависит в основном от последнего толчка, а не от кинетической энергии, приобретенной при разбеге. При

прыжке в длину прыгун «болтает» ногами для того, чтобы скорректировать наклон туловища.

2.9. Игрок может успеть добежать до базы и после удара по «медленному» мячу. Если игрок не ошибется и не размахнется для удара слишком рано, то такая подача лишь увеличит его шанс на успех.

2.10. Обычный удар причиняет сравнительно небольшой ущерб, так как в основном он сводится просто к толчку противника. Резкий удар каратэ нацелен на несколько сантиметров в глубину тела, поэтому рука соприкасается с телом в тот момент, когда она имеет максимальную возможную скорость¹.

¹ При резком коротком ударе рука взаимодействует с небольшим участком тела, сообщая ему большие ускорения и, следовательно, вызывая большие деформации. При обычном («затяннутом») ударе ускорение сообщается большому участку тела (масса которого соответственно велика). При этом как получаемое им ускорение, так и его деформация невелики.— *Прим. ред.*

2.11. Если цель состоит в том, чтобы деформировать предмет (как, например, при ковке), то предпочтительней неупругий удар. При каждом таком ударе молоток теряет тем большую часть своей энергии, чем меньше его масса. Поэтому при ковке лучше пользоваться легким молотком. При забивании сваи желательнее передать ей возможно большую кинетическую энергию и возможно меньшую энергию терять на деформацию. Сле-

довательно, в этом случае лучше пользоваться тяжелым молотом.

2.12. Чем мягче мяч, тем дольше он должен находиться в контакте с битой и тем большую кинетическую энергию ему можно сообщить за время этого контакта. Поэтому по мягкому мячу, несомненно, стоит бить «с протяжкой».

2.13. Оптимальный размер биты должен быть таким, чтобы он позволил игроку при наименьшей затрате энергии сообщить мячу наибольшую скорость. Однако игроки обычно выбирают биты потяжелее для более сильного удара или полегче, чтобы ею было удобнее размахивать, и не принимают в расчет то, какая энергия передается мячу. В работе [4] проводится упрощенный расчет, согласно которому оптимальная масса биты должна быть в 3—4 раза больше массы мяча. Однако при более точных расчетах это отношение оказывается несколько больше.

2.14. Внешняя сила создается в результате трения между стулом и полом¹.

¹ Когда вначале вы «бросаете» свое тело вперед, стул не скользит. В это время сила трения сообщает системе тело — стул ускорение, и центр масс системы приобретает скорость. В дальнейшем центр масс по инерции движется вперед, а сила трения направлена назад, препятствуя движению стула.— *Прим. ред.*

2.15. Когда жучок лежит вверх ногами, особый выступ на передней части его тела мешает ему распрямиться,

чтобы совершить прыжок. Какое-то время он накапливает мышечное напряжение, затем, резко изогнувшись, подбрасывает себя вверх. Прежде чем жучок снова сможет подпрыгнуть, он должен снова медленно «напрячь» мышцы.

2.16. Когда песок сыпется, вес песочных часов не меняется, несмотря на то, что часть песка находится в воздухе. Вес этой части компенсируется силой, с которой песок ударяет о доннышко часов. Интересно, что будут показывать весы в тот момент, когда песок только начинает сыпаться или когда падает последняя крупинка?

2.17. Сечения всех отверстий различны, поэтому один и тот же вес цилиндрика, распределенный по разной площади, создает различные давления. Например, в случае самого большого отверстия на единицу площади приходится наименьший вес, поэтому внутри кастрюли устанавливается наименьшее давление.

2.18. Отскочив от пола, большой мяч сталкивается с маленьким и передает ему часть своей кинетической энергии и импульса. В результате маленький мяч подпрыгивает на большую высоту, чем та, с которой он упал. Самая большая скорость, которую после удара об пол может приобрести маленький мяч, втрое больше той скорости, которую он имел в конце падения. Соответственно максимальная высота, на которую он может подняться, в девять раз

больше той высоты, с которой он упал. Чем ближе масса меньшего мяча к массе большего, тем на меньшую высоту он подпрыгнет после удара.

2.19. Коэффициент трения скольжения меньше коэффициента трения покоя. Поэтому, когда колеса крутятся, со стороны дороги на них действует большая сила трения, чем в том случае, когда они скользят. На сухом ровном асфальте коэффициент трения покоя (колеса не проскальзывают) достигает 0,8, тогда как при скольжении он не превышает 0,6. Когда начинается скольжение («блокирование» колес), асфальт и шины могут расплавиться, и тогда автомобиль будет двигаться по тонкому слою жидкости. Чтобы затормозить, автомобиль с «блокированными» колесами (при прочих равных условиях) должен пройти расстояние, на 20% большее, чем при вращающихся колесах. Поэтому автомобиль останавливается быстрее всего, если к тормозам прикладывать усилие, чуть меньшее того, при котором колеса блокируются¹.

¹ При скольжении колес возникает опасность бокового «заноса» автомобиля, так как при этом движение вбок может быть вызвано даже очень малой силой.— *Прим. ред.*

2.20. Сила трения между шиной и дорожным покрытием не зависит от площади контакта, так что широкие шины без протектора ничем не лучше узких. Если колеса автомобиля пробуксовывают,

когда он трогается с места (так во время гонок бывает на старте), то широкие шины имеют определенное преимущество, потому что у них нагрев распределяется по большей площади и, следовательно, снижается вероятность того, что шина расплавится (при плавлении шины сильно уменьшается коэффициент трения, см. задачу 2.19).

2.21. Вначале скорость зависит от сцепления колес автомобиля с дорожным покрытием. Чем лучше сцепление, тем меньше время затрачивается на прохождение начальной части дистанции, однако в дальнейшем сцепление влияет на скорость незначительно (изменение скорости не превышает нескольких процентов). Максимальная скорость, которой автомобиль достигает на финише, определяется мощностью двигателя.

2.22. Между тем пальцем, который начинает двигаться первым, и линейкой действует трение скольжения. Другой палец сначала не движется, так как коэффициент трения покоя больше коэффициента трения скольжения. Однако сила трения для каждого из пальцев определяется не только коэффициентом трения, но и давлением линейки. По мере того как движущийся палец приближается к середине линейки, давление на него возрастает. Наконец, несмотря на разницу в коэффициентах трения, трение, действующее между линейкой и этим пальцем, становится больше, чем трение между линейкой и непо-

движным пальцем. Тогда первый палец перестает двигаться относительно линейки, и начинает двигаться другой. Такой процесс может повториться несколько раз, пока пальцы не встретятся посередине линейки¹.

¹ Движение пальцев будет выглядеть точно так же и при одинаковых коэффициентах трения скольжения и трения покоя.— *Прим. ред.*

2.23. При резком торможении на повороте машина наклоняется вперед; давление на передние колеса увеличивается, а на задние — уменьшается. При этом на повороте зад машины может занести в сторону. При ускорении автомобиля давление на его задние колеса возрастает и их сцепление с дорогой улучшается.

2.24. Начальная скорость вращения колес должна быть мала, и момент сил, действующих на колеса со стороны трансмиссии и двигателя, должен быть меньше момента сил трения покоя. Иначе колеса будут проворачиваться — буксовать. Какую передачу выбрать, зависит от опыта водителя и плавности работы сцепления. Если водитель привык «газовать», трогаясь с места, то момент сил можно уменьшить вдвое, начиная движение со второй передачи².

² В этом случае нагрузка передается от двигателя через шестерни с меньшим передаточным числом и сила, действующая на колеса, уменьшается.— *Прим. ред.*

2.25. Если вас не связали, попытайтесь бросить ботинок или что-нибудь другое в направлении, противоположном тому, в котором вы хотите передвинуться. Если трение о лед полностью отсутствует, то полный импульс системы должен оставаться равным нулю, и поэтому вы начнете скользить в нужную сторону.

2.26. Момент импульса колеса мотоцикла много больше, чем велосипедных колес, и играет существенную роль. Для того чтобы повернуть мотоцикл, вы наклоняете его. Момент силы реакции земли, действующей на переднее колесо мотоцикла, заставляет колесо прецессировать, благодаря чему мотоцикл поворачивает. (Аналогичная прецессия обычно наблюдается у волчков, см. задачу 2.69.) Моменты импульса велосипедных колес много меньше, поэтому здесь полагаться на прецессию нельзя. Для того чтобы осуществить поворот на велосипеде, нужно наклонить его и одновременно повернуть руль. Кстати, в какую сторону вы сначала поворачиваете руль — влево или вправо, — если хотите повернуть, скажем, влево?

2.27. Кинетическая энергия центра масс «своего» шара передается другому шару, однако первый сохраняет кинетическую энергию вращения. Поэтому в первый момент после удара «свой» шар продолжает вращаться, но проскальзывает и по столу не движется. Однако из-за трения вращение постепенно замедляется, и шар начинает катиться по столу.

Если удар кием пришелся выше центра масс «своего» шара, то он покатится следом за шаром, по которому он ударил.

2.28. Рассмотрим упругий мячик, брошенный под углом к полу с некоторой «закруткой». Скорость центра масс мячика можно разложить на две составляющие: параллельную полу и перпендикулярную ему. При ударе мячика об пол вертикальная составляющая просто меняет знак и оказывается теперь направленной вверх. Однако вращение мячика и горизонтальная составляющая меняются более сложным образом. Рассмотрим точку поверхности мячика, в которой он соприкасается с полом. Ее горизонтальная скорость равна сумме скорости относительно центра масс мяча и горизонтальной проекции скорости центра масс, и при ударе она меняет направление. Изменяются также скорость вращения мяча и горизонтальная составляющая скорости центра масс мяча. Направление, в котором мяч отскочит от пола, можно найти, определив полный вектор скорости центра масс. Пусть, например, мячик брошен под углом 45° к полу без начальной «закрутки». При ударе он отскочит под углом $23,2^\circ$ к вертикали и будет вращаться вперед. Если же при бросании мячик удачно «закрутить», то, неоднократно отскакивая от пола, он будет описывать те замысловатые траектории, которые показаны на рисунке.

2.29. Устойчив такой велосипед, у которого точка пересечения оси вращения руля с горизонталью, проходящей через центр колеса, при повороте его опускается в сторону наклона велосипеда. Из трех конструкций, изображенных на рис. 2.29, б, последняя неустойчива, тогда как вторая — чрезмерно устойчива, и в этом случае велосипед плохо «слушается» на поворотах. Гироскопические эффекты не оказывают существенного влияния на устойчивость велосипеда, хотя вращение колес в течение некоторого времени обеспечивает устойчивость велосипеда, если его толкнуть без седока.

2.30. Вращение хула-хупа поддерживается колебательным движением точки соприкосновения кольца с телом. При своем движении эта точка опережает вращение кольца вокруг тела. Начальная скорость хула-хупа должна быть больше, чем скорость установившегося вращения.

2.31. См. ответ к задаче 2.29.

2.32. По-видимому, еще никто не занимался изучением сил, действующих на вращающееся лассо, так что вы можете попробовать самостоятельно исследовать их теоретически либо на практике. Короткий кусок веревки, идущий от руки к кольцу лассо, удерживает кольцо в воздухе и сообщает ему вращательное движение. При большой скорости вращения кольцо благодаря своему моменту импульса приобретает некоторую гироскопическую устойчивость.

2.33. Вращение вокруг осей, соответствующих максимальному и минимальному моментам инерции, устойчиво по отношению к малым возмущениям. Вращение же вокруг оси, соответствующей промежуточному значению момента инерции, неустойчиво, и всякое малое возмущение в этом случае приводит к беспорядочному движению книги.

2.34. Трение между кольцом и палочкой не дает кольцу просто соскользнуть вниз. Частично устойчивость вращающегося кольца обусловлена силой, действующей со стороны палочки перпендикулярно кольцу. По мере движения кольца вниз его скорость вращения и кинетическая энергия увеличиваются за счет начальной потенциальной энергии. Насколько мне известно, исследованием этой игрушки никто не занимался. Так что почему бы вам не поэкспериментировать с ней и не попытаться разработать теоретическую модель, которая позволила бы объяснить увеличение скорости вращения кольца.

2.35. Когда каяк переворачивается, гребец вытягивает руки с веслом в сторону и резко двигает веслом по направлению ко дну. В результате возникает момент сил, который поворачивает каяк вместе с гребцом в нормальное положение. Для того чтобы момент сил был достаточен для полного выравнивания лодки, гребец стремится насколько возможно «прижаться» к оси вращения лодки и сделать момент

инерции относительно этой оси как можно меньше.

2.36. Существует некое максимальное угловое ускорение, которое можно сообщить автомобильному колесу. Чем больше диаметр шины, тем большее расстояние автомобиль проходит при каждом обороте колеса и тем больше его линейное ускорение. Однако при ограниченной мощности двигателя установка шин большего диаметра приведет к уменьшению углового ускорения, в результате линейное ускорение останется прежним.

2.37. Выбор наилучшей тактики зависит от ряда факторов, в первую очередь от соотношения скорости заноса и линейной скорости центра масс автомобиля, а также от того, какие колеса сохранили сцепление с дорогой. Необходимо также четко уяснить, что важнее: воспрепятствовать заносу или приостановить движение вперед. Допустим, к примеру, что заднюю часть автомобиля заносит вправо, что движением вдоль дороги можно пренебречь и что передние колеса сохранили сцепление с дорогой. Тогда, чтобы помешать заносу, следует поворачивать передние колеса в направлении вращения (то есть вправо) и потихоньку давать газ. По мере уменьшения заноса нужно выводить передние колеса влево, восстанавливая тем самым правильную ориентацию автомобиля на дорожном полотне.

2.38. Статически сбалансированное с помощью одного

груза колесо может при вращении оказаться несбалансированным динамически¹. С другой стороны, колесо можно сбалансировать динамически и оно не будет «бить»; однако если это сделать с помощью одного груза, то статическая балансировка может оказаться нарушенной. При обычной балансировке колес удовлетворяются каким-либо компромиссным вариантом. Если же использовать два груза, то можно добиться как статического, так и динамического баланса.

¹ При статической балансировке колеса его центр масс лежит на оси колеса, однако распределение массы колеса может оказаться несимметричным относительно плоскости, перпендикулярной оси. При вращении такое колесо будет вести себя как диск, плоскость которого не перпендикулярна оси вращения. Такое колесо не сбалансировано динамически.— *Прим. ред.*

2.39. Момент силы, с которой вы действуете, когда тянете за бумажную ленту, должен быть больше момента силы трения между картонной трубкой внутри рулона и кронштейном². Если для создания такого момента нужно приложить к бумаге слишком большую силу, то всякий раз, пытаясь повернуть рулон, вы будете рвать бумагу. Чем больше диаметр рулона, тем меньшая сила нужна, чтобы добиться требуемого момен-

² Разность этих моментов сообщает рулону угловое ускорение, которое зависит также от момента инерции рулона.— *Прим. ред.*

та; однако в этом случае и момент силы трения оказывается больше, так как больше масса рулона. Критический радиус рулона для большинства кронштейнов составляет примерно 2 см.

2.40. Камень, скачущий по песку, обычно сначала ударяется задним концом. Возникающие при этом силы отбрасывают камень на небольшое расстояние и придают ему некоторое вращение, вследствие чего он ударяется теперь передним концом. После этого камень отлетает на большее расстояние. Когда же камень скачет по поверхности воды, то, судя по всему, он не делает коротких скачков. Вначале он также ударяется задним концом, но затем начинает скользить по воде, отклоняясь назад по мере того, как перед ним образуется волна. Это продолжается до тех пор, пока, наконец, камень не совершит относительно большой скачок. Можно попытаться более тщательно исследовать все действующие при этом силы и моменты путем скоростной съемки.

2.41. Задние колеса соединены между собой не жестко, а через дифференциал. На повороте дифференциал, который состоит из четырех конических шестерен, позволяет «внешнему» колесу вращаться быстрее «внутреннего».

2.42. Двигатель, установленный посередине машины, обладает меньшим моментом инерции относительно центра масс автомобиля, поэтому для поворота автомобиля

будет нужен меньший момент сил.

2.43. Канатоходец должен постоянно покачиваться из стороны в сторону: вначале он наклоняется в одну сторону, затем перемещает точку опоры в ту же сторону, проскакивает положение равновесия, наклоняется в другую сторону, затем сдвигает в эту же сторону точку опоры, и т. д. С шестом удерживать равновесие легче. Выдвигая шест вправо и влево, канатоходец может удерживать свой центр масс точно над точкой опоры.

2.44. Грузик будет облетать бутылку, но не заденет ее, если только не направить его сразу же прямо в бутылку. На грузик не действуют силы, момент которых относительно вертикальной оси не равен нулю¹. Поэтому вертикальная составляющая момента импульса грузика остается неизменной. В случае, когда бутылка находится точно под точкой подвеса грузика, сохранение составляющей момента импульса означает, что грузик должен двигаться по эллиптической орбите вокруг бутылки, исключая, конечно, случай прямого попадания в нее. Однако, немного схитрив, можно все-таки попасть в бутылку. Перед тем как отпустить грузик, нужно закрутить нитку, чтобы в полете он начал вращаться.

¹ Моменты всех действующих на грузик сил относительно вертикальной оси равны нулю. Поэтому момент количества движения грузика вокруг вертикальной оси остается неизменным. — *Прим. ред.*

Тогда на грузик будет действовать сила, аналогичная той, которая действует на мяч при «крученой» подаче (см. задачу 4.39).

2.45. Момент импульса кошки остается постоянным при свободном падении, так как моменты внешних сил отсутствуют. Однако, вытягивая или прижимая к телу передние или задние лапы, кошка может сделать так, что момент инерции передней части ее тела относительно центральной оси окажется отличным от момента инерции задней части тела. Например, если она вытягивает передние лапы и поджимает, а затем поворачивает заднюю часть тела, то передняя поворачивается в противоположном направлении, но не так быстро и на меньший угол. Поэтому все тело кошки несколько поворачивается в том направлении, в каком повернулась задняя часть ее тела. Затем кошка поджимает передние ноги и вытягивает задние. Далее все повторяется сначала, и поворот в нужном направлении еще более увеличивается. Наконец, поворот тела кошки становится достаточным для того, чтобы она могла упасть на лапы и полностью выпрямиться.

2.46. «Австрийский» поворот включает те же элементы вращения, которыми пользуется кошка, чтобы встать при падении на лапы. Если на лыжника не действуют моменты внешних сил, то вращение верхней части тела в одну сторону должно сопровождаться противоположным по направлению вра-

щением нижней части тела так, чтобы момент импульса сохранялся. Поворот можно также осуществить, перенося тело вперед или назад. Что же происходит, если при спуске наискосок по склону горы тело переносится вперед. Когда центр тяжести находится впереди, сила трения задней части лыж имеет большее плечо относительно центра масс, чем сила трения передней части лыж. Поэтому возникает момент сил, который и поворачивает лыжи вместе с лыжником.

2.47. Когда «ио-ио» вращается на конце нитки, трение скольжения между петлей и осью колесика невелико. Если же резко дернуть нитку вверх, то петля стягивается и сила трения увеличивается, благодаря чему проскальзывание может прекратиться. После этого колесико начнет наматывать на себя нитку.

2.48. Мне не приходилось встречать каких-либо работ, в которых борьба дзюдо исследовалась бы с физической точки зрения. Вы можете сами поэкспериментировать в этой области. Удар по ковру увеличивает площадь соприкосновения тела с полом в момент падения, в результате чего сила удара на единицу поверхности тела уменьшается, что особенно важно для грудной клетки. При ударе рукой туловище может также повернуться, что еще более смягчит падение.

2.49. Вращающаяся пуля ведет себя как гироскоп, стремясь в течение всего полета сохранить неизменным направление оси вращения в

пространстве. Поэтому на протяжении большей части параболической траектории пули набегающий поток воздуха направлен не по оси ее, а под некоторым углом к ней. Результирующий момент силы вызывает прецессию пули, аналогичную прецессии волчка. Когда же пуля поворачивается немного боком (вправо или влево), она отклоняется от намеченной траектории.

2.50. Стопка книг не рассыплется, если составлять ее так, чтобы центр масс всех книг, находящихся выше некоторой произвольно выбранной книги, лежал на вертикали, проходящей через эту книгу. Это условие должно выполняться для любой книги в стопке. Попробуйте определить, насколько можно наклонить стопку из данного числа одинаковых книг или, наоборот, сколько книг понадобится для того, чтобы получить заданный сдвиг. Для того чтобы стопка нависала на ширину одной книги, нужно по крайней мере пять книг. Для того чтобы стопка нависала на ширину трех книг, потребуется 227 книг, а для наклона на ширину 10 книг стопка должна состоять из $1,5 \cdot 10^{44}$ книг!

2.51. Если бы обе части трубы не были жестко скреплены, верхняя ее часть имела бы меньшее угловое ускорение, чем нижняя. Поэтому во время падения на каком-то участке трубы возникает механическое напряжение. В начале падения наибольшее напряжение создается примерно посередине трубы, там она, скорее всего, и ломается. Если же труба ломается уже в конце падения,

то разлом (он вызван деформацией сдвига) произойдет где-то на уровне трети ее высоты.

2.52. Снаряды отклоняются от прямой линии прицеливания под действием кориолисовой силы. Это сила инерции, которая действует во вращающейся системе отсчета, связанной с Землей. Артиллеристы наводят свои орудия с учетом отклонения полета снаряда, однако величина поправки зависит от широты и имеет разные знаки в северном и южном полушариях. Английские орудия были прицелены с учетом поправки в северном полушарии на широте Британии, а выстрелы производились на 50° ю. ш.

2.53. Кориолисова сила (см. задачу 2.52) вызывает небольшое отклонение реки: в северном полушарии вправо, а в южном — влево. Считается, что этим отклонением вызвана и повышенная эрозия соответствующих берегов.

2.54. Скорость вращения возрастает под действием кориолисовой силы¹ (см. задачу 2.52).

¹ В инерциальной системе отсчета изменение скорости вращения балерины вызывается внутренними силами взаимодействия различных частей ее тела. Когда балерина прижимает руки к туловищу, линейная скорость рук должна уменьшиться. Следовательно, на них со стороны туловища действуют силы. В свою очередь руки действуют на туловище, благодаря чему скорость его вращения увеличивается. — *Прим. ред.*

2.55. Праворучный бумеранг бросают в вертикальной пло-

скости, придавая ему вращение вокруг горизонтальной оси. Поскольку бумеранг имеет профиль крыла, на него действует направленная вбок «подъемная сила», причем на верхнюю часть в большей степени, чем на нижнюю, так как верхняя часть движется в том же направлении, что и весь бумеранг, а нижняя — в противоположном. В результате возникает момент сил, стремящийся наклонить бумеранг, однако он не наклоняется, а весь смещается вбок, сохраняя вертикальное положение. Если смещение будет достаточно большим, то бумеранг совершит полет по замкнутому кругу.

2.56. Вы можете раскачивать качели, поднимая свой центр тяжести (то есть выпрямляя ноги, когда вы раскачиваетесь стоя, или поджимая их, когда вы раскачиваетесь сидя) всякий раз, когда качели находятся в нижней точке. За счет совершаемой работы увеличивается энергия качелей и, следовательно, амплитуда качания. Труднее объяснить, как качели выводятся из состояния покоя. Отклоняясь назад и на мгновение как бы падая, вы приобретаете кинетическую энергию и сообщаете качелям момент импульса, при этом систему человек — качели можно рассматривать как двойной маятник. Затем, отклонившись на длину вытянутых рук, вы прекращаете падение и качаетесь вместе с качелями, как простой физический маятник, пока не получите возможности снова отклониться назад.

2.57. Четкий ритм шага военных при марше по мосту

может попасть в резонанс с собственными колебаниями моста. Хотя каждый шаг сообщает колебаниям моста очень небольшую дополнительную энергию, при наличии резонанса энергия будет суммироваться и накапливаться; в результате амплитуда колебаний моста может увеличиться настолько, что мост рухнет (см. также задачу 4.84).

2.58. Кадило раскачивают точно так же, как качели (см. ответ к задаче 2.56).

2.59. Представьте, что на дороге имеется ухаб, при проезде через который у машины начинает колебаться «передок». В тех местах, где колебание направлено вниз, шины могут вдавливаться в дорогу. Если в одном и том же месте это происходит со многими автомобилями, то может образоваться еще один ухаб и т. д.

2.60. Бортовая качка корабля отстает по фазе на 90° от ударов волн. Колебания воды в цистернах имеют ту же резонансную частоту, что и колебания корабля, но отстают по фазе от бортовой качки еще на 90° . (Почему?) Поэтому колебания воды в цистернах отстают по фазе от ударов волн на 180° , то есть совершаются в противофазе, противодействуя тем самым бортовой качке корабля.

2.61. Маятник не упадет, если вертикальное ускорение, обусловленное его колебаниями, больше ускорения силы тяжести. Если трение отсутствует, то маятник будет качаться вправо-влево все

время, пока его нижний конец совершает колебания в вертикальной плоскости. Если же трение значительно, то маятник примет устойчивое вертикальное положение.

2.62. Массу груза и упругость и длину пружины можно подобрать так, чтобы частота чисто упругих колебаний совпала с частотой чисто «маятниковых». Как только в системе начнутся колебания одного из этих типов, из-за изгиба пружины возникнут и другие колебания, и энергия колебаний первого типа будет «перекачиваться» колебаниям второго типа и наоборот¹.

¹ Аналогичная связь между двумя типами колебаний (изгибными и крутильными) крыла самолета одно время приводила к разрушению крыла (флаттер). — *Прим. ред.*

2.63. В двойном маятнике, состоящем из соединенных в одной точке простых маятников (длина и масса у одного из которых меньше, чем у другого²), оба маятника будут качаться синхронно вместе. Если такой двойной маятник образуют колокол и его язык, то колокол не будет звонить. Устранить этот дефект можно, значительно удлинив язык колокола, что, судя по всему, и было сделано в Кёльнском соборе.

² Соотношение между длинами и массами маятников должно быть таким, чтобы собственные частоты маятников совпадали. — *Прим. ред.*

2.64. Частота колебаний колесика балансира близка к собственной частоте качания

карманных часов на цепочке. Если корпус часов раскачивается с частотой несколько большей, чем частота колебаний балансира, то часы спешат. Если же частота раскачивания корпуса несколько меньше частоты колебаний балансира, то часы отстают.

2.65. Основная частота вибраций связана с образованием стоячей звуковой волны в столбе падающей воды, которая возникает так же, как стоячая волна в трубке с одним открытым концом. Множитель одна четвертая появляется потому, что скорость звука в воде вчетверо больше, чем в воздухе.

2.66. Если мяч попадает на биты в точках возможных пучностей, в бите возбуждаются стоячие волны. Это весьма нежелательное явление, поскольку такие колебания вызывают «ожог» руки игрока, «съедают» энергию, которая могла бы быть передана мячу, а иногда даже приводят к поломке биты.

2.67. Когда спускают тетиву, стрела получает от нее и лука боковой импульс. Из-за возникающих колебаний стрела огибает лук, не касаясь его. Но благодаря тому, что взаимодействия стрелы с дугой лука отсутствуют, колебания стрелы происходят около намеченного направления полета, и поэтому она попадает в цель.

2.68. Горизонтальные и вертикальные колебания палочки с зарубками неодинаковы по частоте и амплитуде, поскольку различны ее вертикальное и горизонтальное сечения и нажимают на них

разными пальцами. Поэтому конец палочки и прикрепленный к нему гвоздик движутся по эллипсу. В зависимости от того, каким пальцем вы прижимаете палочку и по какой ее стороне проводите другой палочкой, конец палочки и гвоздик движутся либо по часовой стрелке, либо против. Трение же между гвоздиком и пропеллером заставляет пропеллер вращаться в соответствующем направлении.

2.69. Общие законы движения волчков пока неизвестны, хотя некоторые уравнения их движения приводятся в фундаментальных трудах по механике. Асимметричный волчок будет наверняка неустойчив и станет вести себя беспорядочно. Из-за момента силы тяжести волчок будет прецессировать, то есть ось его вращения сама будет вращаться вокруг вертикальной оси. На прецессию накладывается так называемая нутация («рыскание»), суть которой заключается в следующем. Если вначале ось вращения асимметричного волчка была вертикальной, то она останется таковой, пока скорость вращения волчка велика. Как только скорость вращения из-за трения станет меньше некоторой критической величины, волчок начнет «рыскать» из стороны в сторону.

2.70. Вращающийся «диаболо» — это по существу волчок или гироскоп, и чтобы ориентировать его нужным образом, следует умело тянуть за концы нитки. Пусть, например, он вращается против часовой стрелки, так что ось вращения направлена

в противоположную от вас сторону. Что делать, если дальний конец начинает опускаться вниз? Нужно ослабить и чуть опустить конец нитки, которую вы держите в левой руке, а другой конец правой рукой тянуть вверх к себе. Момент сил, которые действуют при этом на игрушку, изменит ее момент импульса и поставит ее снова в горизонтальное положение.

2.71. Поскольку сырое яйцо асимметрично, оно неустойчиво и не будет становиться на конец, как волчок-перевытыш (см. задачу 2.73). Если во время вращения сырое яйцо на мгновение притормозить, то жидкость внутри него будет продолжать вращаться, и, как только вы отпустите палец, яйцо вновь начнет крутиться.

2.72. Странное поведение «кельтов» пока не нашло объяснения. Однако можно предположить следующее. Нижняя поверхность камней не строго эллипсоидальна, а чуть скошена к одному краю. Если вывести камень из равновесия, стукнув по его концу, то сила, действующая со стороны стола, создаст момент, заставляющий камень вращаться. Направление вращения каждого конкретного «кельта» зависит от того, в какую сторону скошена его нижняя поверхность.

2.73. Если волчок запускают на шероховатой поверхности, то момент силы трения в точке соприкосновения волчка с поверхностью вызывает его прецессию, которая в конце концов переворачивает волчок «вверх ногами».

2.74. Из-за трения приливные течения на Луне создают момент сил, замедляющих вращение Луны вокруг собственной оси. В результате оно синхронизировалось с вращением Луны вокруг Земли. Благодаря такому синхронному вращению Луна всегда обращена к Земле одной и той же стороной.

2.75. Орбита спутника должна лежать в плоскости, проходящей через центр Земли, так как действующая на спутник сила тяжести направлена в эту точку. Спутник не может все время «висеть» над точкой, расположенной на определенной широте, так как при этом центр его орбиты не совпадал бы с центром Земли.

2.76. Путешествие «по восьмерке» требует меньших затрат энергии. Для того чтобы долететь до Луны, космический корабль должен по крайней мере достигнуть точки, за которой притяжение Луны преобладает над притяжением Земли, а чтобы осуществить это с наименьшими энергетическими затратами, корабль должен стремиться как можно меньше отходить от линии, соединяющей центры Земли и Луны.

2.77. Луна, как и Земля, обращается вокруг Солнца, притяжение же Земли вносит искажения в ее орбиту.

2.78. Под действием притяжения больших масс близлежащих гор отвес может отклоняться от вертикали на несколько десятых долей угловой секунды.

2.79. Вследствие трения в атмосфере полная энергия спутника уменьшается, но его потенциальная энергия лишь наполовину идет на нагревание. Остальная ее часть преобразуется в кинетическую энергию. В результате, несмотря на сопротивление воздуха, скорость спутника возрастает. Конечно, радиус орбиты при этом уменьшается, так что увеличение скорости происходит только до тех пор, пока спутник не сгорит.

3.1. Объем воздуха, который находится в надувном купальнике, обратно пропорционален давлению в самолете. Как известно, давление на высоте меньше, чем на уровне земли, поэтому объем купальника увеличился. Если бы герметизация пассажирского салона самолета неожиданно нарушилась и давление в нем резко упало бы до величины атмосферного давления за бортом самолета, то купальник скорее всего бы взорвался.

3.2. Поскольку атмосферное давление падает с высотой, то при одной и той же температуре печи на большей высоте из пирога будет выпариваться больше воды. Поэтому в тесто нужно добавить больше воды. Кроме того, при пониженном атмосферном давлении образующийся внутри пирога газ заставит пирог сильнее подниматься. При этом стенки газовых пузырьков внутри теста могут не выдержать, и пирог опадет. Чтобы пирог не пропал, можно, например, уменьшить количество сахара в тесте — тогда газа будет образовываться

меньше. Однако недостаточное количество сахара может испортить вкус пирога, поэтому в рецепте рекомендуется не уменьшать количество сахара, а увеличивать количество муки — результат будет тот же. Еще одна сложность. На большой высоте при той же температуре печи пирог не будет хорошо подрумяниваться, так как вода там кипит при более низкой температуре (см. задачу 3.62). Чтобы пирог тем не менее получился румяным, следует повысить температуру печи. Конечно, важно, чтобы при всех этих изменениях в рецепте пирог оставался пышным и мягким. Избыток муки увеличивает прочность теста на разрыв, а значит, и жесткость пирога. Однако более сильное расширение теста и меньшая температура внутри пирога (что замедляет свертывание белка) примерно в той же степени уменьшат жесткость пирога.

3.3. Этот «барометр» измеряет не давление. Он чувствителен к изменению влажности, которым обычно сопровождается изменение давления. Фигурки приводятся в движение кусочком скрученного кетгута, длина которого меняется в зависимости от влажности.

3.4. Хотя, вообще говоря, уровень воды в колодце зависит от количества осадков в данной местности, изменения атмосферного давления могут приводить к изменению уровня воды в колодце примерно на несколько сантиметров. Когда во время бури давление падает, уро-

вень воды поднимается. Увеличение потока воды сквозь землю может настолько повысить содержание в ней взвешенных частиц, что вода станет непригодной для питья.

3.5. У меньшего шарика радиус кривизны меньше, поэтому силы упругости, действующие на любой малый участок его поверхности, имеют большую равнодействующую, направленную, к центру, чем у шарика большего радиуса. Поскольку сила, направленная к центру, больше, то и давление внутри маленького шарика больше, чем внутри большого. Этим объясняется также, почему вначале шарик надувать трудно, а потом, по мере его расширения, постепенно становится легче: направленные к центру равнодействующие упругих сил уменьшаются¹.

¹ В случае резинового шарика не менее важно и то обстоятельство, что при раздувании шарика уменьшается толщина его стенок, а следовательно, и его упругость.— *Прим. ред.*

3.6. Вследствие того, что на дне тоннеля давление выше атмосферного, часть углекислого газа оставалась в растворе. Однако, когда почетные гости поднялись на поверхность, газ начал выходить из раствора, и, чтобы замедлить этот процесс, им пришлось вновь спуститься вниз. Вот до чего может довести людей пристрастие к алкоголю!

3.7. Если по ходу всплытия не выпускать непрерывно

воздух, то можно порвать легкие, поскольку объем воздуха в них увеличивается с уменьшением внешнего давления. При всплытии парциальное давление углекислого газа в легких зависит от времени нелинейно, так как вы все время выдыхаете часть газа. Глубина, на которой парциальное давление углекислого газа максимально, определяется следующим образом: от максимальной глубины погружения (на которой был сделан последний вдох в подводной лодке или из баллона), выраженной в футах, следует отнять 33 фута и результат разделить на 2.

3.8. Воздушные потоки обусловлены главным образом различием в атмосферном давлении. Если пещера имеет больше одного входа, то воздух может циркулировать между ними благодаря разности температур внутри и снаружи пещеры.

3.9. Различные ткани тела насыщаются газом и выделяют его с разными скоростями. Рассмотрим, к примеру, такой случай: погружение происходит мгновенно, водолаз остается на дне 30 мин, а затем всплывает в соответствии с кривой декомпрессии. Ткани, которые при погружении быстро насыщались азотом, так же быстро высвобождают его в первые минуты подъема. Ткани же, которые впитывали азот медленно, сохраняют его и тогда, когда давление в них лишь незначительно превышает давление азота в крови; поэтому они отдают азот не столь быстро. Вот почему вначале, когда азот

выходит из легко отдающих его тканей, всплытие производится быстро, а потом замедляется, чтобы азот успевали отдавать медленно выделяющие его ткани.

3.10. По мере того как горячая вода нагревает кран, его металлические детали расширяются и перекрывают поток воды.

3.11. Вначале лед образуется на стенках трубы и затем нарастает по радиусу внутрь до тех пор, пока ледяная пробка не перекроет трубу. Пока это не случится, избыток воды, обусловленный ее расширением при замерзании, просто выталкивается в магистраль. Но как только возникает пробка, расширение замерзающей воды в пространстве между пробкой и краном приводит к сильному повышению давления в трубе, и если кран закрыт, то труба разрывается. Трубы с горячей водой разрываются чаще, так как при более высокой температуре уменьшается эффективность центров замерзания, с которых начинается образование льда. Это в свою очередь снижает температуру замерзания. Поэтому вода в горячей трубе переохлаждается, то есть охлаждается ниже 0°C, а затем внезапно начинается быстрое обледенение. При этом ледяная пробка резко расширяется, захватывая больше воды в пространстве между пробкой и закрытым краном, и разрыв трубы становится более вероятным.

3.12. Диаметр сужения настолько мал, что ртуть проходит через него только под

давлением, которое возникает либо в результате теплового расширения ртути, либо под действием «центробежной» силы (она создается, когда градусник стряхивают, совершая им дугообразные движения). При остывании ртути в месте сужения разрывается, так как молекулярные силы в ртути недостаточно сильны, чтобы втянуть верхнюю часть столбика обратно сквозь сужение трубки. Если опустить термометр в горячую воду, стеклянный кончик расширится быстрее, чем заключенная в нем ртуть.

3.13. Молекулы резины представляют собой длинные цепи. При нагревании тепловое движение этих цепей усиливается, они сильнее растягиваются, и резина сокращается. Растягивая резину, то есть эти молекулярные цепи, вы совершаете работу, которая частично переходит в тепло. Если затем резину отпустить, часть совершаемой упругими силами работы идет на уменьшение внутренней энергии резины, в результате ее температура падает.

3.14. Если бы тепловое расширение колесика балансира не было надлежащим образом скомпенсировано, то часы при разных температурах шли бы по-разному. Пусть, к примеру, часы нагреваются. Металлическое колесико при этом расширяется, его момент инерции относительно оси увеличивается, колебания замедляются и часы идут медленнее. Однако это расширение скомпенсировано так, что частота, колебаний остается

более или менее постоянной. Ободок колесика балансира состоит из двух или трех частей, каждая из которых одним концом закреплена на спице колесика. Эти части ободка биметаллические. Они сделаны из металлов с различными коэффициентами теплового расширения. При повышении температуры наружная полоска металла расширяется сильнее, и поэтому свободные концы частей ободка загибаются внутрь к оси балансира. Этот изгиб компенсирует удлинение спиц. Хотя форма колесика при нагревании меняется, его момент инерции остается примерно тем же. Поэтому частота его колебаний не изменяется.

3.15. При идеальных условиях вода в U-образной трубке вначале находится в равновесии. Однако под действием внешнего возмущения равновесие нарушается, и начинаются колебания. Допустим, в результате возмущения небольшое количество воды переместится из левого колена в правое. Тогда в левом колене холодной воды окажется больше, чем в правом, и более плотная холодная вода в левом колене будет выталкивать менее плотную теплую воду в правое. В конце концов разница в давлениях, обусловленная различием температур, скомпенсируется разностью уровней в коленах трубки, и течение жидкости прекратится. Вследствие нагревания и охлаждения трубки через некоторое время восстановится исходное распределение температур, и из-за различия уровней в коленах трубки вода начнет

перетекать справа налево. Этот процесс будет периодически повторяться. На опыте вы можете проследить, как эти колебания зависят от размеров трубки. При этом вы обнаружите, что размеры резервуаров на концах трубки должны быть больше некоторой критической величины; в противном случае приведенные выше рассуждения окажутся несостоятельными.

3.16. Когда вы качаете насос, сжатие воздуха происходит почти адиабатически (тепловой обмен с внешней средой практически отсутствует). Внутренняя энергия воздуха, а значит, и его температура повышаются. Горячий воздух нагревает золотник камеры. На станции техобслуживания воздух тоже нагревался при закачивании в баллон, но он уже успел достаточно охладиться, поэтому золотник не нагревается.

3.17. В Соединенных Штатах преобладают западные ветры. Когда поток влажного воздуха, идущего с Тихого океана, отклоняется горами (например, Скалистыми) вверх, воздух адиабатически охлаждается, так как с высотой атмосферное давление падает. Охлажденный воздух уже не способен удерживать прежнее количество влаги. И на западных склонах гор выпадают обильные дожди, восточным же склонам влаги достается гораздо меньше.

3.18. Когда ветер спускается с гор в область более высокого атмосферного давления, движущиеся массы

воздуха адиабатически сжимаются и вследствие этого нагреваются (см. задачу 3.16). Если спуск происходит быстро, обмен теплом с окружающим воздухом невелик, поэтому ветер оказывается теплее окружающей атмосферы. Этот ветер будет также довольно сухим (см. задачу 3.17). Каким образом сухой горячий ветер воздействует на человека, пока остается неясным. Возможно, причиной «странного» поведения людей и животных служат положительные и отрицательные ионы, которые несет такой ветер (см. задачу 6.14).

3.19. Когда открывают бутылку, сжатый газ в ней быстро адиабатически расширяется, совершая при этом работу против сил атмосферного давления (см. задачу 3.16). В результате внутренняя энергия газа и, следовательно, его температура понижаются, и поэтому содержащийся в газе водяной пар частично конденсируется в виде тумана.

3.20. В статье, на которую мы ссылаемся, утверждается, что воздушный поток, проходящий над открытым автомобилем, приводит к понижению давления над ним. Воздух здесь расширяется и слегка охлаждается. Аналогичный эффект наблюдается при движении самолета: в стремительном потоке, обтекающем крыло, воздух охлаждается — это можно иногда заметить по туману, образующемуся над крылом.

3.21. Воздушные потоки с Тихого океана теряют влагу на западном склоне Скали-

стых гор — между Тихим океаном и Долиной смерти (см. задачу 3.17) — и адиабатически нагреваются, спускаясь по восточному склону гор (см. задачу 3.18), принося в долину горячий сухой ветер, который превращает ее в пустыню. Отсутствие тени и сильное отражение солнечного света песком (значительно большее, чем местностью, покрытой растительностью) также способствуют повышению температуры приземного слоя воздуха.

3.22. Воздух, поднимающийся по склону горы, попадая в область более низкого атмосферного давления, расширяется и охлаждается.

3.23. В восходящих потоках теплый влажный воздух охлаждается, расширяясь по мере понижения атмосферного давления с высотой. Из-за понижения температуры водяной пар частично конденсируется, образуя облака, а воздух несколько согревается за счет скрытой теплоты испарения, высвобождаемой при конденсации. Поэтому все время происходит процесс образования новых облаков. Постарайтесь при случае понаблюдать, как возникают, изменяются и исчезают эти облака.

3.24. В месте атомного взрыва воздух очень быстро нагревается и стремительно поднимается вверх, увлекая за собой приземный воздух, пыль, обломки, водяной пар, которые и образуют «ножку» грибовидного облака. Поднимаясь, горячий воздух расширяется и благодаря этому охлаждается. В конце

концов его температура сравнивается с температурой окружающего воздуха, и он начинает распространяться в стороны. Так образуется верхушка облака.

3.25. Причина образования «дыр» в облаках до конца еще не выяснена. Одно из возможных объяснений таково: в слое кучевых облаков накапливаются (естественным или искусственным путем) центры кристаллизации, вызывающие внезапное образование ледяных кристаллов, которые в свою очередь сами служат центрами кристаллизации. Растущие ледяные кристаллы выпадают из облака, в результате чего там и возникает «дыра».

3.26. Двигаясь вверх по склону горы, воздух расширяется и охлаждается; при этом часть содержащегося в нем водяного пара конденсируется. Если конденсация происходит прямо над вершиной горы, то образуется чечевичеобразное облако. При сильном ветре конденсация происходит и с подветренной стороны горы, в турбулентном потоке. В обоих случаях облака кажутся неизменными, на самом же деле они все время распадаются и возникают вновь.

С подветренной стороны воздух, перетекающий через гору, иногда начинает волнообразно колебаться, и это приводит к образованию облаков, имеющих периодическую структуру. Длина волны таких колебаний зависит от скорости ветра и от изменения плотности воздуха с высотой. Если последняя

меняется слабо (то есть атмосферные условия довольно стабильны) и колебания воздуха происходят медленно, то их длина волны, а значит и расстояние между отдельными облаками, значительна. При сильных изменениях плотности воздуха с высотой колебания воздушного потока совершаются быстрее и соответственно длина волны и расстояние между облаками невелики. Чем выше скорость ветра, тем больше расстояние между верхушками волн. Поэтому чем сильнее ветер, тем дальше облака отстоят друг от друга.

3.27. При быстром нагреве воздуха в момент взрыва образуется ударная волна, в которой за фронтом высокого давления следует фронт низкого давления. В области низкого давления воздух расширяется и охлаждается, при этом часть водяного пара конденсируется. После того, как ударная волна проходит, давление воздуха снова становится нормальным, и облако исчезает. Поэтому такое облако обычно бывает довольно узким и расширяется радиально во все стороны от места взрыва.

3.28. Большая часть видимого солнечного света, падающего на облака, проходит сквозь них и поглощается землей. По мере согревания земли ее тепловое (длинно-волновое) излучение возрастает. Облака поглощают это излучение, и со временем разность температур между основанием и вершиной облака становится достаточной для того, чтобы возникли

турбулентные потоки. Они и разрушают облака.

3.29. Облака-барашки возникают, когда плотный облачный слой «зависает», а затем опускается (как нисходящий тепловой поток) в слой сухого воздуха.

3.30. Туманы в соответствии с природой их образования разделяют на несколько типов. Радиационный туман образуется, когда влажный воздух охлаждается, излучая тепло в пространство, и избыток водяного пара в нем вследствие увеличения относительной влажности конденсируется. Адвекционный туман возникает, когда теплый влажный воздух «натекает» на холодную поверхность земли или на холодный водоем. При этом влажность не обязательно должна достигать 100%, так как в атмосфере имеется достаточно центров конденсации, благодаря которым конденсация и образование тумана могут происходить даже при влажности 60%. Вблизи океанов центрами конденсации могут служить частицы соли, а вблизи городов ими чаще всего оказываются твердые частицы, которые выбрасываются в атмосферу промышленными предприятиями. В прошлом в Лондоне угольные камины вносили немалый вклад в образование таких центров конденсации. Когда же открылось сжигание угля сократилось, конденсация паров уменьшилась, поэтому туманы стали реже. Иногда температурная инверсия (когда слой теплого воздуха располагается над слоем холодного), удерживая промышленные загрязне-

ния вблизи земли, порождает смог. Именно вследствие такой инверсии в декабре 1952 г. Лондон был окутан плотным черным туманом, и видимость в течение нескольких дней не превышала десятков сантиметров. В этом смоге погибло около 4000 человек.

3.31. Когда при дыхании теплый насыщенный влагой воздух попадает на холодное стекло, он охлаждается и избыток пара конденсируется в виде капелек. Они возникают на центрах конденсации, имеющихся на стекле или в ближайших к нему слоях воздуха. Аналогичным образом горячий пирог «дышит» на холодную тарелку.

3.32. Каждое крыло оставляет за собой вихревой поток, который в центре (за фюзеляжем) направлен вниз, а за концами крыльев — вверх. Конденсироваться может или непосредственно водяной пар, содержащийся в выхлопных газах двигателей, или охлаждающийся при вихревом движении атмосферный воздух. Поскольку у большинства самолетов два основных крыла, за ними будут тянуться два хвоста. Направленный вниз центральный поток воздуха постепенно ослабевает, а вихри сближаются. В конце концов они становятся неразличимыми. Скорость же центрального потока увеличивается, вследствие чего неоднородности в инверсионных следах усиливаются: нисходящие участки следов опускаются с еще большей скоростью — создается впечатление, будто следы раздуваются книзу.

Однако затем вихри сходятся в плотную, и нисходящее движение прекращается. Тогда след самолета, если смотреть снизу, становится похож на «воздушную кукуру», связанную тонкими участками, в которых можно различить два следа.

3.33. По-видимому, центрами образования пузырьков служат частицы соли.

3.34. Воздух, согретый огнем, легче воздуха в комнате, поэтому он устремляется в трубу. Начавшаяся таким образом циркуляция воздуха продолжается даже в том случае, если огонь разложен не непосредственно под трубой. Чем выше труба, тем лучше в ней тяга, так как в более высокой трубе больше теплого легкого воздуха. Иногда дым из трубы выходит клубами. Это объясняется плохой тягой, вследствие чего в трубу сверху периодически затекает холодный воздух.

3.35. Прохладным вечером горячий дым и газы лучше поднимаются вверх, чем днем, когда достаточно тепло.

3.36. Вначале горячие газы от сигареты поднимаются относительно медленно, образуя ламинарный поток. Однако при подъеме выталкивающая сила, действующая на горячие газы в окружающем холодном воздухе, ускоряет их настолько, что поток начинает завихряться. Обычно турбулентность возникает на расстоянии примерно 2 см.

3.37. В общем поведение вы-

ходящего из трубы дыма зависит от того, как изменяется температура с высотой на уровне выходного отверстия трубы. Если с увеличением высоты температура резко возрастает (это называется температурной инверсией), то горячие газы не могут подниматься вверх из трубы, а стелятся горизонтально по ветру, как показано на верхней картинке (рис. 3.37а). Если температура воздуха от уровня земли до верха трубы уменьшается, а затем возрастает, то дым не поднимается, но может опускаться вниз, перемешиваясь с воздухом, как показано на второй картинке. Если с увеличением высоты температура воздуха понижается медленно, то дым из трубы будет выходить, как показано на третьем рисунке. И наконец, если температура резко понижается с высотой, то дым будет подниматься вверх, но одновременно тепловые вихри могут отбрасывать его вниз (нижняя картинка). Поток газов в середине выходного отверстия трубы направлен вверх, а по краям — вниз. Поэтому при легком ветре, который не способен разрушить двойной вихрь, образующийся при выходе дыма из трубы, шлейф дыма разделяется посередине надвое (рис. 3.37,б).

3.38. Кристаллы льда растут главным образом в одной плоскости, называемой базовой. Гораздо медленнее их рост происходит вдоль оси, перпендикулярной этой плоскости, — оси *c*. Преимущественная ориентация кристаллов льда, покрывающего поверхность озера, в разных

местах различна, соответственно, различна и скорость таяния льда. На тех участках замерзшей поверхности, где кристаллы льда ориентированы так, что ось *c* горизонтальна, подтаивание приводит к образованию вертикальных изолированных кристаллов, которые, словно свечки, возвышаются над поверхностью. Под действием капиллярных сил вода поднимается между «свечками», и эти участки выглядят темными. Там, где ось *c* кристаллов ориентирована вертикально, поверхность льда образована большими горизонтально расположенными кристаллами, которые подтаивают изнутри, создавая сотообразную, ячеистую структуру. Такие участки кажутся более светлыми. Темные участки льда сильнее поглощают солнечный свет, скорее согреваются, поэтому они менее прочны, чем светлые.

3.39. Лед в основном тает при 0°C ; однако в зависимости от чистоты воды точка замерзания может оказаться и ниже. Хорошо очищенную воду можно переохладить (то есть охладить ниже точки таяния льда так, что она при этом не замерзнет) почти до -40°C . При наличии примесей вода может начать замерзать при более высокой температуре (конечно, не выше точки таяния льда), причем конкретное значение этой температуры зависит от концентрации и природы примесей. При охлаждении воды вследствие случайных флуктуаций (обусловленных тепловым движением молекул) кое-где образуются мельчайшие островки льда,

которые быстро исчезают, если «температура замерзания» еще не достигнута. При «температуре замерзания» такие островки увеличиваются до некоторого критического размера, после чего они неуклонно продолжают расти, так как дальнейшее замораживание приводит к понижению свободной энергии системы. В чистой воде размер островков достигает критического значения при -40°C . Наличие примесей уменьшает величину критического размера ледяных островков, поэтому вода замерзает при более высоких температурах (но ниже 0°C).

3.40. Определяющим фактором здесь является испарение. Если одинаковые массы горячей и холодной воды выставить на мороз в открытых сосудах, то более сильное испарение горячей воды приведет к тому, что ее масса уменьшится скорее. В результате эта вода будет остывать быстрее, чем холодная, и соответственно скорее достигнет точки замерзания. В действительности скорость остывания также зависит частично от материала сосудов, циркуляции воздуха над поверхностью воды в сосудах и от циркуляции самой воды. Хотя еще Бэкон писал об этом явлении, хорошо знакомом, в частности, жителям Канады, у людей, живущих в теплых странах, оно нередко вызывает удивление. Физические журналы лишь недавно «переоткрыли» этот эффект, после того как студенту из Танзании удалось убедить в его существовании своего скептически настроенного в

этом отношении преподавателя.

3.41. Грозы происходят чаще всего после полудня до наступления вечера и преимущественно над материками. Основной вклад в грозовую активность вносят грозы над Африкой и Европой, причем максимум этой активности приходится на 7 часов вечера по Гринвичу. Временная зависимость грозовой активности весьма близка к зависимости от времени напряженности электрического поля Земли (см. задачу 6.33). Последняя имеет максимум примерно в то же самое время суток. Грозы способствуют разделению электрических зарядов, причем земля накапливает отрицательный заряд, а верхние слои атмосферы — положительный. Разделение зарядов обусловлено молниями и локальными разрядами (см. задачи 6.32 и 6.46).

3.42. Когда мы прикасаемся к холодной металлической поверхности, имеющаяся на коже влага замерзает и поэтому палец может «примерзнуть» к предмету. Примерзание к металлу происходит с большей вероятностью, чем, скажем, к дереву, поскольку теплопроводность металла велика и тепло быстро отводится от кончика пальца (см. задачу 3.78).

3.43. Обычно вода, образующаяся при таянии льда, сразу стекает. Когда же лед завернут в мокрую газету, тепло извне должно пройти через слой «задержанной» газетой воды, поэтому его поступление ко льду уменьшается.

3.44. Вода имеет наибольшую плотность примерно при 4°C . Когда пруд начинает замерзать, лед, будучи более легким, всплывает наверх; вода, температура которой близка к точке замерзания, поднимается к поверхности, а вода с температурой около 4°C как наиболее тяжелая опускается вниз. Поэтому вода на поверхности оказывается самой холодной и замерзает прежде всего. Поверхность быстрее охлаждается потому, что она излучает тепло в атмосферу и уносу тепла способствует циркуляция воздуха над поверхностью. Земля же на дне пруда остается сравнительно теплой и подогревает придонный слой воды.

Пузырьки относительно теплого воздуха предотвращают, задерживают или уменьшают возникновение льда на поверхности воды.

3.45. Если температура снега близка к точке таяния, то в результате трения лыж о снег тонкий поверхностный слой снега слегка подтаивает, и вода обеспечивает смазку, по которой лыжи скользят. В дальнейшем из-за вязкого трения в тонком слое воды создается тепло, достаточное, чтобы водяная смазка все время возобновлялась. Материал, из которого сделаны лыжи, — металл или эбонит — вначале не играет существенной роли. Однако затем он начинает сказываться на скольжении. Так, например, если лыжи металлические (а металл, как известно, хорошо проводит тепло), то тепло будет быстро рассеиваться и образование водяной смазки прекратится. Эбонитовые лыжи

или деревянные (которыми пользовались раньше) проводят тепло достаточно плохо, поэтому водяная смазка в этом случае сохраняется. Если температура снега много ниже точки таяния, то водяной слой не возникает, и тогда для уменьшения трения лыжи необходимо смазывать лыжной мазью.

3.46. Коньки, как и лыжи (см. задачу 3.45), скользят по тонкому слою воды, но в этом случае таяние льда обусловлено давлением¹. Вес конькобежца, распределенный на площади двух узких полозьев коньков (точнее, на площади действительного соприкосновения коньков со льдом, а не полной площади их полозьев), создает давление на лед, достигающее более 48,3 МПа. Другие вещества в отличие от льда не тают под давлением, поэтому кататься по ним на коньках нельзя.

¹ Важную роль здесь, по-видимому, играет следующий механизм теплопередачи. Лед, замерзающий за коньком, отдает ему тепло (скрытая теплота плавления). По коньку это тепло распространяется к новым точкам контакта конька со льдом.

Этот механизм теплопередачи можно обнаружить в следующем опыте. Если на брусок льда надеть проволочную петлю, к которой подвешен груз, то можно заметить, как петля станет довольно быстро разрезать лед, причем за проволокой лед будет вновь смерзаться, отдавая через проволоку тепло нижним слоям льда. Капроновая нить такого же диаметра будет резать лед гораздо медленнее вследствие ее плохой теплопроводности.— *Прим. ред.*

3.47. При резком потеплении часть снега может растаять

и обеспечить смазку для соскальзывания остального снега. Не менее опасным может быть и резкое похолодание. Например, при заходе солнца часть растаявшей за день воды может замерзнуть. Объемное же расширение воды при замерзании (на 11%) может вызвать лавину.

3.48. Когда лепят снежок, комки снега сжимают. Под давлением снег (по крайней мере поверхностный слой) растапливается; затем, замерзая, он и удерживает слепленный снежок.

3.49. Шины с шипами «вгрызаются» в снег и тем самым увеличивают сцепление с дорогой. Действие таких шин основано на том, что лед и снег под каждым шипом тают под давлением, создаваемым весом автомобиля. При наличии шипов вес автомобиля распределяется на меньшей площади опоры (площади соприкосновения шипа с дорогой), поэтому давление на лед увеличивается. Если температура снега и льда ниже $-17,8^{\circ}\text{C}$, то такое увеличение давления оказывается недостаточным, чтобы вызвать таяние. Посыпать дороги песком целесообразно только в том случае, когда при таянии под давлением льда или снега он может прочно закрепиться на дороге. При слишком большом морозе этого не произойдет.

3.50 и 3.51. Когда в воду добавляют соль, то количество тепла, которое необходимо отбирать у раствора при замораживании, возрастает, поэтому температура

его замерзания понижается. Добавка соли также повышает температуру кипения воды. Чтобы преодолеть притяжение к молекулам соли, молекулам воды придется двигаться значительно скорее, только тогда они смогут оторваться и перейти в пар. Аналогичное понижение температуры замерзания и повышение температуры кипения лежит в основе действия антифриза в автомобильном радиаторе.

3.52. Для испарения воды требуется тепло. Чтобы молекула воды оторвалась от слоя воды, то есть чтобы произошло испарение, молекуле необходимо сообщить энергию, которая позволила бы ей преодолеть притяжение других молекул воды. В то же время часть молекул пара будет случайным образом попадать в воду и отдавать ей избыток энергии. Если жидкость находится в равновесии со «своим» паром в закрытом сосуде, то на испарение затрачивается такое же количество энергии, какое поступает за счет конденсации. Однако при наличии ветра водяной пар непрерывно уносится, и водяной слой теряет энергию. Если такой водяной слой покрывает вашу кожу, то энергия для его испарения отбирается у вашего тела, и вы ощущаете прохладу. Метиловый спирт испаряется быстрее воды и скорее охлаждает кожу. Пористая холщовая сумка, в которой хранили воду, охлаждалась вследствие испарения воды с ее поверхности, которое особенно усиливалось, если сумку обдувал ветер.

3.53. Энергия, необходимая для испарения горючего, отбирается у воздуха, в результате чего он охлаждается. При этом в воздухе может появиться избыток водяного пара, который начнет конденсироваться. Если относительная влажность воздуха на улице составляет 65—100%, а температура заключена в пределах от -4 до $+10^{\circ}\text{C}$, то конденсирующаяся вода может намерзнуть на дроссельной заслонке.

3.54. Соляной раствор в глыбах льда заключен в своеобразные ячейки, которые перемещаются вниз под действием силы тяжести и в направлении, где вследствие постоянного подтаивания и подмерзания льда температура наиболее высокая. Обычно такую температуру имеет самая нижняя часть ледяной глыбы, так как она либо плавает в океане (а океан теплее окружающего воздуха), либо лежит на земле (земля также теплее окружающего воздуха). В результате перемещения ячеек соляного раствора последний постепенно выходит из льдины, и она примерно через год становится пригодной для получения питьевой воды, а через несколько лет почти совершенно лишается соли.

Попробуем разобраться, как же происходит процесс «обессоливания» льда. Рассмотрим некую произвольную ячейку, вертикально расположенную внутри глыбы. Соленость раствора такова, что его температура примерно равна средней температуре окружающего льда. В нижней, более теплой ча-

сти ячейки соленость велика (см. задачу 3.50), но в результате подтаивания льда она уменьшается. В верхней же, более холодной части ячейки соленость гораздо меньше, но она увеличивается вследствие замерзания льда. Поэтому ячейка постепенно перемещается в низ ледяной глыбы и со временем выходит из нее.

3.55. На испарение воды в кастрюле затрачивается значительное количество тепла. Если кастрюля открыта, то это тепло теряется, так как пар уносится воздушными потоками. Если же кастрюля накрыта крышкой, то пар остается в ней и тепло удерживается внутри кастрюли.

3.56. В литературе мне встретилось лишь одно-единственное упоминание об этом эффекте. Почему бы вам не поэкспериментировать с собственной духовкой? Понаблюдайте, способствует ли увеличение влажности воздуха в духовке более быстрому ее нагреву. Меньше ли при этом потребуются тепла, чтобы нагреть воздух, скажем, на один градус? Изменится ли в этом случае циркуляция воздуха?

3.57. Часто, чтобы предотвратить замерзание воды в радиаторах автомобилей, в гараже рядом с радиатором ставят большой таз с водой. При приближении температуры воздуха в помещении к точке замерзания воды сосуд, наполненный водой, служит резервуаром тепла. Когда в нем начинает образовываться лед, высвобождается довольно

большое количество тепла (скрытая теплота кристаллизации), благодаря чему дальнейшее охлаждение помещения задерживается.

3.58. Ранним утром, по мере того как начинает пригревать солнце, наружный охладившийся за ночь воздух постепенно проникает в ледник. Из-за низкой температуры в леднике влажность этого воздуха достигнет предельного значения и часть пара в нем конденсируется. В процессе фазового перехода пар — жидкость высвобождается большое количество тепла и температура внутри ледника повышается. Если же утром в ледник попадает прямой солнечный свет и согревает воздух внутри него, то приток воздуха извне и связанная с этим конденсация ограничиваются.

3.59. Нижний, более широкий конец приспособления для жаренья мяса согревается теплом духовки, и вода, заключенная внутри трубки, нагревается и превращается в пар, потребляя при этом большое количество тепла, которое необходимо для перехода воды из жидкого состояния в газообразное. Горячий пар поднимается в верхний конец трубки, на который насажен относительно холодный кусок мяса. Здесь пар конденсируется, высвобождая тепло, которое в свое время было затрачено на переход воды в пар. Жидкая вода стекает по трубке вниз, и цикл начинается сначала. При использовании такого приспособления мясо получает в 100—1000 раз больше тепла, чем в

случае цельного стержня из того же металла, что обусловлено большой удельной теплотой парообразования.

3.60. Если бы горы были выше некой критической высоты, которая составляет примерно 30 км, то давление у основания горы оказалось бы настолько велико, что породы там расплавились бы и высота горы уменьшилась до критического значения. Поэтому высота гор не может превышать 30 км. Поскольку сила тяжести на поверхности Марса меньше, чем на поверхности Земли, критическая высота марсианских гор больше, чем земных.

3.61. Если процедура «окропления кипятком» начинается в тот момент, когда из котла только доносятся первые громкие звуки, то вода там еще не достигла температуры кипения (см. задачу 1.12) и, хотя она очень горячая, она не опасна. Когда человек подбрасывает воду вверх, она разбивается на капли, которые успевают несколько охладиться, прежде чем попадут на кожу¹. Если, кроме того, участник представления потеет, что наверняка и происходит на самом деле, то пот также защищает его от горячих капель.

¹ Увеличение площади поверхности воды также способствует ее охлаждению, поскольку сопровождается поглощением тепла.—
Прим. ред.

3.62. Испарение с поверхности воды происходит даже в том случае, когда ее не нагревают. Молекулы жид-

кости, имеющие достаточно высокую энергию, покидают жидкость. Некоторые из молекул пара затем возвращаются в жидкость, но если пар не насыщен, то в целом больше молекул уходит, чем возвращается. Когда жидкость достигает температуры кипения, образование пара происходит не только со свободной поверхности жидкости, но и в ее объеме. Внутри жидкости образуются пузырьки насыщенного пара, которые растут, поднимаются на поверхность и лопаются там.

Бурный рост пузырьков в жидкости происходит при такой температуре, при которой давление насыщенного пара равно атмосферному. Поэтому при нормальном атмосферном давлении (1 атм) вода кипит при 100°C. В условиях пониженного атмосферного давления, например на вершине горы, вода кипит при более низкой температуре.

Если вода очень чистая и не подвергается механическим воздействиям извне, то при данном давлении ее можно нагреть выше точки кипения. И тогда любое слабое возмущение — просто какая-нибудь пылинка, попавшая в воду, — может вызвать бурное кипение.

3.63. Из-за волн и капиллярных явлений по краям луж и озер образуются тонкие слои «соленой» жидкости. Вода из них испаряется, а растворенная в ней соль откладывается на берегу.

3.64. Головка такой птички соединена трубочкой с нижней частью ее туловища, куда налита вода с таким

расчетом, чтобы она покрывала конец трубочки. Вместе с водой как в основании, так и в трубочке и головке присутствуют ее пары, причем эти области разделены. Когда вода с покрытой фетром головки испаряется, последняя и находящийся в ней пар охлаждаются (см. задачу 3.52). Давление паров в головке уменьшается. Тогда давление паров в основании становится больше, чем в головке, и вода начинает медленно подниматься вверх по трубочке. В итоге равновесие птички нарушается, и ее головка опускается в стакан с водой. Когда птичка принимает горизонтальное положение, две области с паром соединяются, и давление в них выравнивается. Теперь уже ничто не заставляет воду подниматься вверх по трубочке, она стекает вниз, и равновесие восстанавливается. Птичка возвращается в вертикальное положение, и весь цикл начинается снова.

Корпорация РЭНД исследовала возможность использования больших птиц такой конструкции для подачи воды в оросительные каналы в странах Ближнего Востока [1457].

3.65. Когда капля попадает на раскаленную сковороду, ее нижняя часть мгновенно испаряется и образует паровую подушку между сковородой и оставшейся частью капли. Затем благодаря излучению тепла сквозь паровую подушку, конвекционным потокам внутри подушки и теплопроводности капля нагревается. Однако, чтобы она нагрелась таким образом до кипения, потребуется

1—2 мин. В течение этого времени паровая подушка предохраняет каплю от испарения, и та беспрепятственно «пляшет» и «скачет» по поверхности сковороды.

3.66. Перегретая (температура выше температуры кипения) вода от раскаленных пород с глубины до 1000 м просачивается в полость гейзера и его главный ствол. Как только вода оказывается в полости, в ней образуются пузырьки пара, которые, увеличиваясь, поднимаются вверх. Когда через воду проходят пузырьки пара, она вскипает и часть ее под давлением образующегося пара выбрасывается вверх. Затем весь процесс повторяется, иногда, как в гейзере Верный служака, через строго определенные промежутки времени.

3.67. В кофейниках старого типа воду наливали в нижний сосуд, а сверху навинчивался резервуар с уплотнительной резиновой прокладкой, куда засыпали кофе. Когда вода нагревалась, пар и воздух над ее поверхностью расширялись и проталкивали воду в трубку, расположенную в центре сосуда. Кипящая вода из трубки сверху капала на кофе. Минут через пять нагревание прекращали. Воздух в нижнем сосуде остывал и уменьшался в объеме; его давление также уменьшалось, и тогда под действием внешнего атмосферного давления вода через кофе обратно попадала в нижний сосуд. Современные кофейники имеют несколько отличную конструкцию. Нижний конец трубки у них рас-

ширяется на конус и прилегает ко дну сосуда. Вода, оказавшаяся под этим конусом, быстро нагревается и частично выталкивается вверх по трубке образующимися пузырьками. Если бы трубка была шире, пузырьки не смогли бы выталкивать воду. Падая на кофе сверху, вода под действием силы тяжести просачивается вниз и возвращается обратно в нижний сосуд. Всякий раз, когда вода извергается из трубки, та вместе с конусом немного «подскакивает», и под конус затекает новая порция более холодной воды.

3.68. Пар поднимается по трубке в радиатор, где он конденсируется, и по той же трубке стекает вниз. Тепло радиатор получает за счет скрытой теплоты фазового перехода, а не вследствие понижения температуры воды в нем.

3.69. Перед тем как показать фокус с расплавленным свинцом, я смачиваю руки водой. Когда пальцы входят в расплавленный свинец, часть воды мгновенно испаряется, создавая (хотя бы на короткое время) вокруг них защитную оболочку, подобную паровой подушке (см. задачу 3.65). Почти так же хорошо действует обычная влажность кожи (особенно если мои руки от страха вспотеют).

При хождении по огню защитную оболочку, по-видимому, создает влага на ступнях, что также зависит от того, насколько потеют ноги при каждом шаге, и от наличия на ступнях ороговевшей кожи. Конечно, проделывая эти трюки, ноги сле-

дует смачивать водой, однако я обнаружил, что могу ходить по горячим угольям и без специальной подготовки ног.

3.70. Звук ударов раздается в трубах, когда в них скапливается вода. Горячий пар, проходя над водой, резко охлаждается, и его давление столь же резко падает. Вода втягивается в область низкого давления и «ударяет» по трубе. Чтобы избавиться от этих звуков в трубах парового отопления, нужно слить накопившуюся там воду.

3.71. Матовая сторона фольги излучает и поглощает тепло лучше, чем блестящая (см. задачу 3.75). Поэтому если картофелину заворачивать так, что матовая сторона фольги оказывается снаружи, то картофелина быстрее испечется, но и скорее остынет на столе. Мне не встречалось никаких публикаций на этот счет. Почему бы вам не поэкспериментировать самостоятельно.

3.72. Металл испаряется с нити накаливания, и колба лампочки темнеет. Конвекционные потоки, существующие в небольшом количестве газа, заполняющем лампочку, переносят молекулы металла вверх, поэтому лампочка темнеет вверху.

3.73. Если вы адаптировались к темноте, то сможете различить излучающее черное тело в условиях полной темноты, когда его температура достигнет 650—800 К (377—527°C), в зависимости от углового размера светящегося предмета.

3.74. Действительно, открыв дверцу холодильника, вы можете на мгновение чуть понизить температуру в комнате. Однако затем включится холодильная система, которая снова начнет охлаждать внутренность холодильника. Так как мотор и радиатор на задней стенке холодильника выделяют больше тепла, чем его поглощает выходящий из холодильника холодный воздух, то в комнате вскоре станет еще жарче. Вы можете, конечно, схитрить, отключив холодильник от сети, когда откроете его дверцу. Но тогда вам придется сразу выпить все запасенное в холодильнике пиво, иначе оно быстро согреется.

3.75. Зачерненная поверхность поглощает тепло лучше, чем блестящая. Поэтому в черной форме пирог испечется быстрее. Стекло поглощает большую часть падающего на него теплового (инфракрасного) излучения, следовательно, стеклянная форма также предпочтительнее блестящей металлической.

3.76. В 1973 г. один греческий инженер попытался повторить подвиг Архимеда. С помощью 70 плоских зеркал размером примерно $1 \times 1,5 \text{ м}^2$ солнечные лучи были сфокусированы на шлюпке, которая находилась в 50 м от берега. Как только все зеркала точно направили на шлюпку, она почти тотчас загорелась и вскоре целиком была охвачена пламенем. Артур Кларк независимо от других использовал эту идею в одном из своих научно-фантастических рассказов («Солнечный удар»). На ста-

дионе во время футбольного матча зрителям, «болеющим» за команду хозяев поля, раздали памятные программы в гляцевых обложках. И когда один из судей вынес решение в пользу гостей, эти болельщики сожгли его дотла, направив на него своими программами солнечные зайчики.

3.77. Пламя свечи подогревает воду в котле, превращая часть ее в пар, который выталкивает воду назад через трубку, создавая реактивную силу. Выходя из котла, часть пара конденсируется в холодной трубке, объем пара уменьшается, и вода затягивается обратно в трубку. Особенно важно здесь то обстоятельство, что вода засасывается в трубку со всех направлений в пределах полусферы. Асимметрия между выбросом водяной струи в одном направлении и всасыванием ее в широком телесном угле (в пределах полусферы) и порождает ту силу, которая толкает корабль вперед.

3.78. Ощущение холода, которое вызывает у вас тот или иной предмет, зависит не только от его температуры, но и от теплопроводности. Чем быстрее холодный предмет отводит тепло от вашего пальца, тем более холодным он вам кажется.

3.79. В жарких странах одежда защищает человека от прямых солнечных лучей. Темная одежда поглощает видимое и инфракрасное излучения сильнее, чем белая, поэтому в условиях жаркого климата следует носить белую одежду. Если климат до-

статочно влажный, то одежда должна быть пористой, чтобы испаряющийся пот охлаждал кожу. При сухом же климате пористость одежды нежелательна, так как может вызвать быстрое обезвоживание организма. В научно-фантастическом романе Фрэнка Герберта «Дюна» жители пустыни носят костюмы, удерживающие на поверхности тела всю выделяемую им драгоценную влагу.

3.80. У толстых массивных чугунных сковородок и кастрюль дно прогревается более равномерно, чем у современных, сделанных из тонкой стали. Те участки дна стальных сковородок, которые располагаются непосредственно над огнем, прогреваются особенно сильно, и на них пища часто пригорает.

3.81. В северном полушарии зимой холодно не потому, что Земля находится дальше от Солнца (зимой она, наоборот, ближе к Солнцу). Зимой из-за наклона земной оси к плоскости орбиты, по которой Земля движется вокруг Солнца, во-первых, дни становятся короче и, во-вторых, Солнце на небосводе поднимается менее высоко, чем летом. По этим двум причинам количество тепла, получаемого земной поверхностью за день, уменьшается. Однако изменение температуры отстает от изменений продолжительности дня и высоты Солнца, поскольку охлаждение поверхности Земли и земной атмосферы происходит сравнительно медленно.

3.82. Со стороны, обращенной к Солнцу, скафандр аст-

ронавта поглощает тепловое излучение и нагревается. Излучение же тепла происходит со всей поверхности. Поэтому солнечная сторона скафандра оказывается теплой, а теневая — холодной. (В действительности скафандр снабжен системой кондиционирования воздуха.) Термометр, вынесенный в космическое пространство, будет нагреваться до тех пор, пока количества поглощаемого и излучаемого им тепла не сравняются. Если термометр находится от Солнца на расстоянии, равном расстоянию Земля — Солнце, то он должен показывать примерно «земную» температуру в зависимости от того, какая часть его обращена к Солнцу. Аналогичный эффект вы можете наблюдать, когда станете лицом к огню.

3.83. Так называемый «парниковый эффект» часто объясняют неверно. Парники согреваются не потому, что стекло удерживает какое-то излучение, а потому, что в них уменьшается (или совсем отсутствует) охлаждение за счет циркуляции воздуха. Стекло может даже уменьшить количество излучения, попадающего в парник.

Земная атмосфера, однако, удерживает излучение, так как она лучше пропускает коротковолновую солнечную радиацию, чем длинноволновую. Часть попадающей на поверхность земли коротковолновой радиации поглощается ею, в результате земля нагревается. Излучает же земля длинноволновую радиацию, которую, как мы уже говорили, атмосфера пропускает слабо, поэтому часть ее удерживается в атмосфере.

3.84. При слабом ветре или его отсутствии вы теряете тепло в основном путем теплового излучения. Любой предмет при температуре выше абсолютного нуля излучает тепло, и чем горячее предмет, тем больше тепла он излучает. Кроме того, он также поглощает тепло из окружающей среды, причем количество поглощенного тепла зависит от температуры среды. Поскольку температура вашего тела почти всегда выше температуры среды, тело в целом теряет тепло. Когда вы в холодный день находитесь на улице или стоите в комнате лицом к окну, поглощаемое вами излучение незначительно, поскольку окружающая среда излучает слабо. Поэтому потеря телом тепла увеличивается, и вам становится холодно. Астронавт, выходя в космическое пространство без скафандра, должен ощущать ужасный холод, так как космический «вакуум» не излучает тепла¹.

Люди приспособляются к продолжительному холоду с помощью соответствующего питания и усиления притока крови к поверхности тела. Жители Севера потребляют пищу с более высоким содержанием белков, чем большинство людей, живущих в более низких широтах. Это способствует более интенсивному обмену веществ в организме, что помогает противостоять холоду.

¹ Это не совсем так. В организме человека непрерывно происходят процессы, приводящие к выделению тепла. Простая оценка показывает, что температура тела в открытом космосе уменьшается на 1° С за 7,5 мин (см. [79д]). — *Прим. ред.*

При охлаждении организма капилляры, по которым кровь поступает к коже, сокращаются, благодаря чему потеря тепла через кожу уменьшается. Когда температура конечностей человека становится слишком низкой, он начинает дрожать — усиление мышечной активности согревает руки и ноги.

Человек теряет тепло не только путем излучения, но и в результате теплопроводности (например, когда он стоит босиком на холодной земле), а также конвекции (сюда включаются потери на испарение, о которых мы говорили в задаче 3.52). Шуба согревает вас, так как заключенный между ворсинками меха воздух очень плохо проводит тепло. Чтобы свести потери тепла к минимуму, шубу — особенно в ветреный день — лучше надевать мехом внутрь; тогда ветер не будет выдувать из нее воздух, который и защитит вас от холода.

3.85. Поскольку металлические стенки трубы хорошо проводят тепло, значительное количество тепла будет уноситься с поверхности трубы возникающими вокруг нее конвекционными потоками. Обматывая трубу асбестом, уменьшают скорость притока тепла к ее поверхности, так как асбест проводит тепло много хуже, чем металл.

3.86. Если грозовое облако находится от вас на расстоянии нескольких километров, то там, где вы стоите, ветер направлен в сторону облака, так как воздушный поток на переднем фронте облака движется вверх. Когда же туча расположена достаточно

близко к вам, то ветер дует со стороны тучи, поскольку поток холодного воздуха, увлекаемого дождем, направлен вниз.

3.87. Тепло, идущее от пальца, согревает жидкость в том месте банки, которого касается палец, и ее плотность уменьшается. Окружающие слои более плотной жидкости вытесняют эту жидкость вверх; она поднимается на поверхность, растекается и охлаждается там до тех пор, пока не начнет снова опускаться вниз. Алюминиевые опилки делают эту циркуляцию жидкости видимой.

3.88. Ранним вечером, когда температура падает, дерево оказывается резервуаром более теплого воздуха, который в результате конвекции поднимается вверх. Насекомых привлекает тепло этого воздушного потока, а также, возможно, влага, которая образуется в нем, поскольку при подъеме воздух охлаждается и в нем происходит конденсация пара.

3.89. Камень на дне нагревается солнечными лучами, и теплая менее плотная вода конвекционным потоком увлекается от него к поверхности. Креветкам, видимо, нравится теплая вода (а возможно, и те органические вещества, которые несет этот поток), но они не любят солнечный свет. Поэтому они плывут в конвекционном потоке вверх, но, достигнув освещенной солнцем поверхности, снова опускаются на дно.

3.90. Большая часть избыточного тепла теряется бла-

годаря увеличению потока тепла, переносимого кровью к поверхности кожи, и повышенному потоотделению. Но эти процессы могут также привести к некоторым, чаще незначительным, а порой серьезным нарушениям в организме. Увеличение притока крови к коже может уменьшить кровоснабжение мозга, что в свою очередь может привести к потере сознания, особенно в том случае, если человек резко поднимается. Повышенное потоотделение вызывает обезсоливание организма, сопровождающееся тошнотой, судорогами, нарушением кровообращения. Если с потом теряется примерно 2% общего количества воды в организме, то человек испытывает сильную жажду. Потеря до 7% воды приводит к сильному нарушению кровообращения и, возможно, даже смерти. Перегрев тела сопровождается теми же симптомами и вызывает потерю сознания, иногда со смертельным исходом.

3.91. Если вы хотите, чтобы к началу занятий кофе был погорячее, сливки следует наливать непосредственно перед потреблением, так как они охладят кофе. Растворение сахара также способствует охлаждению кофе, поскольку при растворении поглощается энергия. Размешивание понижает температуру кофе, ускоряя перенос более горячей жидкости к поверхности и к холодным стенкам чашки по сравнению с обычной конвекцией. Металлическая ложка поглощает тепло и способствует его уносу из жидкости, отдавая его конвекционным воздушным

потокам и излучая в окружающее пространство. Поскольку черный предмет лучше излучает тепло, белый кофе остывал бы медленнее. Аналогичное рассуждение справедливо и для цвета чашки. Однако относительный вклад каждого из этих факторов в остывание кофе пока не исследован. Почему бы вам не заняться этим?

3.92. Молекулы краски должны продиффундировать от негатива к позитиву на расстоянии примерно 250 мкм за время проявления, которое для каждого фотоаппарата имеет определенное значение (в современных фотоаппаратах «Поляроид» оно составляет около 1 мин). Время, за которое молекулы проходят определенное расстояние, зависит от скорости их движения, та же в свою очередь определяется температурой. Понижение температуры уменьшает скорость движения молекул и замедляет их переход на позитив.

3.93. Более высокая температура в центре города по сравнению с его окраинами и пригородами объясняется несколькими причинами: 1) в городе меньше испарение (а оно сопровождается поглощением значительного количества тепла, см. задачу 3.52); 2) мостовые и здания накапливают больше тепла, чем почва; 3) из-за большой высоты строений и их специфического расположения ветер в городе слабее. К менее существенным факторам следует отнести уборку снега зимой и выделение тепла различными механизмами (в том числе автомобилями).

3.94. Полная кинетическая энергия молекул комнатного воздуха пропорциональна произведению числа молекул на температуру. Если воздух считать идеальным газом, то эта энергия молекул пропорциональна также произведению давления воздуха на объем комнаты. При нагревании воздуха в комнате объем последней, естественно, не изменяется. Менее очевидно, что не изменяется и давление. Однако, поскольку комната не изолирована и всегда сообщается с окружающим пространством, давление воздуха внутри нее равно внешнему атмосферному давлению. Таким образом, когда вы согреваете комнату, давление и объем воздуха внутри нее сохраняются прежними, соответственно не изменяется и полная энергия находящихся в комнате молекул воздуха. Это, конечно, возможно лишь потому, что по мере возрастания температуры часть молекул воздуха уходит из помещения.

3.95. Садовод расставляет дымящиеся жаровни в конце дня, когда земля уже прогрета солнцем. Создаваемый жаровнями дым поглощает излучаемое землей тепло и переизлучает его обратно на землю. Поэтому тепло сохраняется в пространстве между дымом и землей, и сад охлаждается не так сильно, как в том случае, когда излучаемое землей тепло беспрепятственно уходит в атмосферу. Подобный эффект создают и естественные облака.

3.96. Снежный покров плохо проводит тепло, поэтому он будет сохранять тепло земли (и растений), изолируя по-

верхность земли от холодного воздуха.

3.97. Пожары вызываются видимым и инфракрасным излучениями, возникающими при ядерном взрыве. В первую секунду после взрыва образующийся огненный шар так горяч, что большая часть излучаемых им электромагнитных волн приходится на ультрафиолетовую область спектра. Земная атмосфера хорошо поглощает ультрафиолетовое излучение, поэтому оно не распространяется далеко за пределы непосредственной области взрыва. По мере расширения и охлаждения огненного шара максимум излучения смещается в сторону более длинных волн, в видимую и инфракрасную области. Через 2—3 с после взрыва интенсивность этого излучения оказывается достаточной, чтобы загорелись такие материалы, как дерево. Если человек хоть чем-то защищен от прямого излучения взрыва, вероятность получения им ожогов значительно уменьшается. Во время атомных бомбардировок Хиросимы и Нагасаки были случаи, когда у людей незащищенные участки тела получали сильные ожоги, а соседние участки, прикрытые одеждой, оказывались совершенно неповрежденными.

3.98. Наличие примеси иницирует рост кристалла, так как частица примеси может послужить центром кристаллизации.

3.99. Гексагональная структура снежинок определяется гексагональной «упаковкой» молекул воды, образующих

снежинку. Как только возникает начальный «зародышевый» кристалл, молекулы воды собираются в его углах и постепенно нарастают, образуя «веточки» снежинки. Форма снежинки зависит от скорости ее падения, температуры и концентрации водяных паров. Однако конкретный характер этих зависимостей мало изучен. Симметрия снежинок свидетельствует о том, что условия присоединения молекул и роста ветвей в пределах одной снежинки должны быть всюду одинаковы.

3.100. Вследствие капиллярных эффектов молоко между двумя близко расположенными хлопьями поднимается вверх. Давление в молоке между хлопьями оказывается ниже атмосферного, а снаружи оно равно атмосферному. Это приводит к тому, что хлопья сближаются.

3.101. Землю вспахивают, чтобы она лучше удерживала влагу. В слежавшейся земле имеется множество маленьких пор, которые действуют подобно капиллярным трубкам. Вода по ним поднимается на поверхность и испаряется. В культивируемой почве диаметр таких пор больше, поэтому капиллярные эффекты выражены слабее.

3.102. Если края поверхности жидкости в сосудегибаютсякверху, то это означает, что сила притяжения между молекулами материала сосуда и жидкости больше силы взаимного притяжения молекул жидкости. Если же поверхность жидкости по краямгибаетсявниз, то

справедливо обратное. Аналогичным образом на основе межмолекулярных взаимодействий можно объяснить растекание капли по поверхности или сохранение капель своей формы.

3.103. В прошлом веке считалось, что соки поднимаются по стволу дерева под действием атмосферного давления. Это неверно. Сейчас предполагают, что подъем их обусловлен отрицательным давлением. По мере того как молекулы воды испаряются с поверхности листьев, на их место приходят другие молекулы, и мощные межмолекулярные силы поднимают сок по стволу от корней вверх.

3.104. См. ответ к задаче 3.106.

3.105. Камни «вылезают» на поверхность в результате чередующихся процессов замерзания и подтаивания земли, которые происходят зимой. Когда земля промерзает, граница льда в почве опускается, а водяной пар из почвы диффундирует вверх к границе льда. Если на границе промерзания оказывается камень, то она в этом месте опускается скорее, так как камень лучше проводит тепло, чем земля. Поэтому нижняя часть камня охлаждается скорее, чем окружающая земля. К нижней холодной поверхности камня будет примерзать больше воды, и вследствие расширения льда при замерзании камень начнет выталкиваться вверх сильнее, чем прилежащая к нему земля. Когда земля оттаивает, почва подсыпается под камень и его новое

положение закрепляется. Повторные циклы замерзания и оттаивания, происходящие на протяжении многих лет, в конце концов приводят к тому, что камень «вылезает» на поверхность.

3.106. Расширением замерзающей под асфальтом воды нельзя объяснить столь значительное вспучивание. Оно усиливается вследствие замерзания воды, которая поднимается из нижних слоев почвы вверх. Если поверхность почвы открыта, то образующийся под поверхностью лед будет выходить наружу в виде ледяных столбиков высотой 3—5 см. (см. задачу 3.104).

3.107. Благодаря капиллярным эффектам вода поднимается по стене на некоторую высоту. При испарении воды растворенные в ней соли откладываются в этом месте и за счет осмотического давления подталкивают воду выше по стене. Короткое замыкание снимает положительный заряд, возникающий в области повышенной концентрации солей, и устраняет осмотические явления.

3.108. Мыльные пузыри удерживаются поверхностным натяжением. Поскольку жидкость стекает к основанию пузыря, его верхушка быстро утончается и рвется скорее всего. Давление внутри пузыря больше атмосферного, так как поверхностное натяжение стремится сжать его.

3.109. Мыльные пузыри «наоборот», или антипузыри, как их иногда называют, исследованы очень мало. Под дей-

ствием поверхностного натяжения вода внутри пузыря принимает форму шара, поверхностное натяжение также препятствует тому, чтобы вода из пузыря проходила сквозь воздушную прослойку наружу.

3.110. Если пламя свечи слишком велико, поступающего по фитилю жидкого парафина может оказаться недостаточно для его поддержания, и пламя уменьшается. При этом в зоне горения образуется избыток парафина, и пламя снова ярко вспыхивает. При диаметре фитиля 2,5 мм такие мерцания возникают, когда его длина составляет 1,5—5 мм, причем чем короче фитиль, тем выше частота мерцаний.

3.111. Поскольку отношение площади поверхности к объему у распыленного вещества много больше, чем у того же вещества, сжатого в комок, искра или вспышка мгновенно нагревают отдельные частицы его до температуры воспламенения. Избыток воздуха способствует тому, что сгорание происходит быстро, подобно взрыву.

3.112. Защитная сетка хорошо проводит тепло, поэтому пламя не проникает за сетку. Горючие газы, конечно, могут попасть внутрь лампы, но объем их не настолько велик, чтобы произошел взрыв.

3.113. Высыхая, грязь сокращается в объеме; при этом в поверхностном слое почвы возникают механические напряжения, которые и разрывают его. Линии разрыва, как правило, пересекаются под прямыми углами, так как

вторая из двух образующихся трещин должна быть перпендикулярна направлению наибольшего напряжения в первой трещине.

3.114. Трещины во льду, как и в почве, образуются из-за сжатия земли при резком похолодании.

3.115. Почему камни на поверхности земли образуют кольца, пока еще не удалось объяснить. На этот счет существует несколько гипотез. Например, предполагается, что из-за вспучивания земли при промерзании камни, вначале распределенные по поверхности равномерно, могут раскатиться по кругу. Высказывается и другое мнение. Если вначале между камнями было свободное пространство, то там могло скопиться больше влаги, чем в окружающей почве. Тогда при замерзании избыток воды мог «раздвинуть» камни в радиальном направлении.

3.116. Этот вопрос весьма популярен среди студентов-физиков, но в нем не учитывается одно важное обстоятельство: биологическая система (например, человек) не является изолированной и не находится в термодинамическом равновесии, поскольку для своего существования она должна постоянно получать энергию извне. Поток энергии через конкретную систему может упорядочить ее, то есть уменьшить ее энтропию, однако полная энтропия Вселенной возрастает. В настоящее время подробный математический анализ уменьшения энтропии биологической системы мож-

но найти во многих научных трудах.

4.1. Давление на палец мальчика зависело только от плотности морской воды и от того, насколько ниже поверхности моря находилось отверстие. Размеры моря при этом не имели никакого значения.

4.2. Чем глубже под водой вы находитесь, тем больше давление испытывают ваши грудная клетка и легкие. Уже на глубине около 1 м давление воды настолько велико, что дышать атмосферным воздухом через трубочку становится невозможным¹.

¹ «Справочник пловца-подводника» [56д] в качестве предельной дает глубину 2 м.— *Прим. перев.*

4.3. Кровяное давление всегда измеряют на уровне сердца, так как это позволяет стандартизировать результаты. Если бы давление измеряли, скажем, на щиколотке, то результат измерения зависел бы от роста человека. Это создавало бы сложности при интерпретации полученных результатов.

4.4. Шлюз заполнен пресной водой, которая поступает в канал из озер, а за шлюзовыми воротами находится соленая океанская вода. Когда давления по обе стороны ворот выравниваются и ворота открываются, уровень пресной воды оказывается выше уровня соленой, поскольку плотность соленой воды больше. Пресная вода вытекает из канала в океан, и корабль движется с потоком пресной воды.

4.5. Различие уровней океанов с разных сторон Панамского канала отчасти обусловлено различной соленостью океанов. В Тихом океане вода более соленая, следовательно, более плотная. Поэтому у выхода в Тихий океан уровень воды ниже, чем у выхода в Атлантический.

4.6. Ответ тут простой, хотя, быть может, он покажется несерьезным. Плаваем в обоих случаях, так как объем их не изменяется. Но когда песочные часы переворачиваются, они перекашиваются в трубке, и трение в течение некоторого времени удерживает их на дне.

4.7. Когда камень находится в лодке, он вытесняет объем воды, масса которого равна массе камня. Поскольку плотность камня больше плотности воды, то объем вытесненной воды больше объема камня. Когда же камень лежит на дне бассейна, он вытесняет лишь объем воды, равный его собственному. Поэтому, когда камень из лодки выбрасывают в бассейн, объем вытесненной им воды уменьшается, и уровень воды в бассейне понижается. В случае тонущей лодки уровень воды остается неизменным, пока лодка полностью не покроется водой, затем он упадет.

4.8. Вода сначала заполняет первый виток шланга, затем часть ее переливается во второй виток, который вскоре заполняется, а в верхней части первого витка образуется воздушная полость. Тогда ток воды прекращается, пока

уровень воды в трубке с воронкой не поднимется достаточно высоко¹. Если столб воды будет достаточно высоким, то то же самое произойдет во втором витке. Если высота столба воды ограничена, а число витков велико, то в конце концов напора воды окажется недостаточно, чтобы протолкнуть воздушные полости дальше, и ток воды прекратится.

¹ Если бы воздушной полости не было, давление в верхней части первого витка было бы меньше на величину гидростатического давления столба воды между ее уровнями в первом и во втором витках.— *Прим. ред.*

4.9. Корабль будет плавать, пока между его днищем и дном сухого дока еще остается слой воды толщиной примерно в сантиметр. Гидростатическое давление, действующее на корабль, не зависит от количества находящейся под ним воды. Конечно, если слой воды станет тонким, то вода начнет подниматься вверх по стенкам вследствие капиллярных эффектов.

4.10. Для погружения подводной лодки в балластные цистерны, находящиеся на ее борту, набирают воду и увеличивают таким образом массу лодки. При всплытии цистерны продувают сжатым воздухом, масса лодки при этом уменьшается. Для того чтобы находящаяся под водой лодка была устойчива, плотность морской воды должна возрасти с увеличением глубины. Тогда, если подводная лодка немного поднимется, сила тяжести станет больше выталкивающей силы, и лодка вернется

на прежний уровень. Если же она опустится несколько ниже, то выталкивающая сила будет больше силы тяжести, и лодка опять вернется на прежний уровень. Плотность воды уменьшается с увеличением температуры и возрастает с увеличением солёности; обе эти величины с увеличением глубины уменьшаются. На глубинах 25—200 м имеется несколько уровней, где температура достаточно резко понижается с глубиной, компенсируя тем самым увеличение солёности. На этих уровнях подводная лодка устойчива.

4.11. Если отношение плотности бруска к плотности жидкости близко к 0 или 1, то брусок плавает устойчиво, как показано на первом рисунке. Если же это отношение принимает какое-то промежуточное значение, то боковые грани бруска наклоняются под углом 45° к поверхности жидкости. Устойчивым всегда будет такое положение, при котором потенциальная энергия системы минимальна.

4.12. Плавательный пузырь обеспечивает рыбе нулевую плавучесть, благодаря чему она не всплывает на поверхность и не опускается на дно. Предположим, рыба плывет вниз. Возрастающее давление воды сжимает газ в пузыре. Объем рыбы, а с ним и плавучесть уменьшаются, и, чтобы не утонуть, рыбе пришлось бы совершать движения плавниками. Но вместо этого рыба выделяет газ в плавательный пузырь, так что его объем остается примерно постоянным. Поэтому, несмотря на повышение внеш-

него давления, объем рыбы остается постоянным, и выталкивающая сила не изменяется. При всплытии рыбы часть газа из пузыря выходит, тем самым выталкивающая сила поддерживается неизменной.

4.13. Картонку удерживают две силы: атмосферное давление и поверхностное натяжение. Когда вы переворачиваете стакан, столб жидкости в нем немного опускается, и давление воздуха в верхней части стакана становится ниже атмосферного. Разность между атмосферным давлением и давлением над жидкостью создает силу, которая не дает жидкости вылиться из стакана. Вторая сила обусловлена поверхностным натяжением между водой и картонкой и водой и стенками стакана.

4.14. Тела утонувших всплывают потому, что их объем увеличивается под действием скопившихся в них газов.

4.15. Поскольку рассматриваемая система неустойчива, всякое небольшое возмущение поверхности воды (небольшая волна) быстро нарастает. Образуется пузырек, который поднимается вверх,— при этом жидкость начинает вытекать. Скорость всплытия пузырька, а значит, и скорость вытекания жидкости из стакана зависят от корня квадратного из ускорения свободного падения ($9,8 \text{ м/с}^2$) и от радиуса верхней части пузырька.

4.16. Температура и солёность воды с глубиной уменьшаются. Холодная малосолёная вода, поднимаясь со

дна, согревается и становится легче, чем соленая вода на поверхности. Поэтому поток воды со дна не прекращается. Более того, он может продолжаться даже без трубки, так как поднимающаяся вода обменивается теплом с окружающими слоями воды гораздо скорее, чем с солью.

4.17. Это явление аналогично рассмотренному в задаче

4.15. Движение возникает из-за малых возмущений (небольших волн) на поверхности раздела слоев воды. Окрашенная соленая вода, опускаясь, отдает тепло пресной неокрашенной и становится плотнее ее. Поэтому она продолжает опускаться вниз. Неокрашенная вода, поднявшись вверх вследствие случайной небольшой волны, согреется и окажется легче окружающей окрашенной воды. В результате этого ее движение вверх будет продолжаться.

4.18. На поверхности раздела соленой и пресной воды наблюдается неустойчивость того же типа, что и в задачах **4.15.** и **4.17.**

4.19. Объемный расход (количество жидкости, проходящее каждую секунду через поперечное сечение струи) в силу непрерывности потока должен оставаться постоянным на протяжении всей струи. Поскольку скорость воды при падении увеличивается, то чем ниже, тем меньше сечение должна иметь струя¹.

¹ Струя сжимается атмосферным давлением и силами поверхностного натяжения.— *Прим. ред.*

4.20. Мяч удерживается на месте благодаря тому, что давление струи под мячом больше, чем над ним. Такая разница давлений обусловлена тем, что мяч отклоняет большую часть струи и давление в отклоненном потоке уменьшается (аналогичный эффект рассматривается в задаче **4.25**). В результате на мяч действует сила, направленная вверх, то есть противоположно силе тяжести.

Дополнительная подъемная сила может возникнуть из-за вращения мяча вследствие эффекта Магнуса, который проявляется и при полете закрученного бейсбольного мяча (см. задачу **4.39**). Нередко подъемную силу, возникающую в рассматриваемом случае, ошибочно объясняют уменьшением давления в воздушной струе вследствие движения воздуха. Это неправильное истолкование смысла уравнения Бернулли. Кинетическая энергия воздушной струи обусловлена механической работой, совершаемой насосом, а не уменьшением давления воздуха. На самом деле давление в свободно движущейся воздушной струе равно атмосферному¹.

¹ Если насадка на шланг пылесоса сужается (как это обычно бывает), то скорость воздушного потока увеличивается, а давление уменьшается. Таким оно остается и в струе, пока в нее не будет «затянут» окружающий воздух. Тогда давление станет равным атмосферному.

Поперечная устойчивость мяча объясняется уменьшением давления в струе, обтекающей мяч.— *Прим. ред.*

4.21. Шарик (как и мяч в задаче **4.20**) устойчиво удержи-

вается в струе благодаря разности давлений над и под ним. Воздух, вдуваемый в игрушку, увлекает за собой воздух в трубке. В результате создается воздушный поток от верхнего отверстия к нижнему. Шарик, пролетая мимо верхнего отверстия, попросту втягивается в него воздушной струей.

4.22. Струя воды поддерживает мячик и придает ему устойчивость. Мяч в основном находится в стороне от центра струи, и она заставляет его вращаться в определенном направлении. Вода из струи частично «прилипает» к мячу, а затем, совершив вместе с ним, скажем, пол-оборота, отбрасывается. Отрываясь, вода подталкивает мяч к центру струи (на мяч действует реактивная сила) и тем самым удерживает его в струе¹. Даже если мяч на мгновение совсем выйдет из струи, за следующие пол-оборота от него оторвется некоторое количество воды, и в результате мяч обратно вернется в струю.

¹ Поток воды, обтекая шарик, сужается. Его скорость сбоку от шарика увеличивается, а давление уменьшается и становится ниже атмосферного. Если мячик отклоняется в сторону, то с одной его стороны поток становится шире, а с другой — уже. Это меняет распределение давления, и мячик возвращается в струю.— *Прим. ред.*

4.23. По-видимому, никаких публикаций по этому поводу, кроме описания самого опыта, не было. Попробуйте экспериментировать сами. Подумайте, каково давление

над яйцом и под ним? Играет ли здесь какую-либо роль турбулентность струи? Если яйцо, плавающее в спокойной воде, окажется в узкой горизонтальной струе, будет ли оно двигаться навстречу потоку?

4.24. В слое потока, прилегающем к ложке, образуется узкий вихрь с пониженным давлением. Так как с противоположной ложке стороны потока давление равно атмосферному, а у ложки оно меньше, то поток прижимается к ложке (это явление носит название эффекта Коанда). Внизу струя отклоняется в силу «эффекта чайника», разобранный в задаче 4.118.

4.25. Когда воздушная струя проходит мимо устья трубки, давление в ней понижается. На поверхность воды вокруг трубки действует атмосферное давление. Возникающая разность давлений заставляет воду подниматься по трубке. Главный вопрос заключается в том, почему понижается давление в воздушной струе. Как было сказано в ответе к задаче 4.20, в свободном воздушном потоке давление равно атмосферному. Следовательно, давление в воздушной струе должно понижаться вследствие обтекания ею трубки.

В связи с этим следует обратить внимание на два обстоятельства. Часть воздуха, проходя над трубкой и вдоль ее стенок, отклоняется вверх и в стороны. Прилегающий к трубке слой воздуха будет двигаться быстрее, поэтому давление в нем понизится. Если поток завихряется, что вполне вероятно, то

над трубкой в нем образуются вихри, которые также понижают давление. Так или иначе, давление над трубкой понижается.

4.26. Впереди быстро идущего поезда создается фронт высокого давления, а за ним — область низкого давления. Когда встречные поезда разъезжаются, стекла поезда могут быть выдавлены наружу, поскольку между поездами возникает область пониженного давления.

4.27. Когда воздушный поток отклоняется конусом вверх, давление непосредственно над конусом понижается (см. задачу 4.25). Поэтому воздух из норы через лаз выталкивается наружу, обеспечивая тем самым вентиляцию.

4.28. Ускорение воздуха, отклоняемого над капотом при движении машины, настолько велико, что возникающие при этом силы разрывают насекомых¹.

¹ Увеличение скорости потока вызывает резкое уменьшение давления в нем. Давление же внутри насекомого равно атмосферному.— *Прим. ред.*

4.29. Предположим, что полотно флага совершенно гладкое и в какой-то момент оно полностью развернуто на сильном ветру. Но вот возникает небольшое возмущение, и в результате с одной стороны флага воздушный поток немного отклоняется наружу, чтобы обогнуть складку. Обтекая складку, он должен двигаться скорее. С увеличением скорости давление, как мы знаем, уменьшается, поэтому складка увеличивается

из-за различия давлений по разные стороны флага. Одновременно она движется вдоль флага в направлении ветра — флаг полощется.

4.30. Наклоненное вниз крыло создавало силу, направленную вниз; тем самым улучшалось сцепление колес с дорогой. Это позволяло машине быстрее проходить повороты. Аэродинамическая сила крыла здесь создавалась так же, как и на самолете (см. задачу 4.31), только в данном случае она была направлена вниз.

Вентилятор в задней части автомобиля тоже создавал направленную вниз силу, увеличивающую сцепление колес с дорогой. Воздух, который засасывался под автомобиль, ускорялся, так как сечение воздушного потока уменьшалось. Согласно уравнению Бернулли, увеличение скорости потока сопровождается понижением давления. Таким образом, давление над автомобилем оказывалось выше, чем под ним, и автомобиль почти в полтора раза сильнее прижимался к дороге.

4.31. Воздух, обтекающий крыло, движется над крылом быстрее, чем под крылом. Следовательно, давление под крылом больше, чем над крылом, в результате чего и возникает подъемная сила.

Из источников, на которые мы ссылаемся, не всегда можно понять, применимо ли в данном случае уравнение Бернулли или нет. Это уравнение непосредственно вытекает из закона сохранения энергии. Так как на воздушный поток, обтекающий крыло, влияют также адгезия

(«прилипание») и вязкость воздуха (а оба эти эффекта сопровождаются совершением работы в воздушном потоке), то это уравнение, казалось бы, применять нельзя. Однако им все же можно воспользоваться, если учесть вязкость и адгезию, считая, что в дополнение к безвихревому обтеканию крыла воздушным потоком существует еще некий кольцевой поток, прилегающий к крылу (который направлен вперед под крылом и назад над ним). Такое наложение кольцевого и линейного потоков рассматривается в работах Кутты и Жуковского о подъемной силе крыла¹. Над крылом скорость циркуляции складывается со скоростью линейного потока, в результате скорость воздуха увеличивается. Под крылом циркуляция направлена против линейного потока, и скорость воздуха уменьшается. Тогда в силу уравнения Бернулли давление над крылом оказывается меньше, чем под крылом, поэтому возникает подъемная сила. Как видим, уравнение Бернулли в данном случае можно применять только с определенными оговорками и уточнениями.

Истинная подъемная сила крыла, согласно теории Кутты и Жуковского, рассчитывается путем определения изменения импульса воздушного потока при его отклонении циркуляционным потоком. В соответствии с законом Ньютона сила, необходимая для отклонения воздуш-

ного потока вниз, равна по модулю подъемной силе крыла.

4.32. Когда летчик пытается выйти из пике, эффективный вес самолета увеличивается из-за центростремительного ускорения, возникающего при полете по дуге. Подъемная сила крыльев, которая и так была недостаточной, теперь должна стать еще больше. А для того чтобы подъемная сила увеличилась, скорость самолета при выходе из пике должна быть больше скорости нормального полета.

4.33. Ветер, обтекающий парус, создает горизонтальную «подъемную силу», направленную в сторону выпуклости наполненного ветром паруса (см. задачу 4.31). Эта сила максимальна, когда парусное судно идет под прямым углом к ветру. Тогда скорость судна и достигает наибольшего значения.

4.34. Обычно «летающая тарелка» движется в воздухе так, что ее передний край приподнят, поэтому, как и в случае крыла, возникает подъемная сила (см. задачу 4.31). Кроме того, ориентация «летающей тарелки» несколько стабилизируется благодаря ее вращению, подобно тому как стабилизируется вращающийся гироскоп.

4.35. Существуют два подхода к решению проблемы «мускулолетов»: либо это аппарат, который приводится в движение человеком, либо это просто крылья, привязанные к рукам человека, размахивая которыми он прыга-

ет с высокого строения. Однако если в последнем случае высота будет больше 3—6 м, то полет вряд ли будет успешным, а приземление наверняка запомнится надолго. Более многообещающим представляется легкий самолет, в котором один-два человека крутят педали, обеспечивая движение вперед и подъемную силу. Впервые такой полет был совершен в 1961 г., «мускулолет» пролетел около 50 м. С тех пор появилось много различных конструкций с размером крыльев от 20 до 40 м. Главная трудность при создании таких аппаратов — добиться возникновения подъемной силы при наименьших затратах мощности. В предлагаемых конструкциях даже хороший спортсмен не в состоянии обеспечить мощность, необходимую для полета более чем на 100 м. Однако, по видимому, для этих целей можно приспособить спортивные самолеты с размахом крыльев 15 м и подходящим профилем крыла, если умело использовать ветер и тепловые потоки в атмосфере. Тогда один или два человека смогут просто вывести самолет на достаточную высоту, где он будет действовать отчасти как планер (см. задачу 4.98).

4.36. При игре в гольф крученный мяч, которому придана «нижняя закрутка», поднимается вверх подобно тому, как закрученный бейсбольный мяч отклоняется вбок (см. задачу 4.39). Высота полета мяча с «верхней закруткой» меньше, поэтому летит он не так далеко, зато дальше катится по полю. В любом из этих случаев мы

¹ Такое обтекание крыла возникает благодаря отрыву от крыла вихрей, которые образуются на линии встречи потоков, идущих над и под крылом. — *Прим. ред.*

имеем дело с конкурирующими эффектами — какой из них окажет более существенное влияние на проходимость мячом расстояние, зависит от характера площадки, аэродинамических свойств мяча и т. п.

4.37. Ветер, огибая вращающиеся цилиндры, «толкает» их вбок. Этот эффект также подобен отклонению бейсбольного мяча (см. задачу 4.39). При соответствующей ориентации судно начинает двигаться по воде вперед.

4.38. Ветер, попадающий на здание, частично прогоняется через нижний просвет. При этом скорость его возрастает.

4.39. При «закручивании» бейсбольному мячу придать вращение вокруг вертикальной оси. Во время полета в воздухе на такой крученный мяч действует горизонтальная сила (эффект Магнуса), которая отклоняет его в сторону. Эта сила обусловлена разницей давлений с двух сторон мяча: с той стороны, которая при вращении движется навстречу потоку, давление оказывается больше, чем с противоположной.

В данном случае, как и при объяснении возникновения подъемной силы крыла (см. задачу 4.31), уравнение Бернулли нельзя применять прямо, поскольку при вращении мяча в воздушном потоке существенную роль играют эффекты адгезии и вязкости воздуха. Эти эффекты учитываются наложением на линейный поток кольцевого замкнутого потока, циркулирующего в направлении вращения мяча. Тогда можно

применять уравнение Бернулли, так как теперь не нужно учитывать внешние силы, совершающие работу в огибающем мяч воздушном потоке. Мы найдем, что давление с одной стороны мяча меньше, чем с другой. Под действием этой разности давлений мяч отклоняется.

Горизонтальная «подъемная сила» может быть рассчитана в соответствии с теорией Жуковского и Кутты, подобно тому, как определяется вертикальная подъемная сила крыла.

4.40. Противоположный эффект можно наблюдать на гладком, медленно вращающемся и медленно движущемся поступательно мяче. При определенных условиях с той стороны мяча, которая, вращаясь, движется вместе с набегающим потоком, поток будет ламинарным, а с противоположной, которая движется навстречу потоку, может происходить турбулентное перемешивание воздуха. Давление в вихре меньше, чем в ламинарном потоке, поэтому мяч отклоняется в сторону, противоположную направлению отклонения мяча, рассмотренного в предыдущей задаче. Естественно, что отрывающийся от мяча поток отклоняется за мячом также в противоположную сторону.

4.41. Вертикально направленные силы создают волны с небольшой амплитудой. Когда поток воздуха проходит над этими волнами, он слегка отклоняется вверх над гребнем волны, а затем — вниз, во впадины. Если бы поток был идеальным, то энергия ветра не передава-

лась бы волнам, и амплитуда их оставалась бы прежней. Но возникающая во впадине циркуляция воздуха смещает область максимального давления в сторону воздушного потока. Поэтому изменения давления уже не совпадают по фазе с волнами на воде, часть энергии воздушного потока передается волнам и их амплитуда возрастает.

4.42. Гигантские валы в океане образуются в результате наложения множества волн, совпадающих по фазе. Эти гигантские волны не проносятся через океан, подобно цунами. Наоборот, они быстро исчезают, так как составляющие их отдельные волны расходятся по разным направлениям и с несколько различными скоростями.

4.43. При скорости ветра больше 5 м/с на поверхности воды возникает турбулентность, вследствие чего появляются воздушные пузырьки. Скопления таких пузырьков и образуют барашки. Групповая скорость морских волн примерно вдвое меньше фазовой¹. Это означает, что отдельные волны, образующиеся позади группы волн, движутся вперед со скоростью, примерно вдвое большей, чем вся группа волн в целом, а затем исчезают в передней части этой группы. Максимальной амплитуды отдельная волна достигает в центре группы.

¹ Групповая скорость волн отличается от скорости одной волны по той причине, что скорость распространения волны зависит от длины волны (дисперсия), а группа волн состоит из набора волн различной длины. — *Прим. ред.*

Если эта амплитуда больше некоторого критического значения, то волна разбивается и образуется пена. Но вспенивание происходит только в тот момент, когда отдельная волна проходит через центр группы. Поэтому полосы барашков возникают периодически, одна за другой.

4.44. Перед медленно движущимся судном образуются волны относительно небольшой длины. Несколько таких волн всегда находятся по борту судна. По мере ускорения движения судна длина волн перед ним увеличивается, пока, наконец, не сравняется с длиной судна. Тогда волны, идущие перед кораблем и позади него, начинают усиливать друг друга — судно оказывается как бы в ловушке между двумя гребнями, один из которых вырастет перед носом корабля, а другой — за кормой. При дальнейшем увеличении скорости судна волны начинают оказывать значительное сопротивление движению, и чтобы преодолеть его, приходится затрачивать дополнительную мощность. Для корабля на подводных крыльях подобной проблемы не существует, так как его корпус приподнят над водой. Крылья, опущенные в воду, действуют так же, как крылья самолета: из-за отклонения обтекающего их потока воды возникает подъемная сила (см. задачу 4.31). Что касается подъемной силы, то корабли на подводных крыльях — это те же самолеты, только «летают» они в воде.

4.45. На воде могут возникать

волны двух типов: капиллярные волны, определяемые главным образом поверхностным натяжением жидкости, и гравитационные волны, обусловленные силой тяжести. Волны большой длины относятся ко второму типу, короткие волны — к первому. Ни те, ни другие волны не распространяются со скоростью меньше 0,23 м/с. Если жук-плавунец движется медленнее, то волны вообще не образуются. Когда же он плывет с большей скоростью, образуются волны обоих типов. Групповая скорость капиллярных волн больше их фазовой скорости, поэтому эти волны оказываются впереди жука. Групповая скорость гравитационных волн меньше фазовой, поэтому они наблюдаются позади жука. Отчетливо видны лишь капиллярные волны, создаваемые жуком, гравитационные же можно заметить лишь при внимательном рассмотрении.

4.46. Если бы корабль создавал волны одинаковой длины, то угол их расхождения можно было бы определить точно так же, как определяется угол конуса ударной волны, создаваемой сверхзвуковым самолетом: $\sin \Theta = c/v$, где c — скорость звуковой волны, v — скорость самолета. Но корабль оставляет волны в широком диапазоне длин, и они распространяются с различными скоростями. Из любой точки, через которую проходит корабль, эти волны расходятся по всем направлениям, причем более длинные волны движутся быстрее коротких. Однако в результате интерференции эти волны в основном уничто-

жаются, за исключением области некоторого кольца, расширяющегося вперед по направлению движения судна. По мере продвижения судна вперед за ним остается цепь таких колец (чем дальше от корабля, тем кольцо больше). Эти кольца и образуют V-образную область за кораблем, изображенную на рисунке, причем угол расхождения V не зависит от скорости движения корабля.

Рассмотрим некую произвольную точку на оси симметрии кормового следа корабля. Расстояние от этой точки до корабля всегда в три раза больше расстояния от нее до границы кормового следа (внешней границы распространения колец), измеренного по перпендикуляру к оси симметрии. Следовательно, синус угла расхождения кормового следа и сам этот угол все время сохраняются неизменными. В пределах кормового следа расширяющиеся интерференционные кольца создают специфическую волновую картину, которая и изображена на рисунке.

4.47. Насколько мне известно, в литературе не встречалось элементарного объяснения краевых волн. В некоторых публикациях последних лет высказывается предположение, что эти волны вызваны не движением волн в сосуде, а локализованными колебаниями вблизи осциллятора.

4.48. Скорость волны зависит от глубины — чем мельче вода, тем медленнее движутся волны. Если фронт волны приближается к берегу под некоторым углом, то ближайшая к берегу часть волны

начинает замедляться раньше, чем удаленная от него. По мере замедления движения волны фронт поворачивается, пока не вытягивается параллельно береговой линии (или по крайней мере линии мелководья).

4.49. Когда спортсмен слегка откидывается назад, принимая характерную для серфинга стойку, передний конец доски отклоняется вверх, и доска «прижимает» набегающую волну. Если скольжение происходит достаточно быстро, то вода не успевает выйти из-под доски. При глубине около 2,5 см скорость движения волн составляет примерно 0,5 м/с. Поэтому при скольжении с большей скоростью под доской всегда остается достаточно воды, и доска не тонет. Спортсмена удерживает не выталкивающая, а «подъемная» сила воды.

4.50. Для того чтобы скользить по волнам, спортсмен должен двигаться со скоростью волны. В глубокой воде скорость волны обычно больше, чем скорость отдельных «частиц» воды. Около же берега скорость «частиц» воды почти равна скорости волны, и, чтобы двигаться вровень с волной, спортсмену нужно обеспечить лишь небольшую добавку к их скорости. Эта дополнительная скорость возникает из-за постоянного «съезжания» доски с гребня волны. Поэтому серфингом удобно заниматься вблизи пляжа, набегаая на который волны разбиваются или близки к этому. Скорость частиц воды максимальна на гребне волны. Следовательно, ско-

рость движения задней части доски по воде должна быть меньше скорости движения ее передней части, однако это создает неустойчивость. Чем короче доска, тем менее существенна эта разница скоростей.

4.51. Перед носом движущегося корабля возникает область повышенного давления. Дельфины плывут перед кораблем между областями повышенного и нормального давления.

4.52. Приливы обусловлены неоднородностью поля тяготения Луны (и Солнца). Благодаря этому Земля в поле тяготения Луны движется с меньшим ускорением, чем точка океана, над которой находится Луна, и большим, чем точка океана, находящаяся на противоположной стороне Земли. Поэтому с двух сторон Земли океан как бы «вспучивается». Время, за которое приливная волна обходит половину земного шара, больше половины периода вращения Земли вокруг своей оси. Это приводит к запаздыванию приливов (см., например, 43д, с. 360—366.— *Ред.*)

4.53. Сила, которой обусловлен прилив, обратно пропорциональна кубу расстояния до светила. Поэтому в приливных явлениях преобладает влияние Луны, хотя притяжение Солнца сильнее.

4.54. Момент импульса системы Земля — Луна сохраняется неизменным благодаря тому что по мере замедления вращения Земли расстояние между Землей и Луной увеличивается.

4.55. Колебания воды в водоемах происходят под воздействием ветра, изменения атмосферного давления и сейсмической активности. Эти колебания охватывают некоторый диапазон частот, из которого водоем «выделяет» те, что совпадают с его собственной резонансной частотой. При этом в водоеме образуются стоячие волны, подобно тому как возникают стоячие звуковые волны в органной трубе, возбуждаемой колебаниями с различными частотами.

4.56. См. задачу 4.58.

4.57. Период собственных колебаний воды в заливе составляет около 13 ч, поэтому происходящие дважды в день приливы возбуждают в заливе резонансные колебания (аналогично тому, как возбуждаются резонансные колебания в органной трубе под действием звуковых волн). В результате амплитуда колебаний воды в заливе увеличивается.

4.58. Приливная волна в реках и скачок воды в раковине — это примеры гидравлического скачка, который объясняется возникновением в воде поверхностной волны, аналогичной ударной волне в атмосфере. Нормальные (синусоидальные) гравитационные волны могут распространяться против течения в потоке воды, если скорость этого потока меньше скорости волн. (В ответе к задаче 4.45 объясняется разница между капиллярными и гравитационными волнами.) Отношение скорости потока к скорости распространения волны называется

числом Фруда. Если число Фруда меньше 1, то поток является «докритическим», если же оно превышает 1, то поток будет «сверхкритическим». Гидравлический скачок наблюдается там, где сверхкритический поток переходит в докритический. Высота слоя воды изменяется потому, что скорость распространения волны зависит от корня квадратного из глубины. Например, при гидравлическом скачке в кухонной раковине толщина водного слоя внутри кольца мала, скорость распространения волн невелика, и поток здесь является сверхкритическим. Вне кольца толщина слоя больше, соответственно больше и скорость волны, поэтому поток становится докритическим.

В случае приливной волны приток воды к сужающемуся и поднимающемуся вверх каналу делает поток сверхкритическим для любой волны, возбуждаемой каким-либо препятствием на пути этого потока. В приливной волне происходит переход от сверхкритического потока к докритическому, поскольку увеличение глубины приводит к росту скорости распространения волн в воде.

4.59. Об этом опыте мне не попадалось никаких публикаций. Быть может, вы захотите исследовать данное явление самостоятельно?

4.60. Причины образования зубчатой каемки на пляжах в настоящее время только начинают исследовать. Было выдвинуто немало различных гипотез, но ни одна из них не получила общего признания. Предполагается, в частности,

что большие зубцы возникают под влиянием «сулоя», особого типа волнения на море, при котором на пляж набегают волны, отстоящие друг от друга на равном расстоянии. Согласно этой гипотезе, остроконечные части зубцов образуются между волнами, где перенос частиц со дна моря в направлении, параллельном береговой линии, минимален. Закругленные части («заливчики») возникают там, где волны сулоя стекают обратно в море и подмывание дна максимально. Причины образования мелких зубцов еще менее исследованы. Недавно была выдвинута гипотеза, которая утверждает, что набегающие на берег океанские волны создают стоячие волны, расположенные под некоторым углом к береговой линии. Гребни и впадины этих стоячих волн и придают пляжу зубчатую форму.

4.61. Из-за вращения Земли на движущиеся частицы воды действует кориолисова сила, под влиянием которой поверхностный поток отклоняется от направления ветра (примерно на 45° вправо в северном полушарии и на 45° влево в южном). Если поток ламинарный («гладкий»), то его отклонение возрастает с увеличением глубины. График зависимости вектора скорости потока от глубины называется спиралью Экмана. Для того чтобы определить полный горизонтальный перенос воды, нужно проинтегрировать вектор потока по глубине. Вычисления показывают, что направление полного переноса водных масс примерно

перпендикулярно направлению ветра.

4.62. Вследствие того, что кориолисова сила изменяется с широтой, общая циркуляция воды в океанах смещается к западу. «Линии тока» на западе уплотняются, поэтому течения там более интенсивны.

4.63. Центростремительное ускорение, обеспечивающее вращение чая вокруг оси, проходящей через центр чашки, возникает за счет разности давлений чая у стенок чашки и около оси вращения. Эта разность давлений приводит также к образованию еще одного, так называемого вторичного потока, который и собирает чайинки в центре чашки. Рассмотрим два горизонтальных слоя чая — верхний и нижний. В обоих слоях давление по мере удаления от центра увеличивается. Но в нижнем слое для обеспечения центростремительного ускорения необходима меньшая разность давлений, так как из-за трения о дно чашки чай в этом слое не может вращаться так же быстро, как в верхнем. Таким образом, в обоих слоях существует разность давлений, но в верхнем слое она больше. Любопытный эксперимент: чай, находящийся первоначально у края верхнего слоя, не только вращается вокруг центральной оси, но под действием разности давлений у стенки чашки в верхнем и нижнем слоях опускается вдоль стенки ко дну. Одновременно возникает ток жидкости вверх вдоль центральной оси, который затем расходится по радиусу к краю верхнего слоя. Поэтому

помимо вращения все время происходит перемещение чая от края верхнего слоя к краю нижнего, оттуда к центру нижнего слоя, далее вверх к центру верхнего слоя и, наконец, к краю верхнего слоя. Чаинки, лежащие на дне чашки, увлекаются этим вторичным потоком и собираются в центре стакана, откуда жидкость поднимается вверх.

4.64. Причиной образования меандров рек также является вторичный поток, о котором рассказывалось в предыдущем ответе. На существующем первоначально небольшом изгибе русла возникает вторичный поток, перпендикулярный основному течению и циркулирующий от края верхнего слоя основного потока к краю нижнего, затем к центру нижнего слоя, к центру верхнего слоя и снова к краю верхнего слоя. Этот поток уносит частицы вещества с наружной стороны изгиба русла и откладывает их на внутренней стороне русла несколько ниже по течению. Вначале поток может быть относительно прямым, но со временем его небольшие изгибы увеличиваются и он становится извилистым.

4.65. Если бы шарик во вращающемся стакане всплывал с прежней скоростью, ему приходилось бы «расталкивать» находящуюся над ним воду в стороны. Но такое движение воды было бы направлено против разности давлений, которая поддерживает вращательное движение жидкости. (Центростремительное ускорение воды при вращении обусловлено увеличением давления по ра-

диусу от центра к краю, у стенки давление больше.) Если скорость всплытия шарика слишком мала, чтобы обеспечивать такое вытеснение находящейся над ним воды вбок, то он всплывает вместе со столбиком воды, который поднимается вверх с той же скоростью, что и шарик. Другими словами, шарик толкает и тянет за собой столбик воды диаметром, равным диаметру шарика. Трение, испытываемое этим столбиком, и большая движущаяся масса увеличивают время всплытия шарика.

4.66. Когда чернила попадают в воду, они оттесняют часть воды к центру стакана, к оси вращения. Но тогда оказывается, что этот объем воды движется быстрее, чем должен был бы, находясь на таком расстоянии от оси. Поэтому он стремится вернуться в прежнее положение и создает давление, направленное по радиусу к стенке стакана. Та же часть воды, которую чернила вытеснили к стенке стакана, оказывается под давлением, слишком большим для ее центростремительного ускорения, поэтому она, также стремясь занять прежнее положение, создает давление, направленное к центру. (Возникающая вдоль радиуса разность давлений обсуждалась в предыдущем ответе.) В результате чернила сжимаются в радиальном направлении и, перемещиваясь с водой в вертикальном направлении, все равно остаются в узком слое.

4.67. Споры по поводу направления вращения воды, вытекающей из ванны, порой достигают не меньшего накала,

чем какие-нибудь ожесточенные дебаты на религиозные темы. Одни утверждают, что в северном полушарии вода всегда вращается против часовой стрелки, другие говорят, что так бывает лишь примерно в половине случаев. Шапиро [722] был первым, кто тщательно исследовал направление вращения воды, хотя споры, судя по всему, не прекратились до сих пор.

Такие исследования нужно проводить в тщательно рассчитанной ванне и предельно внимательно, в противном случае вращение, обусловленное кориолисовой силой, наблюдать не удастся. Обычные ванны и раковины не пригодны для наблюдения эффекта Кориолиса. Вращение в них может происходить в любом направлении и будет обусловлено такими параметрами, как форма ванны, возмущения воды при выдергивании пробки, форма и расположение сливного отверстия, которые не поддаются строгому контролю. Для того чтобы продемонстрировать кориолисову силу (она достаточно мала), нужна строго симметричная ванна, в которой сливное отверстие расположено точно в центре и открывается так, что при этом не создается начального закручивания воды. Вода в ванне должна постоять день-другой, чтобы затихли все вихри, возникшие при наливании воды. Над водой не должно быть воздушных потоков и температуру в помещении необходимо поддерживать постоянной, так как воздушные потоки и изменения температуры могут создать движения, которые будут

маскировать действие кориолисовой силы. Только при строгом соблюдении всех мер предосторожности можно будет наблюдать истинное вращение вытекающей из ванны воды, обусловленное действием кориолисовой силы.

4.68. Причины возникновения, природа и поведение торнадо и водяных смерчей пока еще мало исследованы. В самом деле, трудно сказать, чем отличаются торнадо от водяных смерчей, кроме того, что последние образуются над водой, что они слабее торнадо, движутся быстрее и «живут» дольше. Настоящие торнадо, которые наблюдаются над центральными равнинами Соединенных Штатов, несут огромные разрушения и обычно сопровождаются сильными бурями. Судя по всему, вертикальное движение в торнадо направлено вверх. (В «Волшебнике Изумрудного города» торнадо уносит Элли вверх). Торнадо становятся видимыми из-за конденсации воды в области низкого давления внутри воронки, а также из-за грязи, обломков и брызг, поднимаемых с земли. Часто торнадо возникают весной, когда сухой воздух с севера сталкивается с теплым влажным воздухом, идущим с Мексиканского залива. Однако механизм, вызывающий образование вихря, пока не известен. Возможно, причиной его образования являются тепловые движения. Изначально существующее вращение воздушных масс может радиально сжиматься, усиливаясь при этом. При сильных грозах многократные электрические

разряды могут нагреть воздух настолько сильно, что образуется вихрь. Последнее предположение кажется особенно достоверным, поскольку торнадо часто сопровождаются линейными и шаровыми молниями (см. задачи 6.32—6.35).

4.69. Порошкообразное вещество способствует выделению углекислого газа, так как его частицы служат центрами образования газовых пузырьков. Пузырьки преимущественно возникают в центре потока, особенно если порошок бросить именно туда, потому что давление в центре ниже, чем у края. (О распределении давления во вращающейся жидкости говорилось в ответе к задаче 4.63.) Пузырьки придают воде, прилегающей к оси, дополнительную «плавучесть», и она начинает подниматься вверх. На ее место по дну к центру в радиальном направлении притекает другая вода, и вращение концентрируется в центре. Скорость вращения возрастает — образуется «смерч».

4.70. Так как плотность холодного молока больше, чем горячего кофе, струйка его движется вниз. Вихревые трубки во вращающемся кофе захватываются потоком молока и вытягиваются вниз. В результате угловая скорость вращения этих вихрей увеличивается и может стать достаточной для образования на поверхности кофе воронки. Когда в кофе наливают горячее молоко, оно либо совсем не опускается вниз, либо опускается гораздо медленнее, чем холодное. Если плотность горячего молока

меньше плотности кофе, то увлекаемые им вихревые трубки оказываются короче и скорость их вращения будет меньше.

4.71—4.73. Причины возникновения песчаных вихрей до сих пор не вполне понятны. По-видимому, перегретый воздух изначально находится у поверхности земли в неустойчивом равновесии. При любом небольшом возмущении этот воздух «вырывается» из тонкого пограничного слоя и получает возможность подниматься. Как только в пограничном слое возникает разрыв, поднимающийся горячий воздух увлекает за собой окружающий воздух из пограничного слоя. Этот эффект подобен тяге в печной трубе (см. задачу 3.34). Направление вращения такого вихря совершенно произвольно в отличие от ураганов, имеющих некое предпочтительное направление вращения. Огненные и туманные вихри аналогичны песчаным в том смысле, что и здесь причиной, по-видимому, является очень неустойчивый слой горячего воздуха, который находится под холодным.

4.74. Когда капля входит в воду, по краям она замедляется окружающей водой, поэтому центр капли движется быстрее. Вихрь образуется вследствие того, что быстро движущийся центр капли опускается вниз, а края капли загибаются кверху. Расширение кольца по мере его приближения ко дну аналогично расширению колец табачного дыма (см. задачу 4.103).

4.75. В первом случае вихри срываются с обоих краев картонки. Во втором случае вода, увлекаемая картонкой, движется вдоль нее, и вихрь образуется только у заднего края картонки.

4.76. Вначале охлаждение воздуха происходит из-за его расширения при входе в трубку. У входного отверстия трубки образуется вихрь, скорость воздуха в котором у оси трубки больше, чем у стенок. По мере того как воздушный поток движется по спирали внутри трубки, распределение скоростей по ширине трубки становится более однородным, так как воздух в центре при вязком взаимодействии совершает работу над воздухом, прилегающим к стенкам трубки. В результате наружный слой воздуха, приближаясь к отверстию, из которого выходит горячий воздух, согревается. Центральная часть вихря, расширяясь и соответственно охлаждаясь после прохождения диафрагмы, движется по направлению к отверстию для выхода холодного воздуха. Таким образом, увеличение температуры в наружном слое вихря обусловлено работой, совершаемой вязкими силами при ускорении этого слоя. Уменьшение температуры в центральной части вихря вызвано расширением воздуха, движущегося в противоположном направлении.

4.77. Когда птица совершает крылом мах вниз, за крылом образуется восходящая струя, которая остается позади птицы. Смысл полета «клином» заключается в том, что птица, летящая следом,

использует оставляемую первой восходящую струю. Таким образом все птицы, кроме вожака, который летит первым, могут экономить энергию.

4.78, 4.80, 4.81. Поведение всех тонущих или всплывающих предметов определяется характером изменений, которые они вносят в поток обтекающей их жидкости. Однако до сих пор не существует теоретического или хотя бы качественного объяснения наблюдаемых при этом явлений. Обычно во всех проводимых в настоящее время исследованиях пытаются связать поведение таких объектов с числом Рейнольдса (которое определяет величину турбулентности в потоке) или другими подобными параметрами.

4.79. Гонимая машина, «сидящая на хвосте» другой, увлекается вперед вихревым потоком, который оставляет впереди идущая машина, и испытывает меньшее лобовое сопротивление, поскольку передняя машина рассекает воздушный поток. Когда задняя машина идет на обгон, возникает мощный толчок. Часть воздуха, обтекающего со стороны обгона переднюю машину, направляется в довольно узкое пространство между двумя машинами, ускоряется, и давление в этой области понижается. Тогда давление позади обгоняющей машины (с той стороны, с которой она ближе к передней) оказывается больше, чем впереди нее. Эта разность давлений и создает толчок, который задняя машина получает в тот момент, когда

она выходит из-за передней. Передняя машина получает такой же толчок назад.

4.80, 4.81. См. ответ к задаче 4.78.

4.82. Рыбы, подобно птицам (см. задачу 4.77), выстраиваются таким образом, чтобы использовать спутный след, который оставляют плывущие впереди. Рассмотрим какую-либо одну рыбу внутри косяка. Она оставляет за собой след из вихрей, которые образуются поочередно то с одной, то с другой стороны от некоторой оси, проходящей через тело рыбы. Вращение вихрей таково, что на самой этой линии поток направлен в сторону, противоположную направлению движения рыбы. Если бы другая рыба плыла прямо за первой, то ей пришлось бы затрачивать больше энергии, так как она плыла бы против этого потока. Но если следом плывущая рыба держится несколько сбоку, она оказывается в той части вихря, которая направлена вперед. Представьте себе, что впереди плывут две рыбы, а следом за ними, посередине, еще одна. Задняя рыба оказывается в направленных вперед потоках обоих вихрей, создаваемых плывущими впереди рыбами, что дает ей возможность плыть вперед, затрачивая меньше энергии, чем каждая из передних рыб. Этим отчасти и объясняется объединение рыб в косяки.

4.83. Огибая здание, ветер разбивается на вихри. С наветренной стороны ветер представляет собой относительно ламинарный («глад-

кий») воздушный поток, а с противоположной стороны из-за вихрей он становится порывистым.

4.84. В конечном счете в крушении моста были повинны установленные на нем большие вертикальные щиты. Воздушный поток, налетая на эти щиты, разделялся и обтекал их, а затем и сам мост. Давление над верхней и под нижней кромками щита из-за этого отклонения понижалось. Если бы щит стоял совершенно симметрично по отношению к ветру, то уменьшение давления сверху и снизу щита было бы одинаковым. Но угол, под которым ветер налетал на щит, все время менялся, соответственно менялось и давление. Область пониженного давления перемещалась поперек моста, и на нее накладывалась турбулентность, образующаяся с наветренной стороны щита. Под действием разности давлений над и под ним мост начал колебаться. Аналогичные колебания наблюдаются и на «галопирующих» телефонных проводах, которые, кроме того, под влиянием разности давлений и вихревых потоков свистят (см. задачу 1.55).

4.85. Турбулентность чистого воздуха, по-видимому, объясняется так называемой неустойчивостью Кельвина — Гельмгольца. В качестве модели этой неустойчивости рассмотрим ванну, наполненную легкой и тяжелой жидкостями, причем первая находится наверху и скользит по поверхности второй. Если их относительная скорость невелика, то

всякое возникающее на границе раздела возмущение быстро затухает. Однако при увеличении скорости движения подобное возмущение может привести к проникновению одной жидкости в другую и образованию завихрений. Аналогичным образом вихри могут возникнуть и в атмосфере, где иногда наблюдаются сильные «сдвиговые» ветры (и обусловленные ими резко выраженные воздушные потоки), а также значительные горизонтальные температурные градиенты (и соответственно большие различия в плотности смежных слоев). Турбулентность чистого воздуха, как считают, связана с вихревыми движениями, возникающими на границе раздела слоев.

4.86. Так как на вершине горы давление меньше и вязкость воздуха понижена, то часы там должны идти быстрее.

4.87. Сетка сужает отверстие, через которое проходит вода, и вызывает в потоке воды турбулентность и кавитацию. Ощущение «мягкости» воды обусловлено, по-видимому, наличием воздушных пузырьков.

4.88. Насколько мне известно, систематическим исследованием этого вопроса никто не занимался, хотя в статьях на спортивные темы часто говорится о «быстрых» и «медленных» бассейнах. На мой взгляд, канавки по краям бассейна, в которые собирается вода от поверхностных волн, служат для устранения отражения волн от краев бассейна. Эти волны

могли бы мешать пловцам. Попробуйте разобраться во всех этих вопросах самостоятельно.

4.89. Вода, переливающаяся через водослив, подобна воздушному потоку, набегающему на край препятствия (см. задачу 1.56), — в потоке воды также возникают колебания. В падающей струе воды эти колебания возбуждают стоячую волну, длина которой равна $4/5$ высоты водослива. Вследствие резонанса между колебаниями давления в потоке на краю водослива и собственной частотой колебаний струи амплитуда стоячей волны может достигать значительной величины. «Дрожание» земли вблизи водопада (см. задачу 2.65) может быть обусловлено такой стоячей волной.

4.90. При обтекании воздухом края парашюта образуются вихри. Поскольку вихри возникают то с одной, то с другой стороны, давление у купола парашюта также понижается то с одной, то с другой его стороны. Эти изменения давления начинают раскачивать парашют. Если частота колебаний давления близка к частоте маятниковых колебаний груза, подвешенного к куполу, то размах последних может достигать 60° . Отверстие в центре купола пропускает часть набегающего воздушного потока и дает ему возможность двигаться в направлении центральной оси парашюта. Этот поток разрушает вихри с наружной стороны купола парашюта. Автомобиль еще более чувствителен к таким коле-

баниям, чем парашютист. Поэтому тормозные парашюты на автомобилях делаются так, что в отверстие проходит еще большая часть набегающего потока, в результате чего вихри устраняются эффективнее.

4.91. Характер тока воды вблизи дрейфующего корабля и механизм обмена импульсами между ними пока еще не исследованы сколько-нибудь подробно. Однако большую скорость корабля по сравнению со скоростью течения можно отчасти объяснить на основе простого анализа сил, действующих на корабль. Сила тяжести корабля направлена вертикально вниз, а выталкивающая сила несколько отклоняется от вертикали, поскольку река течет «под гору». Таким образом, сила тяжести имеет составляющую, направленную параллельно поверхности потока. Эта составляющая компенсируется сопротивлением движению корабля со стороны воды. Если корабль заменить соответствующим объемом воды, то последний также испытывал бы гидродинамическое сопротивление. Но поскольку в этом объеме воды происходило бы турбулентное перемешивание, он, при той же скорости, встречал бы большее сопротивление, чем корабль¹. В результате скорость, при которой

сопротивление воды уравновешивает параллельную поверхности составляющую силы тяжести, для корабля больше, чем для эквивалентного объема воды.

4.92. Сплошная стенка вызывает сильные вихри, взметающие снег. Забор из редких планок создает более слабые вихри. Если скорость воздуха в создаваемых заборами вихрях меньше той, которая необходима для удержания снега в воздушном потоке, то снег будет откладываться с подветренной стороны забора.

4.93. Какой-либо предмет может задержать снег только в том случае, если снег подлетит достаточно близко. Воздушный поток начинает разделяться в десятках и даже сотнях метров от большого дома, и снег разметается в стороны прежде, чем успеет приблизиться к зданию. Небольшое препятствие на пути ветра, например столб, разделяет воздушный поток гораздо слабее, поэтому снег подлетает к препятствию близко.

4.94. Задняя кромка крыла делается острой, чтобы граничный слой воздуха на верхней части крыла не отрывался слишком рано. Преждевременное отделение привело бы к возникновению турбулентности у задней части крыла, и самолет не смог бы лететь, так как турбулентное перемешивание воздушного потока препятствует возникновению подъемной силы.

4.95. Аэродинамика лыжника, конечно, слишком сложна, чтобы рассматривать ее

теоретически, так что выбор той или иной стойки без экспериментальной проверки может быть основан лишь на догадках.

4.96. Аэродинамическое сопротивление, действующее на мяч, обусловлено двумя факторами: разностью давлений между передней и задней (по отношению к направлению полета) частями мяча и трением мяча о воздух. У гладкого мяча пограничный слой воздуха отрывается, не успевая зайти далеко на его заднюю сторону. При отделении пограничного слоя образуются вихри, и давление за мячом понижается. Так как перед мячом давление повышено, возникающая разность давлений замедляет полет мяча. Если поверхность мяча имеет неровности, отделение граничного слоя задерживается. В результате давление за мячом понижается слабее, разность между давлениями спереди и сзади мяча и соответственно сопротивление, обусловленное этой разностью, уменьшаются. Поэтому «вмятины» увеличивают дальность полета мяча для гольфа.

4.97. В способности птицы летать можно условно выделить два аспекта. Крылья птицы действуют как несущие плоскости (см. задачу 4.31), птица может парить в воздухе (см. задачу 4.98). Но когда птица взмахивает крыльями, то толчок вперед возникает не потому, что крыло отталкивает воздух назад, а вследствие того, что перья в воздухе вращаются и действуют подобно пропеллерам самолета. Возможно, ошпицованная птица и

¹ Дело здесь, по-видимому, не в турбулентном перемешивании, а в том, что из-за взаимодействия с дном и берегами скорость реки в различных точках различна. Она увеличивается к середине реки и к поверхности. Корабль же движется как целое, и скорость его частиц одинакова. — *Прим. ред.*

могла бы парить, но лететь она не смогла бы.

4.98. Птицы и планеры могут парить, используя ветер, отклоняемый вверх какими-либо препятствиями, например холмами или морскими волнами. Однако при полетах на большое расстояние более выгодно «пристроиться» в поднимающихся струях теплого воздуха. Эти струи представляют собой кольцевые вихри, которые возникают, когда воздух из пограничного приземного слоя отрывается от земли. Циркуляция в центре такого кольца направлена вверх, а по краям — вниз (ситуация, обратная рассмотренной в задаче 4.74). Птица может парить, делая круги над восходящим потоком вихря.

4.99. Все воздушные змеи действуют по принципу несущей плоскости — они разделяют воздушный поток так, что давление снизу оказывается больше, чем сверху. В результате и возникает действующая на змея подъемная сила (см. задачу 4.31). Уздечки способны распределять нагрузку, идущей от леера, и придают змею устойчивость, причем она зависит от способа привязывания уздечки. Например, последние три типа уздечки (см. рис. 4.99) обеспечивают большую устойчивость, чем первая. Уздечка используется также для обеспечения нужного угла атаки, то есть угла между плоскостью змея и направлением ветра. При слабом ветре угол атаки должен быть больше, чтобы большая часть набегающего потока отклонялась и создавала доста-

точную подъемную силу. При сильном ветре угол атаки должен быть меньше, так как в этом случае отклоняемый воздушный поток меньше. Хвост змея, на который всегда так забавно смотреть, выполняет две основные функции. Во-первых, создаваемое им аэродинамическое сопротивление стабилизирует полет змея и делает его менее уязвимым для порывов ветра. Во-вторых, хвост помогает выдерживать нужный угол атаки змея.

4.100. «Дорожки» в облаках создаются горизонтальными вихревыми потоками — рядами вихрей, оси вращения которых горизонтальны и ориентированы по направлению ветра. Там, где циркуляция между двумя смежными вихрями направлена вверх, воздух при расширении охлаждается и часть содержащегося в нем пара конденсируется, образуя облако (см. задачу 3.23). Там же, где циркуляция между двумя смежными вихрями направлена вниз, облака не возникают. Вихри обусловлены тепловой циркуляцией, при которой теплый воздух поднимается вверх, а холодный опускается вниз, аналогично тому как это происходит в циркуляционных ячейках Бенара (см. задачу 4.101). Горизонтально дующий ветер растягивает эти вихри в горизонтальные потоки.

4.101. Если температура внизу жидкости значительно выше, чем в верхних ее слоях, то жидкость становится неустойчивой, и в ней образуются конвекционные потоки, в которых более горячая

жидкость поднимается вверх, а более холодная — опускается вниз. При этом могут возникать изображенные на рисунке структуры. Например, горячая жидкость поднимается вверх внутри шестиугольной ячейки, а холодная опускается вниз по краям ее, смежным с другими ячейками. Для заданной разности температур и данной жидкости можно теоретически предсказать, какие из этих структур (колец и многоугольников) соответствуют появлению устойчивого потока. На поверхности кофе ячейки становятся видимыми отчасти из-за крошечных капелек, взвешенных в восходящих потоках горячей жидкости. Наэлектризованная расческа разгоняет эти капельки, нарушая правильную форму ячеек.

4.102. «Улицы» в песчаных дюнах создаются горизонтальными вихревыми потоками того же типа, которые образуют «дорожки» в облаках (см. задачу 4.100). Там, где по соседству оказываются два восходящих потока, песок собирается в дюну. Там же, где потоки воздуха направлены вниз, дюна не образуется. Поскольку во всех пустынях земного шара преобладают северные или южные ветры, «улицы» песчаных дюн направлены с севера на юг.

Полосы на поверхности океана также образуются под действием аналогичных вихрей, возникающих в приповерхностном слое воды. Там, где поток воды в двух соседних вихрях направлен вниз, собираются всякого рода водоросли и т. д. Там же, где потоки направлены

вверх, такого накопления не происходит. Хотя зависимость образования таких вихревых полос от силы и направления ветра установлена, их подлинный механизм пока не исследован.

4.103. Чтобы понять, почему при приближении к стене кольцо табачного дыма расширяется, попытайтесь представить, что сквозь стену навстречу этому кольцу движется его «зеркальное отображение». Тогда потоки, которые в обоих кольцах направлены перпендикулярно стене, взаимно уничтожаются. Те же потоки, которые находятся ближе к стене и движутся параллельно ей, складываются. В результате кольцо, приближаясь к стене, расширяется в плоскости, параллельной стене. Конечно, на самом деле никакого кольца, движущегося навстречу нашему кольцу сквозь стену, нет, но воздушные потоки, обусловленные наличием стены, в точности таковы, какие должны были бы возникать, если бы навстречу нашему кольцу двигалось его зеркальное отображение.

Несмотря на то что «чехарда» дымовых колец неоднократно описывалась в литературе (в частности, во многих учебниках), этот фокус скорее всего невыполним. В 1972 г. Максурси [850] тщательно проверил это явление, экспериментируя с водяными кольцами. Если начальная скорость колец примерно одинакова, то заднее кольцо захватывается передним, но образующееся при этом кольцо уже не разделяется. Если же скорость второго кольца вначале намного превышает

скорость первого, то образующееся «составное» кольцо оказывается неустойчивым, и в конце концов то кольцо, которое сначала было позади, выбрасывается вперед, а первое кольцо отстает от него. Кольцо, бывшее сначала позади, имеет теперь такую же (или несколько большую) скорость, как первое, поэтому дальнейшее соединение колец становится маловероятным. Если Максурси прав, то все приводимые ранее в учебниках пространственные рассуждения можно рассматривать лишь как еще один пример того, что часто о явлениях, еще неисследованных, пытаются говорить много и «убедительно».

4.104. Вначале поверхность песка может быть гладкой. Ветер подхватывает песчинки и с этой поверхности, а затем бросает их вниз, из-за чего другие песчинки подпрыгивают. В результате образуются скопления песка, которые таким образом влияют на приповерхностный ветер, что это способствует их дальнейшему росту. Складки песка образуются друг от друга на расстоянии, примерно равном среднему расстоянию, на которое отскакивает песчинка, когда на нее сверху падают другие песчинки.

Складки песка на дне ручейков могут возникать аналогичным образом, причиной их появления могут также послужить образовавшиеся ранее ряды вихрей (см. задачи 4.100 и 4.102). В последнем случае складки песка ориентированы по течению ручейка.

4.105. Вопреки распростра-

ненному мнению жидкость в сифоне течет не под действием атмосферного давления, — как известно, сифоны могут действовать и в вакууме. Жидкость проталкивается через колено трубки сифона внутренними межмолекулярными силами, существующими в самой жидкости. Когда сифон начинает действовать, в его выходной трубке находится больше жидкости, чем во входной, и под действием возникающей разности давлений жидкость поднимается вверх, перетекает через перегиб трубки и вытекает из сифона. Чем выше поднимается жидкость в колене сифона, тем меньше становится давление в жидкости. Если колено сифона поднять достаточно высоко, то давление в жидкости может понизиться до такой степени, что в ней начнут образовываться пузырьки (воздуха или других газов). Именно этим и ограничивается высота сифона, так как пузырьки нарушают межмолекулярные связи внутри жидкости. При атмосферном давлении сифоны действуют лучше, чем в вакууме, поскольку в этом случае давление жидкости в сифоне возрастает, при этом увеличивается также и высота, на которой начинают образовываться пузырьки.

4.106. Ветер (на рисунке он «дует» в направлении левого нижнего угла) подхватывает песчинки с наветренной стороны дюны и бросает их на подветренную сторону¹. Та-

¹ С подветренной стороны дюн при обтекании их ветром образуется спокойная зона с пониженным давлением. — *Прим. ред.*

кой перенос песка приводит к тому, что дюна, хотя и медленно, движется в направлении ветра.

4.107. Во всех современных унитазах между раковиной и канализационной трубой имеется сифон. Когда в раковину унитаза наливается вода, уровень во входном колене сифона поднимается. Наконец, вода начинает перетекать из входного колена сифона в выходное — сифон начинает действовать. (Промыть унитаз можно, просто вылив в него ведро воды.) Поток в сифоне и общая турбулентность потока воды, вливающегося в раковину унитаза, удаляют все, что там находится. Дополнительное отверстие, имеющееся в нижней части многих раковин, — это форсунка; выходящая из нее струя воды увеличивает скорость и интенсивность действия сифона.

4.108. Когда от автомобиля отрывается капля масла, набегающий воздушный поток растягивает ее, надувает, словно поварской колпак, а затем прорывает середину у этого «колпака», и капля падает на дорогу, уже имея форму бублика.

4.109. Линии на поверхности озера — это маленькие гребни, выступающие над ней под действием вязких сил в потоке, движущемся под поверхностной пленкой (например, масляной).

4.110. В литературе попадается только описание этого эффекта. Попробуйте поэкспериментировать сами с различными жидкостями и растворами.

4.111. Масло образует на поверхности воды очень тонкую пленку, поверхностное натяжение в которой меняется из-за ее растяжения и сокращения. Пленку то растягивают, то сжимают проходящие под ней волны; таким образом, на воду, находящуюся под пленкой, действует переменная сила сопротивления, направленная перпендикулярно поверхности воды. Это сопротивление увеличивает энергетические потери в волнах до такой степени, что они быстро затухают, и покрытая пленкой поверхность воды успокаивается.

4.112. Небольшие волны гасятся масляными пленками на поверхности воды (см. предыдущий ответ). Появление масляных пленок на поверхности, по-видимому, обусловлено деятельностью диатомовых водорослей. При сильном ветре масляные пятна вытягиваются в длинные полосы (см. ответ к задаче 4.102).

4.113. Появление «короны» и разрыв центральной струйки обусловлены неустойчивыми волнами на поверхности воды. В случае короны это волна, окружающая ее ободок¹.

¹ Всплеск возникает благодаря весьма красивому явлению — кумуляции (см. [70д]). — *Прим. ред.*

4.114. Поверхностное натяжение удерживает воду в тонком слое и в конце концов собирает ее к стержню, на котором укреплен диск.

4.115. Если две струйки совершенно одинаковы, то вер-

тикальные составляющие их импульсов при столкновении струек взаимно уничтожаются, а возникающее в месте столкновения давление заставляет воду тонким слоем расходиться в горизонтальной плоскости. Разрыв водяного диска происходит, когда образующиеся в нем под действием поверхностного натяжения маленькие отверстия увеличиваются¹.

¹ Диск становится неустойчивым, когда его толщина оказывается порядка длины волны капиллярных волн. — *Прим. ред.*

4.116. Струйки удерживаются вместе поверхностным натяжением.

4.117. Поверхностное натяжение мыльной воды меньше, чем чистой. Поэтому, когда мыльная капля подходит к перчинке, на последнюю с разных сторон будут действовать различные силы, причем сила, действующая со стороны чистой воды больше.

4.118. Перегиб струи вокруг края банки оказывается устойчивым вследствие разности давлений в поперечном сечении струи. Идеальная несжимаемая жидкость движется по дуге со скоростью, возрастающей по мере уменьшения радиуса кривизны. Там, где радиус меньше, скорость больше, а давление в жидкости меньше. В рассматриваемом случае атмосферное давление снаружи струи больше, чем в прилегающем к краю банки слое жидкости, поэтому поток прижимается к краю. На некотором расстоянии от края струйка отделяется от банки, так как она неустойчива по

отношению к малым возмущениям.

4.119. До появления работ Левенталя считалось, что «слезы» на бокалах с крепкими алкогольными напитками обусловлены тем, что жидкость под действием поверхностного натяжения поднимается по стенкам бокала вверх, где из нее выпаривается спирт и остается чистая вода. Однако Левенталь показал, что вода, собирающаяся у верхнего края поднимающейся по стенкам пленки,— это конденсат из комнатного воздуха. Кроме того, он установил, что сила, которая заставляет пленку двигаться вверх, не само поверхностное натяжение, а давление, возникающее в жидкости у краев бокала из-за кривизны поверхности жидкости.

4.120. Предлагалось несколько рисунков протектора, уменьшающего вероятность «аквапланирования». Например, канавка может отводить воду к задней точке контакта протектора с дорогой, откуда вода будет выбрасываться наружу. По другим, более мелким канавкам вода может отводиться в стороны. Наконец, небольшие углубления на протекторе могут как бы «промокать» водяной слой на дороге, прикасаясь к нему непосредственно перед зоной основного контакта протектора с дорожным покрытием. Во всех случаях задача состоит в том, чтобы как можно скорее убрать воду из зоны контакта и не допустить аквапланирования.

4.121. Пока еще окончательно не выяснено, что заставляет

ет капли удерживаться на поверхности. Предполагается, что между молекулами воды в капле и молекулами в поверхностном слое воды действуют электрические силы отталкивания. Возможен и другой механизм удержания капли на поверхности воды, который действует, когда поверхность перегрета. В этом случае испарение с нижней стороны капли создает паровую «подушку», удерживающую каплю на поверхности (см. задачу 3.65).

4.122. «Странное» поведение супа может служить примером возникновения упругой реакции в вязкой упругой жидкости. Когда вращение супа почти прекращается из-за трения о стенки кастрюли, его поверхностный слой еще продолжает вращаться. Затем поверхностный слой под действием упругой силы, действующей между ним и остальной массой супа, возвращается назад, и направление вращения на мгновение меняется. После этого в течение некоторого времени еще будут продолжаться колебания около положения равновесия, если только суп не настолько вязкий, что эти колебания затихнут практически сразу.

4.123. Известно, что это явление (эффект Кея) обусловлено вязкостью жидкости, однако причины его возникновения пока не ясны. Коллиер и Фишер считают, что скачок жидкости может быть вызван резким изменением вязкости струйки в тот момент, когда она ударяется о поверхность жидкости. Жидкости, в которых наблюдается эффект Кея, являют-

ся, по-видимому, тиксотропными, то есть их вязкость уменьшается под действием деформации сдвига (см. задачу 4.126). В падающей струйке вязкость жидкости достаточно высока. Когда же жидкость ударяется о «горбик» на поверхности, резкое изменение скорости приводит к возникновению больших деформаций сдвига, и вязкость жидкости уменьшается. Так как жидкость, кроме того, упруга, струйка отскакивает от горбика.

4.124. Когда вязкая упругая жидкость вращается, сдвиг одного слоя относительно другого создает напряжения вдоль внешней границы жидкости, которые стремятся собрать жидкость к центру вращения. Эти напряжения не возникают в нормальных («ньютоновских») жидкостях. В нашем опыте под действием этих напряжений жидкость собирается на оси вращения и поднимается вверх по стержню.

4.125. Падая, струйка сжимается, что заставляет ее выгибаться вбок. При данных условиях струйка не может разорваться; поэтому, если количество падающей жидкости больше, чем может сразу поглотить жидкость, находящаяся внизу, то струйка начинает завиваться.

4.126. Фундаментального объяснения того, почему вязкость жидкости уменьшается при деформации сдвига, пока не существует. В основном причиной этого считают изменение молекулярной конфигурации жидкости под действием сдвига. Например, длинные молекулы могут ори-

ентироваться вдоль линий потока, создаваемого при сдвиге. В результате вязкость уменьшается. Когда сдвигающее усилие снимается, молекулы восстанавливают свою прежнюю ориентацию, и вязкость увеличивается.

4.127. Когда вязкая упругая жидкость выходит из трубки, существовавшие в ней внутренние напряжения снимаются, поэтому она расширяется. В частности, рассматривалась такая модель: когда жидкость проталкивается через трубку, составляющие ее молекулы вытягиваются, когда же она выходит из трубки, молекулы сокращаются, и жидкость «разбухает».

4.128, 4.129. Оба этих опыта иллюстрируют упругую реакцию жидкости. Так, силиконовая замазка обладает очень большой вязкостью, но когда напряжения прикладываются медленно, ее вязкость уменьшается. При резких же сдвиговых напряжениях замазка трескается.

4.130. Вязкость песка-пловуна растет с увеличением напряжений, поэтому пытаться быстро выбраться из него бессмысленно: чем резче раздвигать песок, тем сильнее он будет удерживать вас. Нужно двигаться медленно, чтобы по возможности уменьшить его вязкость. Глаза животных, затянутых песком, выпучиваются, вероятно, потому, что на нижнюю часть их тела действует большое гидростатическое давление, обусловленное высокой плотностью песка (смесь песка с

водой плотнее, чем просто вода).

4.131. Если цилиндр вращают медленно, то краска вытягивается в тонкий слой и при каждом обороте наматывается по спирали на внутренний цилиндр. Если обратное вращение цилиндра начинается прежде, чем краска полностью перемещается вследствие молекулярной диффузии (теплового движения молекул), то тонкий слой почти полностью разматывается обратно после того, как цилиндр сделает такое же количество оборотов в противоположном направлении.

5.1. Чтобы на сетчатке глаза получалось отчетливое изображение, глаз должен преломлять световые лучи. В основном (примерно на две трети) преломление происходит на внешней поверхности глаза. Если вода касается глаза, то световые лучи, попадая из воды в глаз, практически не преломляются, так как коэффициент преломления вещества глаза примерно равен коэффициенту преломления воды. Когда человек, плавая в воде, надевает специальные очки, то перед глазами остается слой воздуха, и преломление света происходит нормально. У рыбы, которая может видеть одновременно в воде и в воздухе, имеются две сетчатки, а хрусталик глаза обладает яйцевидной формой. Для компенсации уменьшения преломляющей способности той части глаза, которая погружена в воду, участок хрусталика, преломляющий свет от подводных объектов, имеет большую кривизну.

5.2. Человек мог бы стать невидимым, если бы коэффициент преломления его тела оказался равным коэффициенту преломления воздуха (который чуть больше 1). При большем коэффициенте преломления тела лучи света, проходящие сквозь человека-невидимку, несколько преломлялись бы и искажение изображений находящихся за человеком предметов (особенно заметное при его движении) делало бы его присутствие заметным. Для того чтобы человек мог видеть, он должен поглощать некоторое количество света. Такое поглощение должно быть достаточно малым, чтобы человек не был виден как какая-то «тень». Таким образом, чтобы человек мог видеть, но не быть видимым, коэффициент преломления его тела должен выражаться комплексным числом, действительная часть которого близка к 1, а мнимая достаточно для того, чтобы поглощалось количество света, необходимое для зрения, но не слишком велика, т. е. чтобы поглощение света телом не стало заметным.

5.3. Вследствие капиллярных эффектов вода поднимается по карандашу, и ее поверхность вблизи карандаша искривляется. Лучи света преломляются на искривленной поверхности воды так, что на тени карандаша появляется светлый промежуток.

5.4. В первом случае изображение монеты появляется почти на поверхности воды. Лучи, идущие от монеты, отражаются от задней стенки сосуда, идут вверх и, преломившись на поверхности

воды, попадают в глаз. Если же к задней стенке сосуда приложить мокрую ладонь, то отражения от него не будет. Сухая рука оказывает гораздо меньшее влияние, так как, вообще говоря, рука соприкасается со стеклом в ограниченном числе точек. Но когда рука мокрая, пустоты между ладонью и стеклом заполняются водой. Поскольку коэффициенты преломления света у воды и стекла примерно одинаковы, такое заполнение пустот водой увеличивает площадь поверхности контакта руки с сосудом практически до 100%. Поэтому большая часть лучей, идущих от монеты и попадающих на этот участок стенки, поглощается¹, и изображение монеты исчезает.

¹ Или рассеивается равномерно (диффузно) во все стороны.— *Прим. ред.*

5.5. Лучи света, идущие от предмета, находящегося под водой, преломляются на поверхности воды. Выходя из воды, они отклоняются к поверхности. В результате создается впечатление, что лучи идут из точки, расположенной менее глубоко под водой, чем реальный предмет.

5.6. Лучи, проходящие сквозь первое (наружное) стекло в раме, частично отражаются от внутренней поверхности второго стекла. Обычно это частичное отражение не имеет значения, так как большая часть света проходит сквозь второе стекло и доходит до глаза. Однако если давление воздуха снаружи отличается от

давления воздуха между стеклами, то стекла перестают быть параллельными, и часть света, претерпевающая отражение между стеклами, создает едва различимое «призрачное» изображение-двойник.

Рассмотрим луч, который идет от находящегося за окном предмета и падает на первое стекло горизонтально. Большая часть света проходит через стекло в помещение. Если бы в комнату попал только этот свет, то мы видели бы изображение предмета неискаженным. Однако часть света, отражаясь от внутренней поверхности второго стекла, возвращается к первому, снова отражается, идет ко второму и, наконец, проходя сквозь него, попадает в помещение. В результате возникает второе, более слабое изображение. Если стекла не параллельны, то изображение-двойник смещено относительно основного изображения¹.

¹ Подобный же эффект возникает, если толщина стекла не везде одинакова.— *Прим. ред.*

5.7—5.11. Во всех этих задачах (за исключением задачи 5.9) рассмотрены миражи, обусловленные изменением с высотой показателя преломления воздуха в приземном слое. Этот показатель прежде всего зависит от температуры воздуха. Призрачные горы (один из примеров «верхнего» миража) наблюдаются, когда температура воздуха повышается с высотой. Световые лучи идут от удаленных объектов, например от гор, вверх под некоторым углом к горизон-

ту. Но из-за увеличения показателя преломления с высотой лучи загибаются вниз и попадают в глаза наблюдателя, находящегося на земле. Наблюдатель инстинктивно воспринимает эти лучи как прямые, и изображение объекта оказывается для него расположенным выше, чем истинный объект.

Мираж в пустыне — это пример «нижнего» миража, названного так, поскольку в данном случае изображение находится ниже, чем реальный объект. В «оазисном» мираже этим объектом является небо. Лучи света, идущие от голубого неба, преломляются в приземном слое воздуха, в котором температура понижается с высотой. Лучи отклоняются в сторону наблюдателя, и он, опять же воспринимая лучи как прямые, видит на некотором расстоянии впереди голубую поверхность воды. Дрожание изображения, обусловленное флуктуациями коэффициента преломления горячего воздуха, создает иллюзию течения или волнения воды. Пеликан такого миража увидеть не мог, так как идущие сверху лучи не могут преломиться так, чтобы возвратиться вверх под столь большим углом к земле.

Фата-моргана представляет собой сложный мираж, поскольку для возникновения такого миража зависимость температуры от высоты должна быть нелинейной; температура сначала возрастает с высотой, но с некоторого уровня скорость ее роста уменьшается. Подобный температурный профиль, только с более крутым перегибом где-то посередине,

может создать мираж с тройным изображением.

5.12. Действие большинства «односторонних» зеркал обусловлено тем, что одна их сторона (скажем, обращенная в комнату, где находится допрашиваемый) освещена ярче, чем другая (обращенная в комнату, где находится человек, наблюдающий за преступником). Часть света, падающего на стекло из ярко освещенной комнаты, отражается передней и задней поверхностями стекла. Если с другой стороны стекла достаточно темно, то преступник видит только отраженный свет, и стекло кажется ему зеркальным¹. К наблюдающему же сквозь стекло приходит достаточное количество света, и он отчетливо видит преступника. Зеркальный эффект еще более усиливается, если стекло покрыто тонким слоем металла. Благодаря этому увеличивается количество света, отраженного к преступнику, но вместе с тем количество проходящего света оказывается достаточным для наблюдения.

¹ Слабое изображение наблюдающего теряется на фоне мощного светового потока, отраженного стеклом.— *Прим. ред.*

5.13. Даже когда Луна закрыта от Солнца Землей, солнечный свет может попадать на нее благодаря преломлению лучей в земной атмосфере (по периметру земного диска). Однако при таком преломлении теряется более коротковолновая (синяя) область видимого спектра (см. задачу 5.59) и остае-

тся только длинноволновая (красная). Поэтому тот свет, который отклоняется на угол, достаточный для освещения Луны,— красный. Подобным «обрезанием» спектра объясняется красный цвет неба на восходе и заходе Солнца (см. задачу 5.58).

5.14. Хотя обычно миражи обусловлены преломлением света (см. задачу 5.7), описанный мираж, по-видимому, возник в результате отражения света. Женщина, судя по всему, увидела свое отражение на редком тумане. Миражи, обусловленные отражением света, пока еще остаются загадкой для исследователей. Высказываются лишь предположения об их возможной причине, а что касается механизма их возникновения, то здесь можно только строить догадки.

5.15. В литературе не приводится какого-либо единого математического выражения, которое описывало бы число изображений в двух зеркалах как функцию угла между зеркалами и углового положения объекта относительно зеркал. (Попробуйте вывести его сами.) Наиболее полно этот вопрос освещает в своей работе Чай [989].

5.16. Возникновение «зеленого луча» объясняется разложением солнечного света в спектр в земной атмосфере; это явление аналогично дисперсии света в стеклянной призме. Когда лучи солнца входят в земную атмосферу, они преломляются так, что солнце кажется расположенным над горизонтом выше, чем это есть на самом деле. Свет с более короткой

длиной волны (синяя область спектра) преломляется сильнее, чем длинноволновый (красная область спектра). В результате этих процессов на небосводе должно было бы появиться голубое изображение солнца, расположенное выше красного, а между ними — изображения промежуточных цветов. Однако голубое изображение пропадает из-за атмосферного рассеяния¹ (см. задачу 5.59), и верхнее изображение солнца оказывается следующего по порядку в спектре цвета — зеленого. Поэтому, когда изображение солнца скрывается за горизонтом, последним мы видим «зеленый луч».

¹ Большая же часть желтого и оранжевого света поглощается парами воды и молекулами О₄.— *Прим. ред.*

5.17. Если сахар не размешан, то коэффициент преломления жидкости в сосуде меняется с глубиной, причем так, что у дна, где концентрация сахара самая высокая, он максимален. Когда луч лазера входит в сосуд с небольшим наклоном вниз, он непрерывно загибается. Наклон луча увеличивается по мере того, как он входит в оптически более плотные слои жидкости. В конце концов луч отражается от поверхности дна, снова проходит слои с непрерывно меняющимся коэффициентом преломления и опять загибается. Аналогичное преломление звуковых волн уже обсуждалось в ответах к задачам 1.29 и 1.38.

5.18. Лучи солнечного света преломляются в земной

атмосфере. Чем ниже Солнце над горизонтом, тем больше это преломление. Рассмотрим случай, когда нижний край солнечного диска находится точно на линии горизонта. Если бы не было преломления, то верхний край Солнца был бы виден под углом, чуть большим $0,5^\circ$ ниже горизонта. В действительности же верхний край диска виден ниже своего истинного положения под углом, чуть меньшим $0,5^\circ$. В результате вертикальный диаметр Солнца кажется несколько меньше (примерно на $6'$), чем в случае, когда Солнце находится высоко. Горизонтальный же диаметр уменьшается из-за рефракции совсем незначительно (меньше чем на $0,5'$). Поэтому когда Солнце расположено на линии горизонта, оно кажется нам эллиптической формы. (Пожалуйста, не смешивайте этот эффект, обусловленный преломлением, с оптической иллюзией, описанной в задаче 5.134.)

5.19. Синяя полоска на линии горизонта обусловлена отражением голубого неба в морских волнах. Основной вклад в свет, отражаемый волнами на горизонте, дает свет, идущий от участка неба, расположенного на высоте 30° над горизонтом. В течение большей части светлого времени суток этот участок темнее остального неба, и поэтому полоска оказывается темнее, чем окружающий ее фон. Отраженный свет поляризован в плоскости, параллельной поверхности воды (см. задачу 5.49).

5.20. Конечно, не все скаты

волн наклонены к горизонту под углом 15° . Однако, как мы уже говорили (см. задачу 5.19), основной вклад в свет, рассеиваемый волнами на горизонте, вносит участок неба, расположенный на высоте около 30° над горизонтом, а это эквивалентно тому, что все скаты волн как бы наклонены под углом 15° . Волны с меньшими скатами более вероятны, но они отражают меньшую часть света, идущего с неба. Волны с несколько большими скатами менее вероятны, но они отражают большую часть света с неба и под большим углом к горизонту. Волны с относительно большими скатами настолько мало вероятны, что их вклад практически равен нулю. В итоге получается, что участок неба, расположенный на высоте 30° над горизонтом, наиболее сильно отражается волнами на горизонте, а участки неба, лежащие ниже, — гораздо слабее, так что их отражения практически не видно.

5.21. Из-за хаотического распределения наклона скатов волн отражение источника света (Солнца, Луны, фонаря) в воде размывается, причем расплывание этого изображения в стороны гораздо меньше, чем вдоль линии наблюдатель — горизонт. Это объясняется геометрией хода отраженных лучей. Отношение ширины освещенного участка к его длине равно синусу угла возвышения источника света над горизонтом. Темный треугольник над горизонтом — это иллюзия, обусловленная эффектом контраста. Этот треугольник исчезает,

если прикрыть в поле зрения светлый участок моря¹.

¹ Описанный эффект наблюдается, когда небо над горизонтом темное. — *Прим. ред.*

5.22. Ткань блестит, если нити в ней расположены в правильном порядке параллельно друг другу и как бы образуют на поверхности ткани бороздки. Под определенными углами такая ткань довольно сильно отражает падающий на нее свет. Под другими углами это отражение слабее. Поэтому когда ткань поворачивают в лучах света, она отражает то лучше, то хуже, иначе говоря, блестит. Наилучшее отражение наблюдается тогда, когда линия, перпендикулярная бороздкам ткани, делит пополам угол (является его биссектрисой) между падающим лучом света и лучом, отраженным от поверхности в направлении глаза наблюдателя.

5.23. На сетчатке глаза действительное изображение гвоздика получается перевернутым. Однако мы видим гвоздик так, как он есть, благодаря тому, что мозг при расшифровке идущих от глаза сигналов «переворачивает» изображение. Кроме того, гвоздик отбрасывает на сетчатку тень, которая ориентирована так же, как сам гвоздик. Но так как мозг «переворачивает» изображение, тень кажется нам перевернутой.

5.24. Оптимальный радиус отверстия равен примерно $\sqrt{0,6\lambda f}$, где λ — длина волны света, а f — расстояние от от-

верстия до экрана или фото- пленки.

При большем отверстии чет- кость фотографии ухудшает- ся, при меньшем — возни- кает дифракционная карти- на. (Дифракция — интерфе- ренционное явление, обус- ловленное волновой приро- дой света. Дифракция зву- ковых волн рассматривалась в задачах 1.42 и 1.43.)

Камера-обскура создает хроматические аберрации (искажения), поскольку для данного диаметра от- верстия оптимальное рас- стояние от отверстия до пленки обратно пропорцио- нально длине волны света, которая может меняться от 0,4 (синий цвет) до 0,65 мкм (красный).

5.25. Изображения Солнца создаются благодаря маленьким просветам в листьях дерева, подобно тому как это происходит в камере- обскуре. Эти изображения всегда возникают в солнеч- ный день, но обычно они незаметны на фоне рассея- ного освещения. При сол- нечном же затмении об- щая освещенность несколь- ко уменьшается.

5.26. Свет, падающий на каплю росы, сильно отра- жается назад в направлении, обратном его приходу. Частично отражение происходит на передней поверхности капли, частично — на зад- ней. Свет, падающий на кап- лю под другими углами, мо- жет также проходить внутрь капли и отражаться на ее обратной стороне¹.

¹ Если бы капля была строго сферической, ее поверхность отра- жала бы солнечный свет равно- мерно во все стороны. Прелом-

ленные же световые лучи сжимались бы, освещая сравнительно неболь- шой участок внутренней поверх- ности капли. Часть света отра- жалась бы от этого участка и вы- ходила наружу. Его интенсивность уже зависела бы от направле- ния. Несферичность формы капли приводит к тому, что интенсив- ность света, отраженного как пе- редней, так и задней поверхно- сти капли, максимальна в на- правлении к Солнцу.— *Прим. ред.*

5.27. Рефлекторы, отражаю- щие световой луч точно в на- правлении источника, даже если это направление не совпадает с осью рефлекто- ра, называются катафотами. Это могут быть сферы (см. задачу 5.26), треугольные призмы или системы линз и зеркал. Идеальный ката- фот практически бесполезен, поскольку направление зре- ния редко совпадает с на- правлением на источник све- та. Однако большинство ката- фотов далеко не идеаль- ны, поэтому свет отражается от них более широким пуч- ком, чем падает. Примером простого катафота может служить трехгранный угол, образованный тремя взаимно перпендикулярными зеркала- ми. Световой луч, падая на одно из этих зеркал, последо- вательно отражается от каж- дого из них и уходит в на- правлении, обратном направ- лению его прихода.

5.28. Капли фокусируют сол- нечный свет на поверхности листа. В этом месте лист обугливается.

5.29. Случайно волна может оказаться ориентированной таким образом, что солнеч- ный свет будет отражаться от нее прямо вам в глаза. Впечатление лучей света, расходящихся от тени вашей

головы, обусловлено тем, что волна не ориентирована стро- го определенным образом и что картина волн на воде непрерывно меняется.

5.30. Глаза кошек и других животных отражают свет в направлении, обратном направлению его прихода, поэтому их видно в темноте. Глаз представляет собой систему из линз и криволи- нейного зеркала, отражаю- щую свет так, что пучок от- раженного света направлен на источник. У плотоядных животных сильное отражение света обусловлено тем, что под сетчаткой находится слой кристаллов цистеина, содержащего цинк.

5.31. Эта горизонтальная ли- ния соответствует высоте, на которой падающий снег тает. Выше этой линии на- ходится снег, который отра- жает свет лучше, чем водя- ные капли, образующиеся ниже нее.

5.32. Свет выходит из капли в широком диапазоне углов, но наибольшая интенсив- ность наблюдается под уг- лом, соответствующим ра- дуге (выражаясь языком геометрической оптики, плот- ность пучка выходящих из капли лучей под этим углом максимальна). Так как ви- димый свет различных длин волн преломляется в капле по-разному (синий прелом- ляется сильнее красного), точное значение угла, под которым интенсивность вы- ходящего пучка максималь- на, зависит от длины волны света (то есть цвета). Поэто- му под тем углом, под кото- рым видна радуга, цвета не только наиболее ярки, но

и слегка разделены, так что мы можем различить их (см. задачу 5.44). Однако дисперсия, которой обусловлено разделение цветов, здесь происходит иначе, нежели в призме. Первое указание на истинную причину этой дисперсии дает нам существование дополнительных радуг (см. задачу 5.34).

Цвета в побочной радуге располагаются в обратной последовательности, так как она образуется в результате двукратного отражения света внутри каждой капли. В этом случае лучи света выходят из капли под другими углами, чем те, которые дают основную радугу. Так как синий свет преломляется сильнее, чем красный, капли, ответственные за синий цвет в побочной радуге, должны быть видны под большим углом, чем капли, дающие красный цвет. Для основной радуги справедливо обратное, поскольку при ее образовании лучи отражаются внутри капли один раз. Поэтому порядок цветов в основной и побочной радугах разный.

В лабораторных условиях удавалось наблюдать одновременно больше двух радуг [см., например, *American Journal of Physics*, 44, 421 (1976)]. Существует несколько сообщений о наблюдении радуги третьего порядка (соответствующей трехкратному внутреннему отражению). Солнце при этом было низко над горизонтом, под темными облаками. Радуги высших порядков наблюдать не удается, так как они слабее рассеянного света неба и бликов от света, рассеянного от внешней по-

верхности капель (который вообще не претерпевает отражений внутри капли).

5.33. Неравномерное распределение красного цвета в радуге объясняется тем, что во время падения капли сплюсываются набегающим потоком воздуха по вертикали. Свет, который образует верхнюю часть дуги, проходит через это сплюснутое сечение, и поэтому красный цвет смещается вниз, внутрь радуги. В результате видимая нами красная полоска радуги сильно ослабляется. Горизонтальное сечение капли остается круглым. Поэтому свет при образовании вертикальных участков радуги проходит через круглое сечение капли, и цвета этих участков нормальные. На капли меньшего размера поток воздуха влияет слабее, поэтому они дают нормальную радугу.

5.34. При точном расчете интенсивностей света и цветов в радуге уже не достаточно рассмотрения лучей, проходящих сквозь каплю, — здесь необходимо учитывать волновую природу света. При этом выявляются более тонкие эффекты. Становится возможным более точно определить угловое расположение цветов. Удастся установить связь между изменением цвета и изменением размера капли (см. задачу 5.44). И самое главное — интерференционные явления позволяют объяснить образование более слабых дуг, которые изредка наблюдаются ниже основной и выше побочной радуг. Эти слабые дуги обусловлены вторичными максимумами интерферен-

ционной картины, интенсивность которых существенно ниже интенсивности главных максимумов, возникающих только в случае достаточно однородных по размеру капель.

5.35. Та часть неба, где образуются радуги, имеет некоторую общую (фоновую) яркость. Освещенность этой части неба отчасти обусловлена также бликами солнечного света на наружной поверхности капель. Свет, однократно отраженный внутри капель, ярче всего там, где находится радуга, но он может попадать к нам также и от капель, расположенных под меньшим углом возвышения к горизонту. Поэтому участок неба ниже основной радуги оказывается достаточно освещенным. Однако свет, однократно отраженный внутри капель, расположенных выше тех, что создают основную радугу, не может приходиться к нам. Аналогичная, хотя и обратная, ситуация складывается в случае двукратного отражения света внутри капли. Наиболее яркий пучок двукратно отраженного света исходит от побочной радуги, он также частично попадает к наблюдателю от капель, расположенных выше тех, что образуют побочную радугу, но он не может приходиться от капель, расположенных ниже. Поэтому ниже основной радуги и выше побочной возникает дополнительный свет, а полоса между радугами оказывается более темной.

5.36. Свет радуги поляризован параллельно ее дуге, что обусловлено преломлением

и отражением света в каплях воды.

5.37. Лунные радуги редки не только потому, что лунный свет намного слабее солнечного. Другая причина кроется в той погоде, какая обычно бывает в то время, когда положение Луны благоприятствует образованию лунной радуги. Грозы чаще всего происходят к концу дня (см. задачу 3.41), поэтому возможность возникновения лунной радуги уменьшается. Кроме того, интенсивность лунного света зависит от фазы Луны, что еще более снижает вероятность наблюдения лунной радуги.

5.38. Расстояние между каплями, которыми обусловлена радуга, и наблюдателем не играет роли. Имеет значение только угол между падающим на каплю солнечным лучом и линией зрения наблюдателя. Капли же могут находиться от наблюдателя на расстоянии от нескольких метров до нескольких километров. Если все капли, создающие радугу, расположены в пределах нескольких метров от наблюдателя (именно это имеет место, когда радуга возникает в струе шланга), то каждый глаз наблюдателя видит «свою» радугу, и эти радуги несколько смещены одна относительно другой.

5.39. Радужный столб — это конец основной радуги, возникающий в отраженном свете. Обычная основная радуга образуется в прямых солнечных лучах. Однако солнечный свет, отраженный от поверхности воды, может образовать еще одну радугу.

Хотя ход лучей здесь в принципе тот же, что и при образовании обычной радуги, положение такой радуги в небе отличается от положения обычной. Если бы можно было увидеть эту радугу полностью, то ее центр находился бы выше центра обычной радуги. Поэтому у горизонта такая радуга поднимается круче, чем обычная. Поскольку интенсивность света, отраженного от воды, мала, такая радуга слабее обычной и наблюдается значительно реже.

5.40. Отраженная радуга — это просто зеркальное отражение основной радуги. По мнению Миннарта [954], обе эти радуги одинаковы, однако Хэмфриз [164] справедливо отмечает, что отраженная радуга кажется более плоской, так как у нее видна меньшая часть дуги, чем у основной. Это различие между радугами связано с тем, что выходящий из водяных капель свет должен образовать такую радугу, которая затем могла бы отразиться от водной поверхности и попасть в поле зрения наблюдателя. Капли, для которых выполняется это требование, находятся ниже над горизонтом, чем капли, образующие основную радугу.

5.41. Луговая радуга — это та же радуга, но образованная каплями росы на траве. Основная радуга наблюдается под углом примерно 42° к оси, соединяющей Солнце с глазом наблюдателя (см. задачу 5.32), и она была бы круговой, если бы не мешала земля. Однако когда земля тоже покрыта капельками воды, то радугу

можно увидеть и ниже горизонта. Угол и в этом случае равен 42° , но поскольку капли теперь не заполняют все пространство перед наблюдателем, а располагаются в горизонтальной плоскости, форма радуги становится гиперболической. Обычную луговую радугу образуют лучи, идущие от Солнца примерно параллельным пучком. Свет от уличного фонаря идет расходящимся пучком, и хотя угол, под которым наблюдается радуга, по-прежнему составляет 42° , капли, создающие ее, располагаются причудливым образом, поскольку лучи света расходятся от источника в различных направлениях.

5.42. Ложные солнца появляются в результате преломления света падающими гексагональными кристаллами льда, главные оси (оси, параллельные шести граням) которых расположены вертикально. Хотя свет выходит из кристаллов в широком диапазоне углов, наиболее яркий пучок исходит под углом, соответствующим наименьшему отклонению солнечных лучей от их первоначального направления. Когда Солнце, кристаллы льда и наблюдатель находятся в одной горизонтальной плоскости, угол наименьшего отклонения составляет примерно 22° . В таком случае наблюдатель видит яркий свет, испускаемый кристаллами, которые находятся на угловом расстоянии 22° по обе стороны от Солнца. По мере того, как Солнце поднимается над горизонтом, ось кристаллов перестает быть перпендикулярной солнечным лучам,

и угловое расстояние между Солнцем и ложным «солнцем» несколько увеличивается. В конце концов Солнце поднимается настолько высоко, что яркость ложных солнц ослабевает и они становятся неразличимыми. Окраска ложных солнц объясняется разложением света в кристаллах льда, аналогичным разложению света в призме.

5.43. Малое гало также обусловлено преломлением света в падающих кристаллах льда, но главные оси кристаллов, на которых образуется гало, ориентированы случайным образом в плоскости, перпендикулярной лучу падающего света. Поэтому в любой точке, находящейся от Солнца на угловом расстоянии 22° , имеются кристаллы, которые ориентированы таким образом, что дают яркий свет. Окраска гало также обусловлена разложением света в спектр. Поскольку синий свет преломляется наиболее сильно, внешняя сторона гало оказывается окрашенной в синий цвет.

5.44. Объяснить возникновение «туманной» радуги можно лишь на основе волновой природы света, в частности интерференционных явлений (см. задачу 5.34). В обычной радуге цвета определяются главными интерференционными максимумами, которые создает свет, выходящий из капель под соответствующими углами. С уменьшением размеров капель ширина максимумов растет, и в конце концов они начинают перекрывать друг друга, так что цвета становятся нераз-

личимыми. Свет, выходящий под углом, соответствующим возникновению радуги, по-прежнему относительно ярк, но цвета в нем различить не удается, и радуга кажется белой¹.

¹ Белая радуга образуется на каплях с диаметром менее 0,06 мм.— *Прим. ред.*

5.45. Столбы света над и под Солнцем обусловлены отражением света от внешней поверхности падающих гексагональных кристаллов льда. Длина кристалла может быть как значительно меньше его толщины (пластинчатые кристаллы), так и значительно превышать его толщину (игольчатые кристаллы). Столбы света могут образовываться на тех и других кристаллах. Рассмотрим, например, пластинчатые кристаллы. Падая, они ориентируются так, что сопротивление воздуха их движению максимально, то есть располагаются горизонтально². Если в поле зрения наблюдателя пластинки находятся выше Солнца, то солнечный свет отражается от их нижней поверхности, и наблюдатель видит над Солнцем относительно яркую полосу. Если же пластинки находятся ниже Солнца, то свет отражается от их верхней стороны.

² Вертикальное положение пластины неустойчиво. Попробуйте объяснить, почему. Это не простая, но очень интересная задача (см., например [43д, § 104]).— *Прим. ред.*

5.46. В появившихся недавно работах Гринлера [1034,

1065] приводятся результаты моделирования на ЭВМ малого гало и светящегося столба над Солнцем. Для того чтобы разобраться во всех наблюдаемых и вообще возможных кольцах и дугах, нужно было бы полностью смоделировать рассеяние света на падающих кристаллах, ориентированных в пространстве как упорядоченно, так и хаотически — для всех положений Солнца в пределах всего небосвода. В настоящее время удалось объяснить лишь некоторые гало и дуги, порой эти объяснения весьма противоречивы или даже ошибочны. Но мы воспользуемся ими (буквенные обозначения относятся к рис. 5.46).

a и *b* — малое гало и ложные «солнца» (см. задачу 5.43).

c — большое гало. Лучи света при образовании этого гало преломляются в основном так же, как и при образовании малого гало. Однако есть одно отличие. Луч света проходит в этом случае не через двугранный угол между двумя смежными боковыми гранями кристалла, равный 60° (как при образовании малого гало), а через угол между основанием и одной из граней, равный 90° . И здесь наиболее яркий пучок света возникает под тем углом, при котором выходящий луч меньше всего отклоняется от первоначального направления. При надлежащей ориентации кристаллов свет, рассеиваемый таким образом, и дает большое гало, видимое под углом 46° .

d — околосенитное гало. Лучи света входят и выходят на двух смежных взаимно перпендикулярных гранях

кристалла. Для того чтобы образование этого гало стало возможным, Солнце должно стоять ниже 32° над горизонтом.

e — паргелический круг. Свет отражается от вертикальных граней падающих кристаллов.

f — ложные «солнца» большого гало. Очень редко наблюдаемые яркие участки обусловлены таким же рассеянием, что и большое гало, но в данном случае рассеяние происходит только на тех кристаллах, главные оси которых горизонтальны.

j — дуги Ловитца. Они образуются, когда падающие вертикальные гексагональные ледяные иглы слегка колеблются около горизонтальной оси. При этом свет, входящий через одну из граней призмы, выходит через другую. Наибольшая яркость преломленного света и здесь наблюдается под углом, соответствующим наименьшему отклонению лучей от первоначального направления. Дуга образуется светом, исходящим от кристаллов, удовлетворяющих этому требованию.

5.47. Коронная вспышка объясняется зеркальным отражением света молнии на падающих пластинках льда. (Этими пластинками обусловлено также возникновение столбов света, см. задачу 5.45.) В электрическом поле внутри грозового облака пластинки становятся электрическими диполями — одна их сторона заряжается положительно, другая отрицательно. Диполи ориентируются вдоль силовых линий поля. Обычно пластинки падают горизон-

тально. Однако электрическое поле, возникающее при ударе молнии, на короткое время изменяет ориентацию пластинок и вместе с ней относительную яркость этой части облака. Если изменение электрического поля распространяется по всему облаку, то изменение яркости сопровождается его.

5.48. Одним из первых было высказано предложение покрывать фары и ветровые стекла так, чтобы поляроиды на ветровых стеклах машины были повернуты на 90° относительно поляроидов на фарах встречной машины. При такой ориентации поляроидов водитель не видел бы света фар встречной машины, так как поляризованный свет ее фар не прошел бы через поляризационный фильтр ветрового стекла. Однако такая ситуация тоже опасна. Если же угол будет несколько отличаться от 90° , то положение дел слегка улучшится: водитель будет видеть часть света, идущего от фар встречного автомобиля. Один из недостатков (быть может, роковой) этой идеи заключается в том, что поляризационные фильтры поглощают часть света, идущего от других источников (например, уличных фонарей), поэтому все окружающие предметы для водителя будут выглядеть более темными. Другой недостаток состоит в том, что на ориентацию поляроида влияет наклон ветрового стекла, который различен у разных автомобилей.

5.49. Прямой солнечный свет не поляризован, то есть колебания вектора электрического поля электромаг-

нитной волны совершаются в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны, но ориентация вектора в этой плоскости хаотична. При отражении от какой-либо поверхности свет поляризуется в плоскости, параллельной поверхности, то есть колебания вектора электрического поля по-прежнему происходят в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны, но теперь он ориентирован преимущественно параллельно отражающей поверхности. Степень поляризации света при отражении зависит от материала поверхности и угла, под которым свет падает на нее. Если, например, вы едете в автомобиле навстречу солнцу в начале второй половины дня, то свет, отраженный от дороги, который попадает вам в глаза, преимущественно поляризован параллельно дороге. Поляроидные очки уменьшают блики от дороги, так как они пропускают только вертикально поляризованный свет, а отраженный от дороги горизонтально поляризованный свет поглощается стеклом очков. На микроскопическом уровне это можно объяснить так. Длинные молекулы в фильтрах ориентированы горизонтально, поэтому поглощают свет, поляризация которого тоже горизонтальна. Таким образом блики устраняются совсем, а свет от окружающих предметов ослабляется незначительно.

Рыболов с помощью поляроидных очков также может ослабить блики солнечного света на поверхности воды, и в то же время видеть свет,

отраженный от рыбы. От поверхности воды отражается преимущественно свет с поляризацией, параллельной поверхности. Соответственно свет, проникающий в воду, имеет перпендикулярную поляризацию, то есть его электрический вектор ориентирован перпендикулярно электрическому вектору в отраженном от воды свете. Отразившись от рыбы, такой свет может пройти сквозь поляроидные очки рыболова. Поэтому рыболов не видит бликов, но видит рыбу. Это рассуждение не вполне справедливо, если рыба находится на глубине более 1,5 м, так как на такой глубине свет, рассеиваясь на мелких взвешанных в воде частицах, приобретает горизонтальную поляризацию (см. задачу 5.55).

5.50. Поляризация солнечного света, рассеиваемого на частицах в атмосфере, обусловлена теми же физическими процессами, что и голубой цвет неба (см. задачу 5.59). неполяризованный падающий свет возбуждает электроны в молекулах газов воздуха (азота, кислорода и т. д.), которые затем переизлучают свет. Пусть, например, солнце находится на горизонте, а рассеивающий атом — в зените. Так как прямой солнечный свет не поляризован, электроны в атоме могут колебаться вдоль любой оси в плоскости, перпендикулярной солнечным лучам. Эти колебания могут быть как вертикальными, так и горизонтальными. При вертикальных колебаниях электроны не переизлучают свет в вертикальном направлении. Он

излучается только в горизонтальной плоскости, и мы, глядя снизу, его не видим. Мы воспринимаем только свет, который излучается при горизонтальных колебаниях электронов. Этот свет поляризован в том же направлении, в каком происходит колебания электронов: если солнце на западе, то мы видим свет, излучаемый при колебаниях электронов вдоль оси север — юг. Иначе говоря, свет от этого участка неба поляризован. Аналогичные рассуждения можно провести для любой части неба при любом положении солнца. Свет от облаков не поляризован, потому что, проходя через облака, он многократно рассеивается. Этим же эффектом объясняется наличие в общей картине поляризации света неба нейтральных, неполяризованных участков.

5.51. Лед обладает свойством двойного лучепреломления: луч, входящий в кристалл льда, расщепляется на два по-разному поляризованных луча, коэффициенты преломления для которых различны. Рассмотрим опыт, несколько отличный от описанного в задаче. Пусть лед находится между поляризационными фильтрами. Свет, прошедший через первый фильтр, входит в кристалл льда и расщепляется на два луча, которые распространяются далее с различными скоростями (так как коэффициент преломления льда для них различен). При выходе из кристалла лучи могут либо совпадать по фазе, либо нет — это зависит от длины волны света, длины кристалла

и разницы в коэффициентах преломления лучей. Направление поляризации луча, выходящего из кристалла, будет зависеть от этой разности фаз. Предположим, к примеру, что направление поляризации желтого луча (который является частью первоначального белого света, упавшего на кристалл) при выходе из кристалла оказывается перпендикулярным оси второго поляризационного фильтра. В таком случае фильтр задержит желтый луч, и наблюдатель увидит остальные цвета видимого спектра. В условии задачи поляризационных фильтров нет, но там речь идет о свете неба, который поляризован, роль же второго фильтра-анализатора играет отражение от лужицы воды.

5.52. В листе целлофана можно выделить две характерные оси. Свет, поляризованный вдоль одной из них, преломляется с одним коэффициентом преломления; свет, поляризованный вдоль другой, имеет коэффициент преломления, отличный от первого. Если направление поляризации падающего света лежит между этими осями, то в целлофане луч света расщепляется на два луча, направления поляризации которых совпадают с осями и которые распространяются в целлофане с различной скоростью. При выходе из целлофана фазы этих двух лучей оказываются различными. Таким образом, целлофан поворачивает плоскость поляризации проходящего через него света. Обычно два скрещенных поляроида не пропускают свет. Но

если между ними поместить целлофан, то плоскость поляризации света, прошедшего через первый поляроид, в целлофане повернется и уже не будет перпендикулярной направлению поляризации второго поляроида, поскольку электрический вектор в прошедшем через целлофан луче имеет составляющую, направленную вдоль оси второго поляроида. Поэтому часть света пройдет через второй поляроид.

В нерастянутой полиэтиленовой пленке нельзя выделить такие же направления, как в целлофане. Однако, когда пленку растягивают, длинные, похожие на макароны молекулы в ней распутываются и вытягиваются в направлении растягивания пленки, превращаясь в поляризационные фильтры. Световая волна, электрический вектор которой колеблется в направлении, перпендикулярном молекулам, проходит через пленку, а волна, колебания электрического вектора в которой происходят вдоль молекул, проходит слабее.

5.53. Пятна соответствуют участкам напряжений в закаленном стекле или в пленке, которая находится между слоями стекла «триплекс». Эффект здесь аналогичен рассмотренному в предыдущей задаче.

¹ Переднее и заднее стекла автомобиля состоят из двух слоев стекла и специальной пленки между ними. Это делается в целях безопасности пассажиров: такие стекла при аварии не разлетаются на осколки. — *Прим. ред.*

5.54. Плоскость поляризации света при прохождении через сироп поворачивается вследствие спиральной формы молекул сиропа, причем угол поворота зависит от длины волны света. При прохождении сквозь слой сиропа одинаковой толщины плоскость поляризации синего света поворачивается на больший угол, чем красного. Цвета, которые вы сможете наблюдать сквозь второй поляроид, будут зависеть от того, какой свет он задержит. Пусть, например, второй поляроид задерживает свет, поляризованный в том направлении, в котором оказался поляризован выходящий из сиропа желтый луч. Тогда наблюдатель увидит уже не белый свет, который входил в сироп, а остальную часть спектра — без желтого цвета.

5.55. Насекомые определяют поляризацию света с помощью специальных рецепторных клеток, чувствительных к ультрафиолетовому излучению. Работы, служащие как бы световодами в этих клетках, переключены — одни в одну сторону, другие в другую. Направления поляризации света, при которых чувствительность рецепторов максимальна, отличаются для этих двух типов рабдомов примерно на 40° . Таким образом, две клетки, действуя совместно, могут определить направление поляризации света. Определяя таким образом поляризацию, а с помощью нечувствительного к поляризации ультрафиолетового рецептора — общую интенсивность света, насекомое может ориентироваться в небе.

5.56. Дихроичный кристалл двухосный. Если падающий свет поляризован вдоль одной из этих осей, то кристалл кажется прозрачным. Если же свет поляризован вдоль другой оси, то кристалл кажется темно-синим. Поворачивая кристалл и следя за изменением его цвета, викинги могли определять направление поляризации света неба. Имея определенный опыт, на основании таких наблюдений можно было определить направление на Солнце, даже если оно находилось под горизонтом. Облака нарушают линейную поляризацию света неба, поэтому в облачную погоду такой кристалл бесполезен.

5.57. Пигмент, находящийся в ямке (*lutea*) в центре желтого пятна задней части глаза и поглощающий синий свет, оказывается чувствительным к поляризации света. Например, синий свет, поляризованный в горизонтальном направлении, поглощается так, что в поле зрения появляются вертикальные желтые «песочные часы» (желтый цвет является дополнительным к синему).

5.58, 5.59. В основном цвет неба определяется зависимостью рассеяния света на молекулах воздуха от длины волны (в соответствии с рэлеевской моделью рассеяния). Электрическое поле падающего света возбуждает электроны в молекуле, которые в свою очередь излучают свет. В результате солнечный свет рассеивается. Свет с меньшей длиной волны (синяя область спектра) рассеивается сильнее, чем свет с большей длиной волны

(красная область спектра). Поэтому, когда Солнце близко к горизонту, небо над наблюдателем в основном голубое¹. Голубизна неба на расстоянии больше 90° от Солнца слабее, так как небо здесь освещается светом, прошедшим большой путь в атмосфере и потерявшим синюю составляющую. Небо вблизи Солнца на горизонте бывает красным или желтым, так как оно тоже освещается светом, потерявшим синюю составляющую при прохождении через атмосферу. Пыль, дым и т. д. усиливают рассеяние света; более того, в иных случаях² рассеяние может совершенно иначе зависеть от длины волны. После больших извержений вулканов восходы и заходы Солнца порой играют удивительными красками (Солнце и Луна могут даже стать синими, см. задачу 5.84). Конкретные оттенки цветов, наблюдаемые в конкретной ситуации, обусловлены комбинацией рэлеевского рассеяния с рассеянием света на твердых частицах.

¹ Важную роль играют флуктуации плотности областей атмосферы размером, много меньшим длины волны. Если бы такие области отсутствовали, то интерференция света, рассеянного равномерно расположенными молекулами, приводила бы к тому, что интенсивность рассеянного света для всех длин волн была бы отличной от нуля лишь в направлении распространения первоначального луча. Учет в молекулярном рассеянии флуктуаций плотности приводит к такой же зависимости рассеяния от длины волны, как в случае мелких частиц, рассмотренном Рэлеем.— *Прим. ред.*

² Когда размер частиц уже не мал по сравнению с длиной волны.— *Прим. ред.*

5.60. «Пурпурный луч» обусловлен пылью, находящейся в атмосфере на высоте около 20 км. Часть солнечных лучей проходит сквозь слой пыли, выходит из него снизу, а затем снова входит в него, поскольку слой искривлен в соответствии с кривизной земной поверхности. При первом прохождении сквозь слой рассеивается большая часть коротковолнового излучения (голубого и зеленого), поэтому свет, который вновь входит в слой пыли, в основном красный. Рассеиваясь на пыли, этот свет становится видимым для наблюдателя. Наблюдатель видит также синий свет (о котором говорилось в задаче 5.59), рассеянный в атмосфере выше слоя пыли. Рассеянный пылью красный свет и обычный голубой свет неба, складываясь, дают пурпурный оттенок. Второй пурпурный луч, как считают, обусловлен вторым пылевым слоем, расположенным на высоте 70—90 км.

5.61. В соответствии с рэлеевской моделью рассеяния (см. задачу 5.59) небо в зените должно быть зеленовато-голубым, а на заходе Солнца — желтым. Однако рэлеевская модель не учитывает поглощения красной области спектра атмосферным озоном, в результате которого голубой цвет кажется ярче. Усиление голубизны зенита особенно заметно, когда Солнце находится примерно на 6° ниже линии горизонта и свет рассеивается прямо над наблюдателем. Голубизна неба также усиливается за счет атмосферной пыли, поскольку она поглощает в прямом солнечном свете

красную и желтую составляющие спектра сильнее, чем синюю (см. задачу 5.84).

5.62. Небо рядом с земной тенью освещается солнечным светом, в котором отсутствует коротковолновое излучение (синее и зеленое, см. задачу 5.58).

5.63. До удаленного наблюдателя доходит свет, лишенный синей составляющей в результате рассеяния на твердых атмосферных частицах радиусом меньше примерно 0,4 мкм (пыль, сажа, промышленные загрязнения).

5.64. Яркость дневного неба объясняется рассеянием солнечного света на молекулах воздуха. Но тут есть некоторая сложность. Для всякой молекулы, рассеивающей свет по направлению к наблюдателю, всегда можно найти другую, которая также лежит на линии зрения наблюдателя, но на половину длины волны ближе. Таким образом, световые лучи от этих двух молекул будут приходиться к наблюдателю в противофазе и взаимно гасить друг друга. Поскольку такое рассуждение справедливо для любого участка неба, исключая направление прямо на Солнце, небо должно было бы быть темным, и на нем светились бы только Солнце, звезды и планеты. Однако, хотя в среднем молекулы и можно объединить таким образом попарно, в действительности же на всем пути светового луча подобное объединение молекул исключается вследствие флуктуаций плотности молекул в пространстве. Не будь

флуктуаций, небо действительно было бы темным.

5.65. Насколько мне известно, в литературе не встречается никакой информации об этом явлении, кроме его описания. Желтые очки, вероятно, помогают, если дымка образована относительно мелкими частицами, радиусом меньше 0,4 мкм. Столь малые частицы рассеивают коротковолновое излучение сильнее, чем длинноволновое. Поэтому красный и желтый свет падает на землю относительно прямо, тогда как синий и зеленый, претерпевая в дымке более сильное рассеяние, дает диффузное освещение. Убирая из видимого света синюю и зеленую составляющие, наблюдатель может лучше видеть отбрасываемую предметом тень.

5.66. Хотя при наблюдении в трубу большая часть неба закрыта, небо вокруг звезды, как через трубу, так и без нее, выглядит одинаково ярким. Сама звезда, конечно, также не становится ярче. Экспериментальные исследования способности различать небошной светящейся участок на темном фоне показали, что пороговый уровень чувствительности глаза понижается по мере увеличения яркости фона, пока яркость фона не становится примерно равной яркости светящейся точки. Поэтому через трубу звезды различать не легче, а труднее, так как, закрывая часть неба, мы увеличиваем пороговый уровень способности глаза различать звезды¹.

¹ Попробуйте разобраться, поче-

му в телескоп звезды можно увидеть и днем. Почему в этом случае большая яркость неба не оказывается помехой? — *Прим. ред.*

5.67. Если вода глубокая и чистая, то она кажется голубой благодаря отражению голубого неба ее поверхностью. Мелкая вода кажется зеленоватой из-за отражения света от дна. Загрязнения могут придавать воде различные оттенки вследствие избирательного поглощения или рассеяния света (если в воде имеются взвешенные мельчайшие частицы). Последний эффект аналогичен рассеянию, рассмотренному в задачах 5.87 и 5.88.

5.68. Зеленоватый оттенок неба обусловлен отражением света от зеленой растительности. Аналогичным отражением света от поверхности земли, которое приводит к появлению узоров на затянутом облаками небе, объясняются и «облачные карты» (см. задачу 5.72).

5.69. Освещенность «темной» части Луны (закрытой от Солнца Землей) обусловлена светом, отраженным от земной атмосферы и поверхности Земли.

5.70. Рассеяние света на объектах, много меньших длины волны видимого света, описывается рэлеевской моделью рассеяния (см. задачу 5.59). Размеры водных капель в облаке обычно больше, и свет просто отражается от их внешней поверхности. При таком отражении свет не разлагается на составляющие цвета, а остается белым. (Случай, представляющий исключение, разобран в задаче 5.73.) Очень плотные

облака кажутся черными потому, что они пропускают мало солнечного света — он либо поглощается каплями воды в облаке, либо отражается вверх.

5.71. Солнечный свет рассеивается молекулами воды в атмосфере точно так же, как и любыми другими, поэтому отдельные молекулы воды вносят свой вклад в общую освещенность неба (см. задачу 5.58). Рассеяние на каплях воды сильнее, чем на ее отдельных молекулах, так как в капле молекулы упакованы очень плотно: среднее расстояние между соседними молекулами примерно в 1000 раз меньше длины видимого света.

Рассмотрим две такие соседние молекулы. Когда солнечный свет возбуждает в них электроны, они колеблются в фазе, поскольку на электроны, по сути, воздействует свет одной и той же частоты. Электрические векторы в создаваемом электронами электромагнитном поле тоже колеблются синфазно и складываются так, что суммарная интенсивность поля оказывается вдвое больше, чем интенсивность поля одного атома. Интенсивность излучаемого света пропорциональна квадрату амплитуды электрического поля; таким образом она вчетверо превышает интенсивность света, излучаемого единичным атомом. Если же две молекулы удалены друг от друга на расстояние, много большее длины волны падающего света, то такого наложения колебаний не происходит, и суммарная интенсивность излучаемого света равна просто сумме интенсивностей света от каждо-

го атома, иначе говоря, вдвое больше, чем от одного атома.

5.72. «Облачные карты» возникают в результате отражения света от воды и льда на поверхности земли и последующего отражения его от облаков. Прямой солнечный свет отражается плотным льдом лучше, чем водой. Различие в их отражательной способности сказывается на освещении облаков отраженным от земной поверхности светом.

5.73. Перламутровые облака состоят из крохотных капелек, радиусы которых (0,1—3 мкм) близки к длине волны видимого света или несколько превышают ее. Рассеяние света на таких каплях не подчиняется рэлеевской модели, которая справедлива для частиц меньшего размера, и не сводится к простому отражению от внешней поверхности капель, что имеет место для капель большого размера. Оно описывается моделью рассеяния Ми. Дифракция света на каплях зависит не только от радиуса капель, но и от длины волны света; этим и объясняется красивая окраска облаков. Наблюдать эти облака в течение почти двух часов после захода солнца можно потому, что они расположены на очень большой высоте и остаются освещенными долгое время после наступления сумерек.

5.74. Радужные кольца — это интерференционные полосы, которые возникают вследствие рассеяния света на частицах пыли, покрывающей поверхность зеркала. Рассмотрим два луча. Один

рассеивается на частице пыли, а затем отражается от зеркала, как обычно. Другой вначале отражается от зеркального слоя, а затем рассеивается на той же пылинке. Так как пути, которые проходит каждый из лучей, несколько различны, они могут отличаться друг от друга по фазе, причем эта разность фаз зависит от угла, под которым идут лучи, и от длины волны света. Поэтому при освещении пыльного зеркала наблюдатель видит на нем интерференционную картину, разделение цветов в которой обусловлено зависимостью разности фаз от длины волны света.

5.75. Луч прожектора ослабляется не только потому, что идет расходящимся пучком, но и вследствие атмосферного рассеяния. (Если бы рассеяния не было, то луч сбоку был бы невидим.) По этим причинам интенсивность пучка падает экспоненциально. Поэтому видимый луч обрывается довольно резко.

5.76. И зодиакальный свет, и противосияние связаны с рассеянием света космической пылью, которая поступает, возможно, из пояса астероидов. Зодиакальный свет обусловлен пылью, находящейся внутри орбиты Земли, и наблюдается лишь при особых условиях, указанных в задаче. Противосияние — это солнечный свет, рассеянный пылью, находящейся за пределами земной орбиты.

5.77. Щетка стеклоочистителя образует дугообразные бороздки в покрывающей стекло липкой грязи, которые затем отражают свет к води-

телю. Наиболее сильное отражение происходит в случае, когда падающий луч света перпендикулярен касательной к бороздкам. Все вместе эти яркие отражения образуют полосу света, направленную по радиусу дуги, описываемой «дворником».

5.78. Коричневый цвет дымки обусловлен главным образом избирательным поглощением света двуокисью азота, присутствующей в атмосфере.

5.79. Ореол возникает в результате обратного рассеяния света (в сторону источника) малыми каплями воды, размеры которых близки к длине волны видимого света. Такое рассеяние описывается моделью Ми. Свет, который возвращается обратно к источнику, входит в каплю сбоку и сбоку же (с другой стороны) выходит, претерпев отражение внутри капли, а также обогнув каплю вдоль ее поверхности. Это огибание невозможно объяснить в рамках геометрической оптики, которой мы пользовались для объяснения происхождения радуги (см. задачу 5.32). Угол обратного рассеяния зависит в некоторой степени от длины волны падающего света, поэтому вокруг тени головы наблюдателя образуются отчетливо окрашенные кольца. Так как угол рассеяния зависит также от размера капель, цветные кольца не появляются в том случае, когда капли в облаке сильно отличаются по размерам.

5.80. Венцы вокруг Солнца и Луны обусловлены дифракцией света на маленьких каплях воды, которые оказываются на линии зрения. Для

описания этой дифракции следует пользоваться моделью Ми (см. задачу 5.79), но можно ограничиться и грубым рассмотрением обычной дифракции света на маленьком шарике (см. задачи 5.96 и 5.98) и рассуждать следующим образом. Световые лучи, идущие с разных сторон водяной капли, интерферируют друг с другом. При этом возникают светлые и темные кольца, соответствующие интерференционным максимумам и минимумам, угловое положение которых зависит от размеров капли и от длины световой волны. Если капли одинаковы по размеру, то удается различить кольца различных цветов, причем наружные кольца соответствуют более длинноволновому излучению (красный свет), а внутреннее — коротковолновому (синий цвет).

5.81. Венец на замерзшем стекле объясняется аналогичным образом, как и явление, рассмотренное в предыдущей задаче. Однако есть некоторое отличие — в данном случае мы имеем дело уже не с хаотически распределенными сферическими каплями, а с упорядоченно расположенными плоскими каплями.

5.82. Кольцо Бишопы — это картина дифракции света на малых частицах вулканической пыли. Медленно оседая в воздухе, эти частицы «сортируются» по размеру. Для определения дифракционных максимумов и минимумов здесь так же, как и в задаче 5.79, необходимо воспользоваться теорией Ми.

5.83. Венцы вокруг уличных фонарей можно наблюдать даже в совершенно ясную ночь. Они также объясняются дифракцией света на препятствиях, размер которых сравним с длиной волны света. Однако особенность этого явления состоит в том, что в данном случае частицы, на которых происходит рассеяние, находятся внутри самого глаза. Ими, в частности, могут быть радиальные волокна линзы хрусталика или частицы слизи на поверхности роговицы. Аналогичные явления «внутренней» дифракции рассматриваются в задаче 5.96.

5.84. «Синяя луна» обусловлена рассеянием света атмосферными аэрозолями, размер частиц которых колеблется в пределах 0,4—0,9 мкм (то есть включает диапазон длин волн видимого света). Частицы такого размера рассеивают свет красной части спектра сильнее, чем синей. При наблюдении Луны сквозь такой аэрозоль красная составляющая ее обычно белого света рассеивается, и до нас доходит только синий свет. Подобные аэрозоли обычно возникают в атмосфере при вулканических извержениях и крупных лесных пожарах. Далее в результате различной скорости оседания частиц, отличающихся по размерам, и конденсации, в процессе которой размеры малых ядер конденсации увеличиваются, образуются скопления частиц примерно одного размера, необходимого для наблюдения описанного явления.

5.85. Несмотря на соответствующие исследования,

смысл желтых противотуманных фар до сих пор остается неясным. Если радиус частиц меньше 0,4 мкм, то синий свет рассеивается сильнее, чем красный. В таком случае желтый свет будет лучше проходить сквозь туман, так как он имеет большую длину волны, чем синий и зеленый. Однако если размеры частиц таковы, как в задаче 5.84, то результат может оказаться совершенно противоположным. Для частиц еще большего размера, какие обычно составляют туман, желтый свет не имеет никаких преимуществ. Впрочем, возможно, что здесь играет роль поглощение света каким-то конкретным типом взвешенных частиц.

5.86. Голубой цвет «дымки» обусловлен рассеянием света на частицах, размер которых много меньше длины волны видимого света. Такими частицами могут быть макромолекулы терпенов, испускаемых растительностью, или частицы, отрывающиеся от острых частей растения, например, кончиков листьев, где напряженность электрического поля достаточно велика (см. задачу 6.33) для возникновения коронного разряда (см. задачу 6.46). Такое рассеяние вполне описывается рэлеевской моделью (см. задачу 5.59), в соответствии с которой синий свет рассеивается сильнее, чем другие составляющие видимой области спектра. Если размер частиц приближается к длине волны видимого света, то для предсказания характера рассеяния и возникающих цветов необходимо воспользоваться теорией Ми.

5.87. Для того чтобы увидеть собственную тень на мутной воде, вы должны иметь возможность выделять свет, отраженный от поверхности воды. В чистой воде этот относительно слабый отраженный свет теряется на фоне света, отраженного от дна. Если же вода мутная, то свет, отраженный от дна, сильно ослабляется или полностью поглощается, так что вы получаете возможность различать в отражении на поверхности воды светлые и темные участки. Чтобы были видны также тени других людей, отраженный от дна свет должен ослабляться еще сильнее.

Цветная каемка вокруг тени обусловлена рассеянием света взвешенными в воде мелкими частицами, которые, как и частицы в задачах 5.59 и 5.88—5.90, лучше всего рассеивают коротковолновое излучение. Представьте себе чужую тень рядом с собственной. Ближняя к вам ее сторона окрашена в синий цвет, так как на темном фоне тени рассеяние становится заметным. Дальняя же сторона тени кажется красной, поскольку в идущем оттуда свете синяя компонента ослаблена рассеянием.

5.88—5.90. Во всех этих случаях свет рассеивается на очень малых частицах. Здесь также применима модель Рэ-ля, справедливая для частиц, размер которых много меньше длины волны видимого света. Поскольку при таких условиях синяя компонента света рассеивается сильнее красной, взвешенные частицы молока и частицы дыма со стороны источника или сбоку кажутся синими.

Если же смотреть на просвет, они становятся желтыми или красными. (Внизу дым костра виден в свете, идущем от неба из-за спины смотрящего, а выше — на фоне неба.) Если размер частиц близок к длине волны видимого света, то при анализе процесса рассеяния нужно пользоваться теорией рассеяния Ми (см. задачу 5.73). Когда дым сигареты вдыхают, конденсация паров воды, выходящих изо рта при дыхании, на частицах дыма увеличивает радиус последних, и они становятся по размеру сравнимы с длиной волны света, так что лучше рассеивают уже не синий, а желтый свет.

5.91. Игра цветов в мыльной или масляной пленке объясняется интерференцией света на тонкой пленке (см. также задачу 5.94). Вкратце этот механизм можно объяснить так. Свет, отраженный от верхней поверхности пленки, интерферирует со светом, отраженным от нижней. Положение максимумов и минимумов интерференции зависит от длины волны света, а также от показателя преломления и толщины пленки. Если толщина пленки меньше четверти длины волны света и пленка с обеих сторон окружена воздухом (как, например, мыльная пленка, натянутая на вертикально расположенное проволочное кольцо), то при интерференции волны взаимно гасятся, и пленка кажется темной. Рассматривая последовательно все более толстые пленки, мы обнаружим, что в результате интерференции усиливается все более длинноволновое излучение. Если тонкую мыльную пленку, располо-

женную вертикально, осветить белым светом, то верхняя ее часть может оказаться достаточно тонкой и поэтому будет темной. Ниже пленка утолщается, и цветные полосы на ней будут обусловлены максимумами интерференции для соответствующих длин волн. Однако появление светлой полосы прямо под темной частью пленки выглядит довольно загадочно. Оказывается, в этой части толщина пленки такова, что вследствие интерференции здесь частично усиливаются все волны видимого спектра, поэтому наблюдатель видит отраженный белый свет (согласно предположениям Бэймена и Итона).

5.92. Причина появления такого ореола пока еще не выяснена. Однако, скорее всего, он обусловлен рассеянием света на частицах слизи или капельках воды на наружной поверхности глаза (см. задачу 5.83).

5.93. Жидкие кристаллы (вещества, которые представляют собой нечто промежуточное между жидкостью и твердым телом) по расположению молекул делятся на три основных типа. У смектических кристаллов молекулы ориентированы в одном направлении и расположены параллельными слоями. У нематических кристаллов молекулы также ориентированы одинаково, но не образуют слоев. Однако игру цветов в игрушках из жидких кристаллов создают кристаллы третьего типа — холестерические. У этих кристаллов все молекулы

каждого слоя ориентированы параллельно плоскости этого слоя. Ориентация же молекул от слоя к слою меняется, так что, если двигаться в глубь кристалла, конец вектора, указывающего направление ориентации молекул, будет описывать спираль. Длина волны света, отражаемого кристаллом, определяется расстоянием между витками этой спирали. Свет других длин волн беспрепятственно проходит сквозь кристалл. Сжимая кристалл (корпус игрушки сделан из гибкой упругой пластмассы) или изменяя его температуру, можно изменять плотность витков спирали и тем самым длину волны света, который отражается кристаллом.

5.94. Сочная голубая окраска верхней стороны крыла бабочки *Morpho* объясняется интерференцией света в тонких пленках — чешуйках, расположенных параллельно крылу на тоненьких прожилках, выступающих почти перпендикулярно плоскости крыла. Часть белого света, попадающего на пленку, отражается (назовем ее лучом *A*), а часть проходит внутрь пленки. Прошедший внутрь пленки свет частично отражается от ее нижней поверхности (пусть это будет луч *B*) и выходит наружу параллельно лучу *A*. Лучи *A* и *B*, интерферируя, могут усиливаться или ослабляться — это зависит от разности их фаз. Последняя в свою очередь определяется длиной волны света, толщиной и показателем преломления пленки, а также углом, под которым свет входит в пленку и выходит из нее. Если свет

падает перпендикулярно пленке, то разность фаз, при которой лучи взаимно усиливаются, наблюдается для длины волны, соответствующей синему цвету. При других длинах волн разность фаз такова, что лучи взаимно ослабляются. Поэтому наблюдатель видит только синий цвет. Если свет падает на крыло под другим углом (или мы смотрим под другим углом), то путь луча внутри пленки и вместе с ним разность фаз изменяются. Следовательно, изменяется и длина волны, соответствующая «усиливающей» интерференции, поэтому наблюдатель видит синий цвет несколько другого оттенка.

5.95. Темные линии между пальцами — это темные полосы интерференционной картины, возникающей при дифракции света на щели между пальцами. Свет, проходящий через один участок щели (скажем, непосредственно рядом с пальцем), ослабляется в результате интерференции со светом, проходящим через другой участок (лежащий чуть дальше от пальца), и наблюдатель видит темную линию.

5.96. Пятнышки в глазу — это интерференционные полосы, обусловленные дифракцией света на круглых клетках крови, плавающих прямо перед желтым телом сетчатки (область сетчатки с высокой плотностью колбочек, расположенная прямо против зрачка глаза). Клетки крови могут попадать в глаз из капилляров, разрушающихся в результате старения или при сильных ударах по голове; под дей-

ствием осмотического давления они раздуваются в шарики.

5.97. Если фотография сделана с надлежащей экспозицией, то лучи могут появиться на ней из-за мерцания звезды (см. задачу 5.102). Лучи могут быть также обусловлены дифракцией света звезды на прямых участках края диафрагмы объектива. Диафрагмы объективов обычно не совершенно круглые, а состоят из большого числа прямых отрезков, что позволяет регулировать отверстие диафрагмы. Зрачок человеческого глаза также не идеально круглый, и дифракция света на прямых участках края отверстия может создавать впечатление звездных лучей. Такие лучи всегда появляются парами.

5.98. Интерференционные кольца, показанные на рисунке, объясняются дифракцией света на шарике. Свет, проходящий с одной стороны шарика, интерферирует со светом, проходящим с другой его стороны, в результате на удаленном от шарика экране наблюдаются светлые и темные кольца. Центр интерференционной картины одинаково удален от обеих сторон шарика, поскольку обе световые волны приходят туда в одной фазе и, следовательно, усиливаются.

5.99, 5.100. Причина появления темных полос еще не вполне ясна. По-видимому, одно из наиболее правдоподобных объяснений заключается в том, что эти полосы представляют собой интерференционную картину све-

та, проходящего через слои воздуха переменной плотности. Такие области различной плотности могут самопроизвольно возникать в верхней атмосфере вследствие турбулентных потоков.

5.101. Озеро ведет себя подобно щели, и наблюдатель поочередно видит максимумы и минимумы возникающей дифракционной картины.

5.102. Мерцание звезд обусловлено турбулентностью воздуха, которая возникает из-за неравномерного распределения температуры. В атмосфере всегда существуют небольшие ячейки турбулентности (размером порядка нескольких сантиметров), в которых идущий от звезды свет преломляется то в одном, то в другом направлении. Это слабое мерцание особенно заметно у точечных звезд и почти не видно у больших по размеру планет и Луны.

5.103. Ультрафиолетовое излучение, поглощаясь органическими молекулами красок, нарушает молекулярные связи. Это в конце концов приводит к потере пигментом его окраски. Выцветание красок под действием ультрафиолетового излучения, как выяснилось, представляет серьезную опасность для картин, экспонируемых в современных музеях, где для создания равномерного освещения широко используются обычные люминесцентные лампы, свет которых содержит известную долю ультрафиолетового излучения. Теперь картины или лампы закрывают ультрафиолето-

выми фильтрами или же вновь начинают использовать для освещения обычные лампы накаливания.

5.104. Свет обладает импульсом и поэтому может оказывать давление. Лазер, используемый в описанных опытах, создает интенсивный пучок света, который способен поднять шарик. Устойчивость шарика обусловлена преломлением света внутри него. Интенсивность пучка лазерного света максимальна в центре.

Пусть шарик несколько смещен относительно центра пучка, но не покидает его пределов. Свет, падающий на шарик у края пучка, преломляется внутрь шарика, проходит внутри него и затем, вновь преломляясь, выходит наружу в направлении к центру пучка. В результате луч лазера несколько отклоняется, и, следовательно, он должен действовать на шарик с некоторой силой. Свет, входящий в шарик несколько сбоку (по центру луча), тоже отклоняется, но уже не к центру, а вбок. За счет этих отклонений возникает как подъемная сила, так и сила, действующая вбок. Интенсивность света, отклоняемого к центру шарика, меньше, чем интенсивность света, отклоняемого в сторону, поэтому результирующая сила направлена к центру. Если шарик отходит от центра луча, то эта результирующая сила возвращает его обратно.

5.105. Светлые и темные полосы возникают в результате дифракции света на жалюзи. Подобную, но более красочную картину можно

наблюдать, глядя на автомобильную фару сквозь ткань зонтика.

5.106. Спектральный состав света, излучаемого звездой, зависит от температуры (точнее, от четвертой степени температуры, выраженной в градусах Кельвина) ее поверхности. Чем выше температура звезды, тем короче длина волны, на которую приходится максимум в спектре излучения звезды. Холодная звезда излучает в видимом спектре мало света. По мере увеличения температуры звезд спектральный состав излучаемого света приближается к видимому спектру, причем с красного его конца. Таким образом, при соответствующей температуре звезда излучает наблюдаемый нами красный или желтовато-красный свет. Пик излучения более горячей звезды приходится на середину видимого спектра. Тогда звезда излучает все цвета видимого спектра примерно равномерно, и мы видим ее белой, как Солнце. У еще более горячей звезды максимум излучения смещается в ультрафиолетовую область. Такая звезда излучает преимущественно синий свет и поэтому кажется голубой.

5.107. Пока еще светящиеся смерчи, как и вообще смерчи сами по себе (см. задачу 4.68), не получили надлежащего объяснения. Скорее всего, свечение смерча связано с происходящими в нем электрическими разрядами.

5.108. Свет излучают молекулы сахара, возбуждаемые электрическим полем, кото-

рое обусловлено разностью зарядов на плоскостях кристалла. Это поле возникает, когда кристаллы раскаляются от ударов и трения при размешивании.

5.109. Загар и ожоги обусловлены ультрафиолетовым излучением Солнца. При длительном или интенсивном воздействии ультрафиолетового излучения страдают как поверхностный (эпидермис), так и более глубокие слои открытой кожи. В результате капиллярные сосуды расширяются и приток крови к коже усиливается, кожа краснеет и возникает ощущение тепла. При более слабом действии ультрафиолета на светлой коже появляется загар; вначале пигмент, прежде бесцветный, окисляется, а затем активизируется (быть может, косвенным путем — посредством прекращения действия какого-то ингибитора) тироксиной. Действие тироксины повышает содержание меланина — пигмента черной или коричневой окраски, который образует защитный слой, препятствующий проникновению ультрафиолетового излучения.

Средства, предохраняющие кожу от ожогов и способствующие загару, в основном бывают трех видов. Одни (содержащие окислы цинка или титана) не пропускают ультрафиолетовый и видимый свет, защищая тем самым чувствительную кожу и препятствуя загару. Другие (например, содержащие бензофенон) поглощают весь ультрафиолет и также препятствуют загару. Третья группа средств (в которых содержится, в частности,

аминобензойная кислота) защищает кожу от ожогов, но, обеспечивая избирательное поглощение, не мешает загару. Длина волны ультрафиолетового излучения лежит в интервале 0,28—0,40 мкм. Более короткие волны не проходят через атмосферу, а более длинные уже относятся к области видимого света. Волны длиной 0,29—0,32 мкм производят главным образом ожоги, а волны в диапазоне 0,31—0,40 мкм способствуют загару. Средства для загара третьего типа преграждают путь волнам короче 0,31 мкм.

Утром или в конце дня ожоги и загар значительно слабее, поскольку солнечный свет проходит больший путь сквозь атмосферу и ультрафиолетовое излучение ослабляется сильнее. Стекло также поглощает ультрафиолетовое излучение. В горах опасность солнечного ожога возрастает, так как путь солнечного света через атмосферу короче. На пляже риск получить ожог увеличивается из-за отражения ультрафиолетовых лучей от песка.

5.110, 5.111. Во всех рассмотренных примерах свечение обусловлено двумя типами веществ, объединенных общими названиями люциферина и люциферазы. Однако конкретный состав этих веществ у разных организмов различен. Люцифераза — это фермент, биологический катализатор реакций, при которых возникает свечение.

Люминесценция морских организмов подразделяется на три типа. Некоторые организмы имеют специальные клетки, порой настолько со-

вершенные, что они напоминают светильники. Другие морские организмы могут выпускать светящиеся «облака». И наконец, они могут не светиться сами, но содержать люминесцирующие бактерии. Динофлагеллаты днем окрашивают море в красный, желтый или коричневый цвета — это их естественная окраска; ночью же они светятся голубым светом. Свет «включается» какими-то внутренними «часами». Даже если постоянно освещать эти организмы неярким светом, наиболее ярко они все равно будут светиться около часа ночи, и этот биологический ритм может сохраняться в течение нескольких недель. Светлячки светятся благодаря соответствующим химическим реакциям. Коэффициент преобразования химической энергии в свет у них достигает 100% — на каждую окисленную в химических реакциях молекулу люциферина приходится один фотон излученного света. Свет, испускаемый светлячками, называется холодным, поскольку (в отличие от света лампы накаливания, свечи или раскаленной докрасна керогги) он обусловлен не тепловым возбуждением молекул под действием высокой температуры, а химическими реакциями. Свечение бактерий, которым в основном объясняется свечение пищевых продуктов, связано с энергией, которую они получают в процессе питания.

5.112. В стекле, из которого сделаны такие очки, имеются маленькие кристаллы, чувствительные к освещению,

например кристаллы бромистого серебра. Под действием света ионы серебра превращаются в атомы, и стекло темнеет. Но атомы серебра по-прежнему остаются поблизости от ионов брома, поэтому как только свет становится менее ярким, происходит рекомбинация, и прозрачность стекла восстанавливается.

5.113. Плакаты светятся потому, что краски, которыми они написаны, поглощают ультрафиолетовый свет, а излучают видимый. При освещении ультрафиолетом плакат светится без всякой видимой подсветки. Отбеливающие порошки действуют примерно таким же образом. Они преобразуют естественный ультрафиолетовый свет в голубой, тем самым усиливая излучение выстиранных с их помощью тканей в видимой области спектра. Поэтому интенсивность отраженного света оказывается больше, чем интенсивность естественного фона.

5.114. Электроны, вылетающие с электрода лампы, сталкиваются с атомом паров ртути, возбуждая один из электронов его внешней оболочки. Возбужденный электрон быстро возвращается на свой прежний энергетический уровень. В результате атом излучает ультрафиолетовый свет, который поглощается кристаллом люминофора, покрывающего внутреннюю поверхность трубки. Кристаллы переизлучают свет в видимой области спектра. Излучение света кристаллом должно продолжаться по крайней мере на протяжении двух

полупериодов тока промышленной частоты. Если бы кристаллы люминофора испускали свет мгновенно, то лампа стала бы неприятно мигать¹.

¹ Эти мигания были бы, конечно, незаметны из-за большого числа излучающих кристаллов и сравнительно медленной реакции глаза.— *Прим. ред.*

5.115. «Пляшущие» точки представляют собой интерференционную картину, которая создается параллельным пучком (пространственно когерентным светом), диффузно рассеиваемым на очень тонкой структуре листа бумаги. Пространственная когерентность означает, что фаза световой волны, излучаемой одной частью источника, коррелирует (находится в соответствии) с фазой волны, излучаемой другой его частью. Такая корреляция обеспечивает устойчивость интерференционной картины. Прямой солнечный свет до некоторой степени пространственно когерентен, и при освещении им может возникнуть описанная интерференционная картина. Смещение картины при движении наблюдателя объясняется параллаксом, который обусловлен тем, что глаза наблюдателя не сфокусированы на рассеивающей поверхности. Например, если рассеивающая поверхность находится на расстоянии нескольких метров от наблюдателя, страдающего близорукостью, то его глаза сфокусированы перед рассеивателем. Когда наблюдатель поворачивает голову, например влево, то из-за парал-

лакса интерференционная картина сдвигается вправо.

5.116. В рассмотренных случаях «мычание» приводит к появлению на сетчатке глаза стробоскопического изображения телевизора или вращающегося диска. Каждый из этих объектов претерпевает периодические изменения: диск вращается, изображение на экране телевизора «мигает», так как оно образуется в результате построчной горизонтальной развертки электронным лучом, возбуждающим свечение экрана. «Мычание» соответствующей частоты вызывает колебания головы, а следовательно, и глаз. При этом в один и тот же участок сетчатки периодически попадает одно и то же повторяющееся изображение. Это приводит как бы к «замораживанию» изображения. Если же частота «мычания» окажется «неподходящей», синхронность колебаний головы и глаз с вращением диска или миганием экрана нарушится, и изображение будет двигаться. Если, например, частота «мычания» чуть выше той, которая необходима для «замораживания» изображения, то узор на диске движется в сторону, противоположную направлению вращения диска.

5.117. Кажущееся движение маятника по эллипсу объясняется тем, что восприятие маятника глазом, закрытым темным фильтром, на несколько миллисекунд отстает от действительного положения маятника. Мозг, обычно определяя положение маятника на основе информации, поступающей

от обоих глаз, «помещает» маятник либо ближе, либо дальше его истинного положения. Поэтому колебание маятника кажется двумерным. Предположим, к примеру, что маятник совершает качение вправо, а фильтром закрыт левый глаз. Правый глаз воспринимает действительное положение маятника, в то время как левый видит его в том положении, в котором маятник был несколько миллисекунд назад. Мысленно вы проводите линии до пересечения лучей, воспринятых каждым глазом так, как если бы они исходили из одной точки. Получается, что маятник оказывается дальше от вас, чем на самом деле. Когда маятник совершает качение влево, то вследствие той же задержки в восприятии левым глазом маятник кажется теперь ближе, чем на самом деле. В целом создается впечатление, будто маятник движется по эллипсу, как показано справа на рис. 5.117. Причина задержки восприятия пока еще до конца не выяснена. В основе одной из моделей системы зрительного восприятия лежит последовательность линий задержки, временное разрешение которых улучшается при увеличении количества попадающего в глаз света. Уменьшение количества света, попадающего в глаз, приводит к ухудшению его временной разрешающей способности.

5.118. Экран телевизора освещен не постоянно, так как электронный луч последовательно создает на экране строку за строкой. Такой мигающий свет может служить стробоскопическим осветите-

лем для вращающегося волчка. Поэтому вы увидите на волчке либо застывший узор, либо узор, движущийся в ту или другую сторону (в зависимости от отношения частоты телевизионной развертки к угловой скорости вращения волчка).

5.119. Палочки (которые играют главную роль при низких уровнях освещенности) вблизи краев сетчатки глаза имеют большую плотность, чем колбочки (действующие при больших уровнях освещенности). Если смотреть на звезду прямо, то ее изображение попадает на желтое пятно сетчатки, где палочек нет. Если же смотреть на звезду «краем глаза», то ее изображение попадает туда, где плотность палочек максимальна. Это и позволяет лучше увидеть звезду¹.

¹ Палочки очень чувствительны только к изменениям освещенности. Так как глаз слегка дрожит, изображение звезды попадает то на одну, то на другую палочку, вызывая появление сигнала. — *Прим. ред.*

5.120. «Голубые дужки» сетчатки до сих пор исследуются. Хотя причина их появления далеко не ясна, считается, что они обусловлены вторичным возбуждением нейронов от непосредственно возбуждаемых аксонов². Предположим, что вспышка света возбуждает определенное количество фоторецепторов, которые связаны с определенными аксонами ганглиозных клеток. Эти аксоны в свою очередь возбуждают другие близлежащие, которые стимулируют связанные с ними фоторецепторы. В ре-

зультате создается иллюзия светящейся дуги, идущей в сторону от желтого пятна и окружающей его, причем один конец дуги находится в той точке, где произошло непосредственное возбуждение фоторецептора светом. Почему дуги голубые, пока не известно.

² Аксоны — длинные отростки ганглиозных клеток — представляют собой зрительные нервы, которые передают дальше сигнал от ганглиозных клеток, собирающих информацию от фоторецептора глаза. — *Прим. ред.*

5.121. Механизм возникновения фосфенов совершенно не изучен. Не выяснена даже физическая природа этого процесса, хотя, судя по некоторым исследованиям, фосфены могут быть вызваны прямой электрической стимуляцией затылочной доли мозга.

5.122. Конечно, все фонари включаются одновременно, поскольку электрическая задержка практически нулевая. Впечатление, будто фонари на перекрестке зажигаются раньше, связано с тем, что они вместе дают больше света, чем фонари, тянущиеся вдоль улицы, поэтому зрительная задержка их восприятия меньше (см. задачу 5.117).

5.123, 5.125. Запутанная сеть кровеносных сосудов в сетчатке отбрасывает на нее тень, которую мы обычно не замечаем. Мозг «игнорирует» всякое неподвижное изображение в глазу, сосуды же и их тени неподвижны относительно сетчатки. Исключения

представляют два случая. Когда утром мы открываем глаза, внезапно отброшенные на сетчатку тени будут видны какое-то время, пока мозг не перестанет обращать внимание на это изображение как на неподвижное. Другое исключение представляют собой тени от клеток крови, которые рывками движутся по капиллярам. Если смотреть на равномерно освещенную гладкую поверхность, то эти тени будут видны как прерывисто движущиеся точки.

5.124. Причина возникновения этих геометрических узоров пока не выяснена и изучается. Узоры могут возникать как на сетчатке, так и в нервных волокнах. Они также могут «возникать» уже в мозге при синтезе информации, поступающей от обоих глаз.

5.125. См. ответ к задаче 5.123.

5.126. Как мы уже говорили (см. задачу 5.119), при сильной освещенности зрение обусловлено колбочками сетчатки, а при слабой — палочками. Их спектральная чувствительность неодинакова. Колбочки бывают трех типов, каждый из которых чувствителен к одному из трех цветов: синему, желтому и красному. Палочки наиболее чувствительны к зеленому свету (максимум их чувствительности приходится на 0,5 мкм) и гораздо менее чувствительны к красному. Если наблюдать красный и синий цвета в то время, когда свет в комнате, вначале яркий, постепенно ослабевает, то механизм зрения пе-

реключается с «колбочкового» на «палочковый», и относительная чувствительность глаза к красному и синему цветам резко меняется.

5.127. Полосы Маха — это зрительная иллюзия. Их можно сфотографировать — в том смысле, что и на фотографии тени наблюдатель увидит эти полосы точно так же, как и на реальной тени. Согласно современным представлениям, происхождение этих полос связано с тем, что зрительные рецепторы возбуждаются светом, идущим от края тени. Короче говоря, сигнал срабатывающего фоторецептора запирает сигнал, идущий от соседнего фоторецептора, также возбуждаемого светом.

Рассмотрим изображение края тени на сетчатке. С одной стороны, скажем с левой, сетчатка равномерно и ярко освещена, с другой — освещение тоже равномерное, но более слабое. В узкой области между ними происходит переход от яркого света к слабому: со стороны ярко освещенной области здесь наблюдается яркая полоса Маха, а со стороны слабо освещенной области — темная полоса Маха. В освещенной области зрительные рецепторы оказывают друг на друга ослабляющее (ингибирующее) действие, поэтому уровень идущих от них сигналов уменьшается. Фоторецепторы на краю переходной области подвергаются меньшему ингибирующему действию, поскольку с одной стороны они не освещены. Поэтому мы видим яркую полосу. Фоторецепторы с теневой стороны переходной об-

ласти подвергаются большому ингибирующему действию, чем рецепторы, находящиеся в тени, поскольку с одной стороны они освещены. В результате наблюдается темная полоса.

5.128. Эффект Лэнда пока еще не исследован до конца. Одна из возможных его моделей основывается на том, что на сетчатке существует три типа колбочек, которые различаются спектральной чувствительностью (см. задачу 5.126). Когда вы наблюдаете цветное изображение, каждая группа колбочек каким-то образом измеряет количество отраженного от него света в своем спектральном диапазоне, затем мозг «сравнивает» эти количества света и в результате вызывает ощущение цвета. Цветовое восприятие черно-белых слайдов объясняется, по-видимому, тем, что информации об отраженном свете в двух участках спектра уже достаточно для срабатывания механизма цветоощущения. Таким образом, воспринимаемые нами цвета не связаны прямо с длиной волны падающего в глаз света.

5.129. Цветная каемка у края источника света объясняется хроматической аберрацией глаза. В опыте, изображенном на рис. 5.129, правая часть открытого глаза прикрыта пальцем, так что световые лучи от окна попадают только в левую часть глаза. Внутри глаза красный свет преломляется чуть слабее, чем синий. Обычно эта аберрация незаметна, но, когда глаз частично закрыт пальцем, наблюдатель оказывается в состоянии уви-

деть несовпадающие изображения края окна в различных цветах.

Рассмотрим луч, попадающий от правого края окна в левую часть глаза наблюдателя. Из-за небольшой разницы в коэффициентах преломления красного и синего света красное изображение края окна оказывается на сетчатке чуть левее синего. Синее изображение не будет видно на фоне белого света, идущего от остальной части окна. Поэтому край окна кажется наблюдателю красноватым. Подобный эффект наблюдается и для левого края окна, но здесь уже красное изображение теряется на фоне белого света, и левый край окна кажется синим.

5.130. До недавнего времени считалось, что такое «окрашивание» вращающегося диска связано с тем, что при переходе от темноты к свету нервные клетки воспринимают разные цвета с различной временной задержкой. В частности, предполагалось, что восприятие красного цвета «включается» чуть быстрее, чем восприятие синего, поэтому передний край белого сектора кажется красным. Однако теперь установлено, что такой разницы в восприятии разных цветов не существует. Согласно одной из современных гипотез, цветовой эффект, создаваемый вращающимся диском, обусловлен тем, что частота следования белых и черных полос либо сама по себе соответствует частоте кодирования нервных импульсов, передающих цветовое ощущение, либо заставляет фоторецепторы посылать последо-

вательности импульсов, соответствующие закодированной информации о цвете. Другими словами, удачно подобранная частота следования световых импульсов соответствует как бы сигналу «азбуки Морзе», который мозг расшифровывает в виде определенных цветов. Как и в задаче 5.128, ощущение красного цвета здесь вовсе не означает, что в глаз попадает световая волна длиной около 0,6 мкм. Как видно, зрительное восприятие цвета весьма тонкая штука!

5.131. У люминесцентных ламп голубое и зеленое свечение пропадает в течение части полупериода возбуждающего их переменного напряжения, а желтое и красное (если доля красного свечения в лампе достаточно велика) — нет. В результате вращающийся диск, разделенный на черно-белые сектора, или вращающаяся монета отражают к наблюдателю свет, спектр которого меняется со временем. Разница в продолжительности свечения каждого цвета объясняется тремя типами свечения. Короткие вспышки синего и зеленого света обусловлены спектральными линиями излучения ртути (оно происходит очень быстро) и люминесценцией с малым послесвечением. Желтый цвет — это люминесценция того же люминофора, но с большим временем послесвечения.

5.132. Изображение на телевизионном экране появляется не сразу целиком, а быстро «рисует» электронным лучом, который движется по экрану строка за строкой и сверху вниз. Развертка

осуществляется так быстро, что глаз не успевает ее заметить. Если быстро перевести глаза вправо, то каждая горизонтальная строка оставляет на сетчатке изображение, сохраняющееся в течение примерно 75 мс. Так как глаза движутся одновременно с разверткой изображения по вертикали, изображение всякой линии оказывается чуть правее изображения линии, лежащей ниже, так как верхняя линия появилась на экране чуть раньше. Поэтому все изображение, «записанное» на сетчатке, оказывается перекошенным, как показано на рис. 5.132. Кратные (двойные, тройные и т. д.) изображения возникают потому, что за время поворота головы электронный луч успевает «нарисовать» на экране несколько изображений, которые вы переносите одно за другим вправо.

5.133. Как правило, стереоскопический эффект достигается имитацией обычного бинокулярного зрения, которое позволяет нам воспринимать объемность пространства. В стереоскоп (который сейчас продается как детская игрушка, но в прежние времена он немало развлекал и взрослых) вставляются две фотографии, сделанные при двух различных положениях аппарата (смещенных на несколько сантиметров одно относительно другого) под углами, соответствующими углам нормального зрения для каждого глаза. Когда вы рассматриваете эти фотографии в стереоскоп, оба изображения сливаются в одно, которое кажется объемным. Объемное (сте-

реоскопическое) кино также дает каждому глазу изображение с соответствующим сдвигом. Например, изображение для одного глаза может быть синим, для другого — красным. Зрители надевают очки, в которых одно стекло красное, а другое — синее. И снова изображения сливаются так, что получается одно объемное изображение. Эффект объемности можно также получить, проецируя каждое изображение в соответствующим образом поляризованном свете. Тогда каждое стекло очков должно пропускать только «свой» поляризованный свет. В объемных открытках картинка одна, но в каждый глаз поступает отдельное изображение, чему способствует система многочисленных призмочек или бороздок на прозрачной пластмассовой пленке, которой покрывается картинка. Поскольку все эти бороздки наклонены в разные стороны, левый глаз воспринимает картинку в иной перспективе, чем правый. И опять же при совмещении изображений возникает иллюзия объемности.

Впечатление, будто красные буквы выступают над синим фоном, объясняется хроматической аберрацией глаза. Если смотреть на предмет так, чтобы лучи света входили в глаз под некоторым углом к его оси, то синяя компонента света будет преломляться сильнее, чем красная. Это значит, что в фокусе на сетчатке соберутся лучи только одного из цветов. Изображение другого цвета будет слегка размыто. Предположим, например, что мы смотрим на красную и синюю точки, нарисованные на кар-

точке, причем держим картинку перед собой так, что эти точки находятся на одинаковом расстоянии от глаза. Пусть в фокусе на сетчатке окажется красная точка. Ее изображение на сетчатке лежит дальше от центра головы, чем размытая каемка от синей точки. При нормальном бинокулярном зрении мозг интерпретирует это так, будто красная точка находится ближе к нам, чем синяя.

5.134. Причины возникновения этого эффекта не выяснены, хотя он много обсуждался в литературе. Кажущееся увеличение не имеет ничего общего с преломлением лучей в атмосфере (как уже говорилось в задаче 5.18, кажущееся изображение Луны в результате рефракции уменьшается). Видимо, рассмотренный здесь эффект зависит от расстояния Луны до горизонта. Когда Луна высоко над горизонтом, она представляется нам имеющей свой истинный угловой размер (около $0,5^\circ$). Когда же Луна опускается к горизонту и расстояние между ней и горизонтом (или какими-то объектами на горизонте) уменьшается, она кажется больше.

5.135. Нам только кажется, что лучи сходятся на горизонте, в действительности же они параллельны. Подобное впечатление создается, когда мы смотрим вперед вдоль железнодорожного полотна.

5.136. Если «провести» эту линию с помощью длинной палки, то она, как и следовало ожидать, пройдет через

Солнце. Но линия, проведенная лишь мысленно, не «попадет» на Солнце. Эта ошибка восприятия обусловлена тем, что небо представляется нам куполообразным.

5.137. Кажущееся искривление луча прожектора объясняется той же причиной, которая указывается в предыдущей задаче. Если поместить перед глазами линейку и «сверить» с ней луч, то можно убедиться, что в действительности он прямой.

5.138. Объяснить эту зрительную иллюзию, по-видимому, пока не удалось. Удивительно, что до того, как этот эффект был описан, считалось, будто из двух равноудаленных от наблюдателя предметов более далеким кажется тот, который находится выше.

5.139. «Белую мглу» можно объяснить двумя причинами. Метель-поземка может поднять в воздух снег и ограничить видимость буквально несколькими метрами. «Белая мгла» может быть также связана с полным отсутствием каких-либо зрительных ориентиров, когда земля покрыта белым снегом, а небо — белыми облаками. Освещение при этом становится до такой степени рассеянным, что пропадают всякие тени, и кажется, что и снег, и облака просто исчезли. У человека возникает ощущение, что он идет по безграничному белому пустому пространству. Причиной «снежной слепоты» может быть то, что перед глазами все время находится интенсивно освещенное снежное поле — ви-

димый и ультрафиолетовый свет отчасти нарушают процесс зрительного восприятия (по сообщению У. Бэркитта).

5.140. Допустим, что астронавт смотрит на Землю с точки орбиты, находящейся на высоте 800 км от Земли. При отсутствии телескопа ему будет очень трудно обнаружить какие-либо признаки разумной жизни на Земле. Дифракция на зрачке ограничивает минимальные размеры предметов, которые он еще в состоянии различить. (У некоторых животных решающая способность глаза определяется плотностью размещения зрительных рецепторов на сетчатке. Объект, изображение которого на сетчатке меньше расстояния между рецепторами, для них неразличим.) Нормальная разрешающая способность человеческого глаза соответствует угловому размеру предмета в 0,0005 радиана (1,7'). Это означает, что астронавт едва способен различить на поверхности Земли объекты размером около километра. При таком разрешении можно заметить лишь очень немногие объекты, созданные руками человека. Наиболее красноречивыми признаками цивилизации могут служить геометрически правильные структуры, например длинные прямые скоростные автострады. Однако, изучая тысячи фотографий (разрешение которых составляло 0,2—2,0 км), сделанных метеорологическими спутниками «Тайрос» и «Нимбус», удалось разглядеть только одно шоссе и прямоугольную сетку лесных просек в Канаде.

5.141. В темной комнате точечный источник света, отражаясь в елочном шарике, кажется светящейся линией потому, что глаз воспринимает отраженный от шарика свет в сравнительно большом угле. Мысленно продолжая лучи к их источнику, мы представляем его себе не точкой, а линией. Когда в комнате включают свет, диаметр зрачка глаза сокращается вдвое, угол, под которым воспринимается отраженный от шарика свет, резко уменьшается, и источник «стягивается» в точку.

5.142. Муаровые узоры зависят от того, насколько совпадают или не совпадают элементы двух наложенных друг на друга сеток, тканей и т. д. У расчески и ее отражения в зеркале, например, зубья будут периодически совпадать полностью, частично или совсем не совпадать. Получающийся муаровый узор, по-видимому, будет увеличенным изображением зубьев расчески или по крайней мере увеличенным изображением аналогичной пространственно-периодической структуры.

6.1. Грубо говоря, электрический ток, протекающий через тело человека, оказывает следующие воздействия:

менее 0,01 А — либо совсем не ощущается, либо ощущается очень слабо;

0,02 А — вызывает болезненные ощущения, иногда рука как бы притягивается к проводу (см. задачу 6.3);

0,03 А — нарушает дыхание;

0,07 А — сильно затрудняет дыхание;

0,1 А — вызывает фибрилляцию сердца, что нередко приводит к смерти;

более 0,2 А — вызывает сильный ожог и останавливает дыхание.

Как это ни странно, смертельный исход чаще всего вызывает ток в диапазоне 0,1—0,2 А, так как при этом возникают беспорядочные неконтролируемые сокращения сердечной мышцы (фибрилляция) и нарушение кровообращения, что быстро приводит к смерти. При силе тока более 0,2 А сердце просто останавливается, но если пострадавшему своевременно оказать помощь, сердечный ритм восстанавливается. Фибрилляцию же можно остановить только хорошо рассчитанным повторным электрическим шоком. Поэтому ток в диапазоне 0,1—0,2 А опаснее, чем более сильный.

Величина тока, проходящего через тело человека, зависит от сопротивления кожи, которое обычно изменяется в пределах от 1000 Ом (влажная кожа) до 500 000 Ом (сухая кожа). Сопротивление тканей тела значительно меньше: 100—500 Ом. Когда человек касается провода, находящегося под напряжением выше примерно 240 В, ток пробивает кожу. Если по проводу течет

ток, величина которого еще не смертельна, но достаточна для того, чтобы вызвать произвольное сокращение мышц руки (рука как бы «прилипает» к проводу), то сопротивление кожи постепенно уменьшается, и в конце концов ток достигает смертельной для человека величины в 0,1 А. Человеку, попавшему в такую опасную ситуацию, нужно как можно скорее помочь, стараясь «оторвать» его от провода, не подвергая при этом опасности себя.

6.2. В точке соприкосновения двух разных металлов возникает так называемая контактная разность потенциалов, которая обусловлена различием энергетических уровней электронов проводимости в этих металлах. Когда лапка лягушки прикасалась к перекладине, электрическая цепь, образованная перекладиной, кронштейном и лапкой, замыкалась, по ней начинал идти электрический ток, который и вызывал сокращение мышц лапки.

6.3. Руку удерживают на проводе отнюдь не электрические силы. Проходя по мышцам руки, ток заставляет их сокращаться, и рука крепко «схватывает» провод. Электрики, работая с проводами, которые находятся (или могут оказаться) под напряжением, стараются прикасаться к ним тыльной стороной руки. В этом случае сокращение мышц под действием тока, напротив, отбрасывает руку от провода.

6.4. Под воздействием нервного импульса некоторые

особые клетки начинают пропускать через мембраны поток ионов (электрический ток). У электрической рыбы эти клетки соединены последовательно от головы до хвоста, и между головой и хвостом рыбы создается большая разность потенциалов (разность потенциалов в каждой клетке равна примерно 0,15 В). Множество таких последовательных цепочек электрических клеток соединяются параллельно. В результате возникает ток, достаточный для того, чтобы оглушить или убить жертву или врага. Например, у гигантского морского ската *Torpedo nobiliana* параллельно соединены 2000 таких цепочек, каждая из которых содержит около 1000 соединенных последовательно электрических клеток. При подобном последовательно-параллельном соединении через каждую клетку течет слабый ток, а суммарный ток достаточно велик. У пресноводных электрических рыб последовательно соединяется большее число клеток, так как проводимость пресной воды значительно меньше, и чтобы рыба могла создать ток такой же величины, разность потенциалов между ее головой и хвостом должна быть значительно больше.

6.5. Мясо (главным образом содержащаяся в нем вода) поглощает высокочастотное излучение, которое проникает в него на глубину порядка нескольких сантиметров, причем глубина проникновения тем больше, чем ниже частота излучения. Большинство высокочастотных печей работает на частоте

2450 МГц; волны такой частоты проникают в мясо на глубину примерно 2 см и хорошо прогревают его. Внутри печь сконструирована таким образом, что микроволны «охватывают» мясо со всех сторон. Если кусок не слишком велик, то количество излучения, входящее до его центра со всех сторон, может оказаться больше, чем излучение, которое поглощает мясо на глубине 1 см с любой из сторон. В результате мясо внутри прожаривается быстрее, чем снаружи. Однако возможен и противоположный эффект, если кусок слишком велик или микроволны проникают в него не равномерно со всех сторон либо недостаточно глубоко.

6.6. Электроны движутся по цепи с относительно небольшой скоростью (порядка 10^{-4} м/с), однако сигнал (изменение электрического поля в проводнике) распространяется почти со скоростью света. Свет «зажигается», когда до лампочки доходит именно сигнал, а не сами электроны. Сигнал может дойти до нити накала за время, равное 1 нс (наносекунда, или 10^{-9} с). Однако, чтобы нить начала светиться видимым светом, электрический ток должен нагреть ее до температуры порядка нескольких тысяч градусов Кельвина. Такая температура обычно достигается через 0,01—0,1 с после включения тока.

6.7. Когда два материала (скажем, подошвы туфель и ковер или кошачий мех и стеклянная палочка) соприкасаются, электроны из одного из них туннелируют через поверхностный энергетический барьер в другой. Если,

например, стекло соприкасается с кошачьим мехом, электроны туннелируют с поверхности стекла на поверхность меха. Поскольку ни тот, ни другой из этих материалов не является хорошим проводником, электроны могут переходить с одной поверхности на другую лишь в тех точках, где материалы плотно соприкасаются. Таким образом, чем больше поверхность контакта между материалами, тем больше будет переходить электронов. При трении одной поверхности о другую площадь контакта значительно возрастает, благодаря чему достигается переход большого числа электронов. Материал, который теряет электроны, заряжается положительно, материал, который принимает их, заряжается отрицательно. Если воздух влажный, избыточный заряд быстро переходит с материала на взвешенные в воздухе капельки воды. Уменьшению заряда могут способствовать также частицы дыма. Если же такого разряда не происходит, то при обычном контакте двух материалов может возникнуть весьма значительная разность потенциалов. Если, например, перед тем как выйти из машины, вы поерзаете на сиденье, то потенциал вашего тела может оказаться на 15 кВ выше потенциала земли.

6.8. Прибор необходимо отрегулировать так, чтобы вытекающие из трубок струйки разбивались на капли примерно на уровне верхних банок. Вначале, когда включают воду, одна банка имеет чуть больший отрицательный заряд, чем другая. Какая

именно из банок имеет больший заряд, определяется чистой случайностью, так как изначальный заряд банок обусловлен космическим излучением или естественной радиоактивностью. Допустим для определенности, что больший отрицательный заряд имеет нижняя левая банка. Тогда, поскольку банки крест-накрест соединены между собой проводами, верхняя правая банка будет также иметь больший отрицательный заряд, чем верхняя левая. Правая струйка, проходя через верхнюю правую банку, поляризуется. Если капли образуются именно на уровне этой банки, то они заряжаются положительно, так как отрицательный заряд отталкивается отрицательно заряженной банкой вверх по струйке. Далее эти положительно заряженные капли падают в нижнюю правую банку, и ее положительный заряд возрастает. Несмотря на то что начальная разность потенциалов между банками ничтожна, в некоторых самодельных капельницах Кельвина удается получить разность потенциалов до 15 кВ.

6.9. Разрыв струйки жидкости на капли впервые объяснил Рэлей. Он показал, что возмущения, возникающие при истечении струйки, порождают волны, распространяющиеся вдоль оси этой струйки, амплитуда которых экспоненциально возрастает до тех пор, пока струйка не разрывается. Когда она разрывается, поверхностное натяжение заставляет жидкость собираться в капли. Если к струйке поднести заряженную палочку, то струйка остается цельной след-

ствие возникающего внутри нее индуцированного разделения электрических зарядов. Предположим, что струйка начала распадаться на капли. Пусть две только что образовавшиеся капли лежат на линии, которая является «продолжением» заряженной палочки. Из-за разделения зарядов, происходящего в каждой капле под влиянием палочки, их обращенные друг к другу стороны окажутся заряженными разноименно, и капли будут взаимно притягиваться. Если заряд палочки велик, то обращенная к ней сторона струйки так сильно притягивается к палочке, что струйка искривляется¹.

¹ В сильном электрическом поле дробление на капли начинается раньше, чем в отсутствие поля. Эффекты дробления струи на капли были исследованы Я. И. Френкелем и Г. П. Вегером в очень изящных опытах (см. Известия АН СССР, серия География и геофизика, 12, 3 (1948), а также [145д]. — *Прим. ред.*

6.10. Электризация проводочных изгородей, самолетов и других металлических объектов под действием быстро летящего снега также объясняется переносом электронов (см. задачу 6.7). Частицы снега отдают электроны металлическим предметам, и те приобретают отрицательный заряд.

6.11. По-видимому, происходит разделение зарядов при сматывании ленты с рулона. Липкий слой приобретает заряд, знак которого противоположен знаку заряда на чистой стороне ленты. Свечение — это электрический

разряд между разделяемыми поверхностями клейкой лентой.

6.12. При просеивании сахарная пудра заряжается в результате процессов, аналогичных описанным в задачах 6.10 и 6.11. Поскольку падающие крупинки сахара имеют заряд одного знака, они отталкиваются друг от друга, и часть сахара отлетает вбок.

6.13. Шины, соприкасаясь с дорогой, приобретают отрицательный заряд. Так как шины вращаются и поэтому заряжаются довольно равномерно, создаваемое ими электрическое поле будет отталкивать электроны металлических рамы и кузова. В результате металлические части автомобиля, близкие к шине, окажутся заряженными положительно. Между какой-либо из этих частей автомобиля и оказавшимся по соседству заземленным или противоположно заряженным предметом может проскочить искра. В большинстве случаев эта искра не опасна. Однако в бензовозе такая искра может воспламенить пары бензина. Раньше к бензовозам прикрепляли волочащиеся по земле цепи, полагая, что они снимают с машины электрический заряд. Действительно, часть электронов стекала бы по этим цепям в землю, но автомобиль не становился бы при этом электрически нейтральным. Напротив, он приобретал положительный заряд, и искры все равно могли возникать.

6.14. Почему при дроблении воды на капли происходит разделение зарядов, пока

окончательно не выяснено. Однако еще в XIX в. Ленар показал, что более крупные капли в брызгах воды заряжены положительно, а капли поменьше — отрицательно. Поскольку большие капли оседают быстрее, в воздухе остаются отрицательно заряженные маленькие капельки, которые создают довольно значительное электрическое поле.

6.15. Влияние электрических зарядов на организм человека пока не получило достаточного объяснения.

6.16. Сила, которая не дает нам провалиться сквозь пол, землю или сквозь ботинки, — это сила электрического отталкивания между атомами соприкасающихся поверхностей (см. также задачу 7.24).

6.17. Слипание порошка может быть обусловлено силами четырех типов. Если диаметр частицы порошка меньше примерно 50 мкм, то важную роль играют Ван-дер-Ваальсовы силы (силы межмолекулярного взаимодействия). Частицы также могут удерживаться вместе кулоновскими силами электростатического притяжения между разноименными зарядами. Во влажном порошке связующую роль играет вода — здесь действуют силы поверхностного натяжения. (Однако если влажность порошка слишком высока, он просто превращается в кашу.) Наконец, если частицы порошка имеют неправильную форму, то их связывает механическое сцепление неровностей на поверхности. В современных научных ис-

следованиях для объяснения наблюдаемых эффектов действие названных сил рассматривается на микроскопическом уровне.

6.18. Слипание пленки и ее прилипание к горлышку сосуда обусловлено статическим электричеством. Например, если в слое пленки, непосредственно прилегающем к металлической стенке, имеется избыток электронов, то этот слой отталкивает электроны металла. Таким образом, прилегающий к пленке участок металла становится положительно заряженным и притягивает пленку. Поскольку пленка плохой проводник, ее статический заряд не уходит в металл. В результате она прилипает к металлу. Статический заряд пленки неизбежно возникает в процессе ее изготовления. Разделение зарядов может происходить и при разматывании рулона: чем быстрее тянуть пленку, тем сильнее она электризуется. Во влажном воздухе заряд быстро уходит с пленки, и она не слипается; по той же причине пленка не прилипает к горлышку мокрого сосуда.

6.19. Краска долларовой купюры содержит соли (повидимому, соли железа), обладающие магнитными свойствами, поэтому доллар притягивается к одному из полюсов магнита.

6.20. Пузырьковый уровень заполнен диамагнитной жидкостью. Когда такую жидкость помещают в магнитное поле, внутри нее создается магнитное поле противоположного направления и она выталкивается из поля. По-

этому пузырек в жидкости приближается к магниту.

6.21. Изменяющийся ток в катушке создает изменяющееся магнитное поле. Это поле возбуждает в кольце ток, магнитное поле которого направлено противоположно магнитному полю катушки. Магнитное поле катушки заставляет кольцо «парить» на катушке.

Когда ток включают, резкий скачок тока в катушке возбуждает в кольце большой ток и соответственно большее магнитное поле. Из-за взаимодействия полей кольцо подпрыгивает.

6.22. Переменное магнитное поле возбуждает токи как в неподвижной медной пластинке, так и в диске. В отсутствие пластинки ток существовал бы только в диске и был бы направлен так, что его магнитное поле вызывало бы отталкивание всего диска от магнита. Однако, когда диск частично экранирован от магнита пластинкой, токи, индуцированные в диске и пластинке, вызывают их взаимное притяжение (магнитное поле одного проводника втягивает другой проводник с током), и диск приходит во вращение.

6.23. Переменное магнитное поле, создаваемое вращающимся магнитом, возбуждает в алюминиевом диске токи, которые в свою очередь создают собственное магнитное поле. При взаимодействии этих магнитных полей возникает момент сил, действующих на диск, который заставляет диск вращаться в том же направлении, что и магнит.

6.24. Почему бы вам самим не построить этот простой прибор и не посмотреть, будет ли он работать? Если магнитное поле достаточно велико, чтобы втащить шарик на наклонную плоскость, то не окажется ли оно достаточно сильным и для того, чтобы не дать шарiku скатиться вниз по желобу?

6.25. Глубина проникновения радиоволн в ионосферу зависит от их длины. Ионосфера прозрачна для очень коротких волн, используемых в телевидении и ЧМ-радиовещании. Более длинных волн, которые применяются для передачи амплитудно-модулированных (АМ) сигналов, отражаются от ионосферы. Поэтому прием передач телевизионной или УКВ ЧМ-станции возможен только на достаточно близком расстоянии, когда принимается либо прямой сигнал станции, либо сигнал, отраженный от окружающих предметов (зданий и т. д.). АМ-станции можно принимать и на значительном расстоянии — в этом случае принимается сигнал, отраженный от ионосферы. При определенных условиях ультракороткие волны также отражаются от ионосферы, и тогда их можно принимать на удивительно большом расстоянии. Такое отражение обусловлено повышенной ионизацией ионосферы во время метеорных дождей или же образованием так называемого E_s -слоя¹, обусловленного, как предполагается, повышением солнечной активности. Степень отражения более длинных волн увеличивается ночью, так как в отсутствие прямого солнечно-

го света ионизация молекул в нижнем слое ионосферы уменьшается. Вследствие большей отражающей способности ионосферы волны распространяются вокруг Земли на более значительное расстояние. Чтобы сигналы разных станций не мешали друг другу, правила, принятые Федеральной комиссией связи, обязывают многие станции снижать ночью мощность своих передатчиков или вообще покидать эфир.

¹ Такой слой в ионосфере образуется нерегулярно на уровне нормального ионизованного слоя. Однако ионизация E_s -слоя превышает ионизацию нормального слоя. E_s -слой возникает в ограниченной области и держится обычно недолго — порядка нескольких часов. — *Прим. ред.*

6.26. Резонансная частота приемного контура радиоприемника зависит от величины емкости конденсатора и индуктивности катушки. Перемещая контакт по катушке, можно изменять ее индуктивность и, следовательно, резонансную частоту контура¹.

¹ Детектор необходим для выделения низкочастотного сигнала, которым модулированы высокочастотные колебания. — *Прим. ред.*

6.27. Сигнал, отраженный от самолета, попадает в антенну вашего телевизора чуть позже, чем прямой сигнал телестанции. На экране телевизора появляется изображение, созданное прямым сигналом, и чуть правее его — более слабое изображение, обусловленное отраженным

сигналом. Слабый «двойник» движется по экрану, поскольку самолет удаляется от вас. Изображение-«призрак» находится правее потому, что электронный луч разворачивает изображение слева направо (если смотреть спереди).

6.28. Антенны АМ-радиостанций расположены вертикально. Если автомобильный приемник принимает прямой сигнал станции, то электрическое поле в этой радиоволне поляризовано вдоль передающей антенны, то есть вертикально. Для того чтобы мощность принимаемого сигнала была максимальна, приемная антенна тоже должна быть вертикальной.

6.29. Появление одной и той же станции УКВ-диапазона в разных участках шкалы объясняется нелинейностью входных характеристик радиоприемника, которая возникает, когда на вход его антенны поступает очень мощный сигнал. Этот эффект носит название перекрестной модуляции. В диапазоне более длинных волн (КВ, СВ, ДВ) АМ-сигнал близкой станции может «забить» сигнал далекой станции, работающей на близкой частоте. И передатчик, и приемник работают в довольно узком частотном диапазоне, но это все-таки не одна частота, а некоторый интервал частот. Предположим, передатчик настроен на частоту 11 000 кГц, однако какая-то доля его мощности может излучаться и на частоте 11 500 кГц. Удаленный приемник не способен усилить слабый сигнал на частоте 11 500 кГц настолько, чтобы его можно

было услышать. Но если близко расположенный приемник настроен на другую станцию, работающую на частоте 11 500 кГц, то ему может мешать паразитный сигнал от первой станции.

6.30. Солнечные электроны низких энергий (порядка сотен электрон-вольт) захватываются плазменным шлейфом с противоположной Солнцу стороны Земли; при этом их энергия увеличивается до нескольких тысяч электрон-вольт, и они входят в атмосферу вблизи магнитных полюсов Земли (которые несколько смещены¹ относительно географических) вдоль силовых линий земного магнитного поля. Эти высокоэнергетические электроны возбуждают при столкновениях молекулы азота и атомы кислорода в некоторой овальной области вокруг магнитных полюсов. Возбужденные атомы кислорода, находящиеся на высоте 100—150 км, излучают яркий зеленый свет. На больших высотах атомарный кислород излучает красный свет. Молекулы азота также излучают красный свет. Эти цвета наблюдаются в овальных областях вокруг магнитных полюсов на геомагнитных широтах около 70°. Поскольку северный геомагнитный полюс находится на территории Канады, полярное сияние наблюдается на юге Канады и на севере США. Области Сибири, имеющие ту же географическую широту, расположены в более низ-

¹ Координаты северного магнитного полюса — 75° с. ш. и 261° в. д.; южного — 66,5° ю. ш. и 140° в. д. — *Прим. перев.*

ких геомагнитных широтах, поэтому там полярные сияния наблюдаются реже.

6.31. При вспышке молнии возникает импульс электромагнитного излучения, который вначале воспринимается в наушниках как щелчок. Часть этих электромагнитных волн идет вверх; в ионосфере они собираются в относительно узкий пучок и затем отклоняются вниз, двигаясь теперь вдоль силовых линий магнитного поля Земли. Когда пучок излучения достигает магнитного полюса, он отражается сильным магнитным полем и вдоль силовой магнитной линии возвращается обратно к месту возникновения волны. Однако не все волны в пучке распространяются с одной скоростью: скорость распространения высокочастотных компонент больше. Поэтому, когда регистрируется возвратившаяся волна, вначале воспринимаются высокие частоты, а затем все более и более низкие. В результате слышен уже не щелчок, а продолжительный свист убывающей частоты.

6.32. При обычном разряде молнии заряды в облаке распределяются следующим образом: в основании облака сосредоточено некоторое количество положительных зарядов, середина облака несет значительный отрицательный заряд, а его вершина — значительный положительный заряд. Вначале возникает разряд между основанием облака и его отрицательно заряженной серединой. При этом электроны переходят в основание

облака. Далее разряд продолжается из нижней части облака вниз в виде ступенчатого лидера, который прыгает скачками порядка 50 м, приостанавливаясь после каждого скачка примерно на 50 мкс, и всякий раз отрицательный заряд перемещается из облака в нижнюю часть оставленного лидером канала. Светится лишь нижняя часть лидера, однако движение на этой и последующих стадиях разряда происходит столь быстро, что мы видим канал светящимся полностью. Лидер движется по ломаной линии, так как он отклоняется под действием положительного заряда, местами сосредоточенного в воздухе. Если этот заряд достаточно велик, то лидер может даже изменить направление движения на горизонтальное.

Когда лидер подходит к земле, электрическое поле около заостренных предметов может достигать такой величины, что происходит электрический пробой и навстречу лидеру устремляется положительный заряд. В области, где они встречаются, возникает яркая вспышка, продолжающаяся, пока отрицательно заряженный лидер не нейтрализуется и электроны не уйдут в землю. Эта ярко светящаяся область движется вверх по каналу лидера и достигает облака. Однако наблюдателю из-за неспособности человеческого глаза следить за столь быстрым движением светящимся кажется весь канал. Движение лидера вниз совершается примерно за 20 мс, а обратный разряд продолжается всего 100 мкс. Свечение исходит от цент-

ральной части канала лидера, диаметр которой, по-видимому, не превышает нескольких сантиметров.

6.33. Электрическое поле Земли, которое существует между отрицательно заряженной земной поверхностью и положительно заряженной верхней атмосферой, могло бы разрядиться примерно менее чем за 5 мин благодаря непрерывной ионизации молекул воздуха под действием космического излучения и естественной радиоактивности Земли. Часть электронов, возникающих в результате ионизации, проходит в верхний слой атмосферы, где (на высоте примерно 50 км) проводимость настолько высока, что этот слой можно считать сферическим проводником. Приходящие сюда электроны нейтрализуют положительный заряд. Соответственно положительные ионы, опускаясь вниз, нейтрализуют отрицательный заряд земной поверхности. Общий ток ионизации составляет примерно 1800 А, поэтому для разряда Земли и верхней атмосферы понадобилось бы лишь несколько минут. Однако этого не происходит, поскольку в результате грозовой активности существует постоянный приток электронов к Земле.

Разность потенциалов между поверхностью Земли и вашим носом действительно могла бы достигать 200 В, но человеческое тело достаточно хорошо проводит электрический ток, поэтому оно имеет примерно одинаковый потенциал.

6.34. Разряд молнии в воз-

дух может оканчиваться в области положительного заряда в воздухе. Ленточная молния наблюдается в тех случаях, когда ветер достаточно силен и перемещает канал молнии, в котором один за другим происходит несколько разрядов. Природа «четочной» молнии пока не выяснена до конца. Такая молния может наблюдаться, когда разряд частично прикрыт дождевыми струями и не ослепляет наблюдателя. В этом случае те участки канала молнии, которые совпадают с направлением зрения наблюдателя, могут быть заметны несколько дольше остальных: поскольку они видны с торца, от них в глаз наблюдателя поступает несколько больше света. Однако не исключено, что четочная молния обусловлена совершенно другими причинами.

6.35. Природа шаровой молнии в настоящее время еще только исследуется, и приведенное здесь объяснение, возможно, ошибочно. По-видимому, наиболее правдоподобной на сегодня представляется гипотеза, согласно которой шаровая молния — это некий сгусток плазмы, получающий энергию от внешнего электромагнитного поля. Какие-то электрические явления во время грозы (молния, коронный разряд) создают начальную ионизацию воздуха или пара (если, например, молния попадает в металлический предмет). Ионизированный газ остается относительно плотным сгустком, так как он в целом электрически нейтрален, но сгусток растет до некоторого равновесного размера, погло-

щая энергию естественного электромагнитного поля. Известно, что такие поля возникают вблизи облаков или поверхности Земли во время сильных гроз. Окружающие сгусток предметы препятствуют распространению радиоволн, в результате образуется стоячая волна, и в пучности такой волны сгусток плазмы может черпать энергию. Эта теория весьма привлекательна хотя бы потому, что в ней предполагается наличие внешнего источника энергии — без такого предположения было бы очень трудно объяснить длительное свечение молнии. Если считать, что вся энергия шаровой молнии заключена внутри нее, и предположить, что эта энергия по величине равна энергии ядерного взрыва соответствующего масштаба, то и в этом случае молния светилась бы не более 0,01 с, а не несколько секунд, как утверждают наблюдавшие ее¹.

¹ Описанный механизм шаровой молнии предложен академиком П. Л. Капицей (см. [158д]), однако такой механизм предполагает наличие очень сильных электромагнитных полей, возникновение и поддержание которых сравнительно маловероятно. Интересная кластерная гипотеза шаровой молнии высказана доктором физико-математических наук И. Стахановым (см. [159д]). В статье [160д] высказываются серьезные соображения в пользу химической природы энергии молнии.— *Прим. ред.*

6.36. Молнии при взрыве водородной бомбы могут возникать в результате разделения зарядов, который происходит, когда гамма-излучение от взрыва ионизирует

молекулы газов воздуха. Лидеры таких разрядов идут, по-видимому, вверх от металлических сооружений, имеющих в местах взрыва. Аналогичные лидеры молний (такая молния ветвится кверху), движущиеся не сверху вниз, как обычно (см. задачу 6.32), а снизу вверх, наблюдались также над небоскребами.

6.37. Когда раскаленная лава попадает в море, вверх поднимаются облака положительно заряженного пара, которые после накопления заряда начинают разряжаться обратно в море. При этом электроны движутся вверх по каналу разряда. При обычном разряде молнии электроны, наоборот, движутся вниз (см. задачу 6.32).

6.38. Образование молний при землетрясениях пока еще не получило объяснения. Недавно было высказано предположение, что такие молнии обусловлены пьезоэлектрическим эффектом в глубинных скальных породах, где распространяется сейсмическая волна. (Пьезоэлектрический эффект — это явление возникновения электрического поля в кристалле под действием деформации. Примером может служить пьезоэлектрический звукосниматель проигрывателя, в котором электрические поля возникают из-за колебаний связанной с кристаллом иглы.) Возможно, обусловленные пьезоэффектом поля действительно могут оказаться достаточными для возникновения электрических разрядов в воздухе. Но эта модель нуждается в дальнейшем изучении.

6.39. Заостренный проводник прикреплялся к верхушке змея для того, чтобы на его острие создавалась достаточная напряженность электрического поля и по проводнику шел ток, который был нужен Франклину для его эксперимента. (Чем острее предмет, тем больше напряженность поля у его острия.) Шелковая лента служила изолятором между экспериментатором и мокрой токопроводящей бечевкой. Ключ использовался как предмет, имеющий заостренные участки, на которых происходил видимый коронный разряд (по ним стекали электроны, поступавшие по бечевке). Часто Франклина изображают проводящим опыты во время грозы. Но он не был настолько безрассуден. Прямое попадание молнии, несмотря на шелковую ленточку, уничтожило бы и змея, и бечевку, и, возможно, самого Франклина. В действительности Франклин запускал змея до начала грозы.

6.40. Молниеотвод предназначен для того, чтобы отводить разряд молнии в землю. Вблизи острия молниеотвода создается достаточно сильное электрическое поле, и отсюда положительный разряд может устремляться навстречу лидеру (см. задачу 6.32). Как только положительный разряд встретится с лидером, электроны по каналу молнии уходят к молниеотводу и по нему — в землю. Таким образом, вероятность попадания молнии в защищаемое сооружение уменьшается. Однако молниеотвод не в состоянии разрядить проходящее над

ним облако настолько, чтобы вообще исключить образование молнии: он производит разряд слишком медленно¹. Помещать источник радиоактивности на конце стержня молниеотвода бессмысленно и даже опасно: разряд молнии может разорвать капсулу с радиоактивным веществом.

¹ Процесс нейтрализации заряда облака благодаря «тихому» разряду с острия молниеотвода происходит главным образом в тех случаях, когда молниеотвод находится на такой высоте от поверхности Земли, которая сравнима с высотой тучи, то есть когда он установлен на небоскребах и высоких телебашнях. — *Прим. ред.*

6.41. Если дерево влажное, ток разряда молнии проходит через воду, и дерево остается невредимым. В сухом дереве ток может пройти в ствол и по древесному соку уйти в землю. При этом сок может нагреваться, испаряться и, расширяясь, «взрывать» дерево. Дуб страдает от молнии чаще, чем другие деревья, так как его кора очень неровная. Если молния ударит в дуб в начале грозы, то может оказаться, что намочить успеет только верхняя часть дерева, тогда как дерево с гладкой корой быстро становится мокрым сверху донизу. Поэтому при ударе молнии дуб может «взорваться», а дерево с гладкой корой — остаться целым.

Лесной пожар возникает в тех случаях, когда в канале молнии происходит несколько разрядов, но в промежутках между основными разрядами в канале продолжает течь ток.

6.42. Высокоочастотный ток молнии не проникает в глубь металлического корпуса автомобиля, самолета и т. д., а течет по поверхности. Поэтому, если только молния не попадет в бак с горючим и не вызовет его взрыва, пассажиры вообще могут не заметить разряда.

6.43. Может оказаться, что водяные капельки в облаках удерживаются существующим внутри облака электрическим полем. При разряде молнии электрическое поле ослабляется и капельки летят вниз, создавая порыв дождя. Затем электрическое поле внутри облака вновь начинает нарастать, и интенсивность дождя снова уменьшается.

6.44. Причиной такой неприятности может быть испарение и соответственно расширение имеющейся на коже влаги. А в остальном вы можете совсем не пострадать, если только ток молнии не проникнет в тело.

6.45. Попадая в землю, ток разряда молнии разветвляется и отчасти расходится по поверхности земли. Если корова стоит так, как показано на рис. 6.45, то значительный ток может ответить в ее передние ноги и затем выйти из тела через задние ноги — корова пострадает от молнии. Если вас застигнет гроза, не ложитесь на землю: при близком разряде молнии между головой и ногами может возникнуть смертельно опасная разность потенциалов. Поскольку стоять тоже опасно, лучше всего присесть на корточки: так и голова

будет достаточно низко, и площадь контакта с землей минимальна. При уменьшении площади контакта с землей снижается и максимально возможная разность потенциалов между разнесенными участками контакта, так что ответвляющийся в тело ток оказывается минимальным.

6.46, 6.48. Огни св. Эльма и свет Анд — это примеры коронного разряда, который возникает, когда электрическое поле вокруг предметов (обычно остроконечных) становится настолько большим, что происходит электрический пробой воздуха. Свет Анд представляет собой особенно сильный коронный разряд, природа которого до конца еще не исследована. Огни св. Эльма наблюдаются также на самолетах, летящих сквозь полосу дождя или снега, — электрический заряд возникает на самолетах по обусловленным причинам, которые были рассмотрены в задачах 6.7, 6.10 и 6.14.

6.47. Когда через тело человека проходит значительный ток, смерть может наступить от внутренних ожогов. Но если одежда и кожа мокрые, то разряд молнии может и не проникнуть в тело: основная часть тока пройдет по слою воды на поверхности кожи. (Мокрые деревья, в которые попадает молния, нередко остаются неповрежденными, см. задачу 6.41.) В этом случае у человека в результате электрического шока могут прекратиться сердечная деятельность и дыхание. Однако вовремя сделанное энергичное

искусственное дыхание быстро возвращает человека к жизни. Нередко человека поражает не прямой удар молнии, а ответвленные по земле токи (см. задачу 6.45) или вторичный разряд от предмета, в который попала молния. Утверждают даже, что большинство жертв молнии погибают только потому, что их слишком рано начинают считать умершими. Поэтому людям при поражении молнией, как и при любом поражении электрическим током, следует немедленно оказывать помощь.

6.48. См. ответ к задаче 6.46.

6.49. Вертушка крутится потому, что воздух вблизи ее острия ионизируется. В сильном электрическом поле образовавшиеся ионы и острие оказываются заряжены одинаково и отталкиваются. Ионизация и возникающее вследствие нее отталкивание происходят независимо от того, как заряжена вертушка — положительно или отрицательно.

6.50. Переменный ток высокого напряжения индуцирует переменный ток в близлежащих металлических предметах. Человек может получить электрический удар, неосторожно прикоснувшись к такому предмету и таким образом заземлив его.

7.1. Какой бы заманчивой ни казалась возможность связи с внеземными цивилизациями, следует достаточно скептически относиться к огромному потоку сообщений о якобы наблюдаемых «летающих тарелках». Если бы они оказались реальны-

ми физическими объектами, то нам пришлось бы усомниться в справедливости некоторых основ физики. «Экранирование» гравитационного поля вряд ли возможно. Если бы, как это описывалось в романе Уэллса, космический корабль можно было экранировать от действия гравитационного поля Земли и на него действовала бы только сила притяжения Луны, то возникающее при этом ускорение оказалось бы ничтожно малым — примерно в миллион раз меньше ускорения свободного падения тела у поверхности Земли. Кроме того, пока нет никаких оснований считать антигравитацию, или экранирование гравитационного поля, возможной.

7.3. По поводу этого парадокса высказывалось немало всевозможных догадок. Его пытались объяснить и конечным радиусом Вселенной, и тем, что красное смещение света (обусловленное доплеровским эффектом и аналогичное доплеровскому смещению частоты звука, см. задачу 1.65) удаленных звезд настолько велико, что этот свет практически перестает существовать. По-видимому, одна из наиболее правдоподобных гипотез появилась недавно [1587]. Согласно этой гипотезе, теория, предполагающая, что все звезды Вселенной светятся одновременно, неверна. Типичное время жизни звезды можно считать равным 10^{10} лет. Хотя это время и кажется очень большим, оно невелико по сравнению с 10^{24} лет — сроком, в течение которого Вселенная может прийти

к термодинамическому равновесию. «Другими словами, излучаемого звездами света недостаточно, чтобы он заполнил все пространство между звездами».

7.4. О природе серебристых облаков до сих пор много спорят. По-видимому, они образованы водой, конденсирующейся и кристаллизующейся на пылевых частицах в низкотемпературном слое атмосферы, расположенном на высоте около 90 км. Пыль может иметь космическое происхождение («звездная пыль»), создаваться кометой при прохождении вблизи Солнца («кометная пыль») или поступать из пояса астероидов. Серебристые облака очень слабые, поэтому их можно видеть только на заходе Солнца, и то лишь потому, что, когда для наземного наблюдателя уже наступили сумерки, облака еще продолжают освещаться лучами Солнца. Волнистая структура облаков объясняется периодическими вариациями плотности и температуры воздуха.

7.5. Я не знаю, как ответить на этот вопрос, и имеющаяся литература тут мало чем может помочь. Попытки подтвердить возможность «водоискательства» малоубедительны, их результаты не выходят за пределы допустимого статистического разброса данных. Они могут убедить лишь того, кто «хочет» быть убежденным. «Водоискательство» будет рассматриваться как сомнительное предприятие до тех пор, пока кому-нибудь не удастся поставить корректный и точный эксперимент, безусловно

указывающий на наличие сигнала и его источник. Например, если «водоискатель» подсознательно регистрирует очень слабое электромагнитное поле, создаваемое текущей водой, то это поле должны зарегистрировать и чувствительные приборы, и их показания должны согласовываться с «ощущениями» водоискателя.

7.6. Снежные волны — это, по-видимому, понижение уровня рыхлого снега, лежащего на структурно слабом слое наста. Аналогичное явление наблюдается иногда при снежных лавинах (см. задачу 3.47).

7.8. Первоначальные (и едва ли серьезные) вычисления Д. Стоуна [1424] показали, что такой прыжок может привести к землетрясению мощностью 4,5 балла по шкале Рихтера. Часть Китая при этом неминуемо будет разрушена. Но если эту сейсмическую волну периодически «подкачивать», то она может произвести разрушения и в других местах. Для того чтобы попасть в резонанс, прыгать придется каждые 53—54 мин — именно за такое время сейсмическая волна огибает Землю. «Обороняющейся» стране придется организовать свои прыжки, волны от которых гасили бы волны, создаваемые прыжками китайцев. Но, поскольку жителей в этой стране меньше, им придется прыгать с соответственно большей высоты. Как утверждает Стоун, чтобы сообщить сейсмическим волнам наибольшую энергию, нужно прыгать, не сгибая ног в коленях. Мне это утверждение

не вполне ясно, поскольку в любом случае энергия, сообщаемая волнам, определяется потенциальной энергией тела человека в поле силы тяжести [1425].

7.9. Молекулы в яичном белке запутаны, как макароны. Когда белок сбивают или нагревают, молекулы расправляются и начинают сильнее притягивать друг друга, поэтому белок становится жестче.

7.10. По видимому, появление такой области сжатия обусловлено притоком клейкой массы к месту отрыва ленты от рулона.

7.11—7.13. Все эти три явления в действительности одинаковы. Я рассмотрю первое из них, а остальные два предлагаю вам объяснить самостоятельно. Побеление песка на пляже впервые объяснил Рейнольдс в 1885 г. Он показал, что объем песка увеличивается, когда на него наступают. До этого песчинки были «упакованы» самым плотным образом. Под действием деформации сдвига, которая возникает под подошвой ботинка, объем, занимаемый песчинками, может лишь увеличиться. В то время как уровень песка поднимается резко, уровень воды может подняться лишь в результате капиллярных явлений, а на это требуется время. Поэтому на дне след ног песок некоторое время оказывается выше уровня воды — он сухой и белый.

7.14. Согласно последним публикациям, уровень радиации в высоко летящих самолетах не представляет

опасности. Повышенная солнечная радиация возникает главным образом в период сильных вспышек, за которыми ведется наблюдение. Более серьезная опасность, как считалось, обусловлена тяжелыми ядрами в космическом излучении. В конце пробега они, попав в тело человека, могут создать дозу облучения до 1000 рад. Для сравнения следует указать, что допустимый уровень облучения для людей, работающих с радиоактивными веществами, составляет 100 рад в неделю. Однако на той высоте, где летают самолеты, поток тяжелых частиц составляет всего несколько процентов от потока в открытом космосе, поэтому особого беспокойства он не вызывает. (Гораздо более серьезной опасности могут подвергаться астронавты, если их биологическая защита окажется недостаточной.) Хотя первичное космическое излучение, по-видимому, не должно волновать пассажиров самолетов, биологическое действие образующихся в атмосфере под его воздействием вторичных нейтронов, протонов низких энергий и альфа-частиц пока еще не выяснено.

7.15. Вспышки, наблюдаемые астронавтами, а также исследователями, которые, работая на ускорителях, могут попасть в пучок заряженных частиц, по-видимому, обусловлены различными причинами. И космические частицы, и частицы в ускорителях способны вызывать внутри глаза черенковское излучение, которое либо прямо возбуждает чувствительные элементы сетчатки, либо

вызывает люминесценцию хрусталика. (Черенковское излучение — это излучение света частицей, движущейся в веществе со скоростью, большей скорости света в этом веществе. Излучение образует «ударную волну», в вершине которой движется частица. Это несколько напоминает ударную волну, создаваемую сверхзвуковым самолетом.) Некоторые вспышки, возможно, связаны с фосфенами (см. задачу 5.121).

7.16. Рентгеновское, инфракрасное и ультрафиолетовое излучения можно использовать для обнаружения нижележащих слоев краски на полотне потому, что различные краски и материалы, используемые в живописи, по-разному отражают эти излучения. Например, при исследовании в инфракрасном свете картины Ван Эйка «Свадьба Арнольфини» был обнаружен оригинальный набросок правой руки Арнольфини, сделанный художником углем по мелованному холсту. Этот набросок был закрыт изображением руки, написанным маслом. На фотографии, сделанной в инфракрасном свете, угольный набросок стал виден, так как уголь хорошо поглощает ИК-излучение, а мел — плохо; это изображение руки на фотографии получилось темным. Под ультрафиолетовыми лучами разные краски по-разному люминесцируют, что позволяет увидеть изменения, которым подвергалась картина.

7.17. Часть энергии частиц и электромагнитного излучения, которые возникают при

ядерном взрыве, поглощается воздухом в непосредственной близости от взрыва; молекулы воздуха возбуждаются или ионизируются и начинают излучать видимый свет. Примерно половина энергии взрыва представляет собой механическую энергию, которая распространяется в виде ударной волны, треть — это энергия электромагнитного излучения (ИК, видимого, УФ, рентгеновского и гамма-излучения), а оставшаяся часть приходится на частицы. Ударная волна сжимает воздух до такой степени, что вследствие нагрева он начинает светиться. Примерно через 10^{-4} с после взрыва температура на поверхности светящегося шара достигает $3 \cdot 10^5$ К и выше. Расширяясь, светящийся шар охлаждается, ударная волна отделяется от него и уже не вызывает свечения воздуха.

7.18. В физике подобный эффект известен, хотя, возможно, Фрэнк Герберт и не знал этого. Если металлическая пластина движется в магнитное поле (например, металлический маятник качается между полюсами подковообразного магнита), то кинетическая энергия пластины расходуется на джоулево нагревание металла. Этот переход энергии в тепло обусловлен тем, что при пересечении пластиной силовых линий магнитного поля внутри нее возбуждаются электрические токи. Когда пластина приближается к полюсам и входит в пространство между ними, число силовых линий, проходящих сквозь нее, увеличивается, а затем, когда пластина выходит отту-

да, уменьшается. Возбуждаемые в пластине токи нагревают ее точно так же, как нагревается электрическим током спираль электроплитки. Таким образом, кинетическая энергия пластины переходит в тепло, и пластина останавливается.

7.19. Прежде трение объясняли неровностями соприкасающихся поверхностей. Современная теория трения отвергает эти представления и рассматривает адгезию («слипание») поверхностей в результате межмолекулярных взаимодействий как основную причину трения. Несмотря на это, во многих учебниках по-прежнему трение описывается как явление, обусловленное только микроскопическими «холмиками» и «впадинками» на соприкасающихся поверхностях.

7.20. Чистый свинец мягок — его можно резать ногтем. В летний день температура нагретой солнцем крыши Вашингтонского собора могла достигать 80° С. При такой температуре свинец начинает течь под действием собственного веса. Менее чистый свинец не настолько мягкий; поэтому новая кровля была сделана из сплава, содержащего 94% свинца и 6% сурьмы. С английскими соборами подобных проблем не возникало: во-первых, в те давние времена свинец был менее чистый, а во-вторых, и летом в Англии не так жарко, как в Вашингтоне.

7.21. Трещины начинаются с микроскопических, порой незаметных дефектов, которые

образуются в материале либо при изготовлении предмета, либо в процессе пользования им. Эти трещины сильно ослабляют структуру материала, так как концентрируют напряжение в вершине трещины. В этом случае напряжения, которые сами по себе недостаточны для того, чтобы нарушить целостность материала, могут способствовать продвижению трещины вглубь (или вдоль) поверхности материала. Иногда трещины увеличиваются в результате коррозии. В трещину могут проникать инородные молекулы, нарушающие связи между молекулами вещества в вершине трещины и образующие соединения с этими молекулами. Если новое соединение занимает больший объем, чем первоначальное, то оно «раздвигает» трещину.

7.22. Коррозия начинается тогда, когда электроны, отдаваемые влажным никелем, туннелируют сквозь окисный слой на поверхности хрома к атомам металла, образующего окисел. В результате никель в месте дефекта медленно растворяется. Скорость этой реакции определяется притоком электронов. Если в хромированной поверхности имеется лишь небольшое количество довольно крупных дефектов, все электроны идут оттуда, никель быстро растворяется, и обнажающееся железо начинает ржаветь. Если же на поверхности много мелких дефектов, то каждый из них отдает небольшое количество электронов, растворение никеля происходит медленнее,

и тогда бампер вашего автомобиля служит дольше.

7.23. Процесс полировки поверхности заключается не в переносе вещества с бугорков во впадины и не в нагреве поверхности. Первого просто не происходит, второе же нежелательно, поскольку при значительном нагреве поверхность может стать волнистой. В процессе полировки удаляется материал с бугорков на полируемой поверхности. При сильном давлении удаляются целые кусочки материала, при слабом — отдельные молекулы. В конце концов бугорки сравниваются с углублениями, и поверхность становится ровной на микроскопическом уровне.

7.24. Липкие вещества прилипают потому, что между их поверхностью и поверхностью другого материала возникают силы молекулярного притяжения. Практически все вещества могут служить клеем, однако большинство из них непригодно для этой цели вследствие каких-то других своих свойств, которые нежелательны для клея. Например, жидкая вода могла бы склеивать, если бы была способна противостоять деформациям сдвига. Клеи чаще всего делают жидкими, что необходимо для обеспечения тесного контакта между клеем и склеиваемыми поверхностями. Чтобы две поверхности склеились, их необходимо приблизить друг к другу на расстояние, не превышающее нескольких ангстрем ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$; такой порядок величины имеют атомы и неболь-

шие молекулы). Большинство твердых поверхностей недостаточно ровны, и поэтому столь тесный контакт возникает лишь между отдельными частями их поверхностей. Жидкий клей заполняет неровности поверхности и обеспечивает требуемый контакт. Существует и другая причина того, что большинство поверхностей, например осколки разбитой чашки, не слипаются, если их сложить вместе. Обычно эти поверхности достаточно грязные. Абсолютно чистые и гладкие поверхности при соприкосновении могли бы самопроизвольно слипнуться. (Во время первых космических полетов это вызывало серьезные опасения.) Такое самопроизвольное слипание можно наблюдать, например, у только что разделенных листочков салюды: если сложить их через несколько секунд после того, как они были разделены, листочки снова слипнутся. Однако, если подержать их разделенными несколько минут, содержащаяся в воздухе пыль загрязнит открытые поверхности, и листочки слипаться не будут.

Литература

1. Spurr R. T. "Frictional Oscillations", *Nature*, **189**, 50 (1961).
2. Bristow J. R. "Kinetic Boundary Friction", *Proc. Roy. Soc. Lond.*, **A 189**, 88 (1947).
3. Rabinowicz E. "Stick and Slip.", *Sci. Amer.*, **194**, 109 (May 1956).
4. Kirkpatrick P. "Batting the Ball", *Am. J. Phys.*, **31**, 606 (1963).
5. Jorgensen T., Jr. "On the Dynamics of the Swing of a Golf Club", *Am. J. Phys.*, **38**, 644 (1970).
6. Graham L. A. "The Dynamics of a Golf Club" in *The Amateur Scientist*, C. L. Stong, ed., *Sci. Amer.*, **210**, 131 (Jan. 1964).
7. Crane, N. R. "Problems for Introductory Physics", *Phys. Teacher*, **7**, 371 (1969).
8. Sutton R. M. "An Introvert Rocket or Mechanical Jumping Bean", *Phys. Teacher*, **1**, 108 (1963).
9. Routh E. J. "Dynamics of a System of Rigid Bodies", Part 1, Dover, New York (1960).
10. Offenbacher E. L. "Physics and the Vertical Jump", *Am. J. Phys.*, **38**, 829 (1970).
11. Kirkpatrick P. "Notes on Jumping", *Am. J. Phys.*, **25**, 614 (1957).
12. Kirkpatrick P. "Bad Physics in Athletic Measurements", *Am. J. Phys.*, **12**, 7 (1944).
13. Heiskanen W. A. "The Earth's Gravity", *Sci. Amer.*, **193**, 164 (Sept. 1955).
14. Osgood W. F. *Mechanics*, Macmillan, New York (1937).
15. Miller J. S. "Observations on a Pile Driver", *Am. J. Phys.*, **22**, 409 (1954).
16. Gray A., Gray J. G. "A Treatise on Dynamics", Macmillan, London (1920).
17. Reid W. P. "Weight of an Hourglass", *Am. J. Phys.*, **35**, 351 (1967).
18. Mellen W. R. "Superball Rebound Projectiles", *Am. J. Phys.*, **36**, 845 (1968).
19. Class of W. G. Harter, "Velocity Amplification in Collision Experiments Involving Superballs", *Am. J. Phys.*, **39**, 656 (1971).
20. Kerwin J. D. "Velocity, Momentum, and Energy Transmission in Chain Collisions", *Am. J. Phys.*, **40**, 1152 (1972).
21. Evans G. "The Prodigious Jump of the Click Beetle", *New Scientist*, **55**, 490 (1972).
22. Fox G. T. "On the Physics of Drag Racing", *Am. J. Phys.*, **41**, 311 (1973).
23. Metzger E. "An Unusual Case of Simple Harmonic Motion", *Am. J. Phys.*, **40**, 1167 (1972).
24. Зоммерфельд А. *Механика*.— М.: ИЛ, 1947.
25. Bayes J. H., Scott W. T. "Billiard-Ball Collision Experiment", *Am. J. Phys.*, **31**, 197 (1963).
26. Routh E. J. *Dynamics of a System of Rigid Bodies*, Advanced Part, Macmillan, London (1930).
27. Мак-Миллан В. Д. *Динамика твердого тела*.— М.: ИЛ, 1951.
28. Williamson C. "Starting an Automobile on a Slippery Road", *Am. J. Phys.*, **11**, 160 (1943).
29. Fountain C. R. "The Physics of Automobile Driving", *Am. J. Phys.*, **10**, 322 (1942).
30. Bothamley F. H. "Vehicle Braking" in *Vehicle Equipment*, J. G. Giles, ed., Iliffe Books, London (1969).
31. Garwin R. L. "Kinematics of an Ultraelastic Rough Ball", *Am. J. Phys.*, **37**, 88 (1969).
32. Strobel G. L. "Matrices and Superballs", *Am. J. Phys.*, **36**, 834 (1968).
33. Byers C. *Cowboy Roping and Rope Tricks*, Dover, New York (1966).
34. Caughy T. K. "Hula-Hoop: An Example of Heteroparametric Excitation", *Am. J. Phys.*, **28**, 104 (1960).
35. Джоунс Д. Е. Х. Почему устойчив велосипед? — *Квант*, 1970, № 12, с. 34.
36. Crabtree H. *An Elementary Treatment of the Spinning Tops and Gyroscopic Motion*, Chelsea, New York (1967).
37. Gray A. *Treatise on Gyrostatics and Rotational Motion*, Dover, New York (1959).
38. Scarborough J. B. *The Gyroscope: Theory and Applications*, Wiley-Interscience, New York (1958).
39. Gordon J. M. "Pedalling Made Perfect", *Engineering*, **211**, 526 (1971).
40. Синг Дж. *Классическая механика*.— М.: Физматгиз, 1963.
41. Wilson S. S. "Bicycle Technology", *Sci. Amer.*, **228**, 81 (Mar. 1973).
42. Haag J. *Oscillatory Motions*, Wadsworth, Calif. (1962).
43. Jones A. T. "Physics and Bicycles", *Am. J. Phys.*, **10**, 332 (1942).
44. Поль Р. В. *Механика, акустика и учение о теплоте*.— М.: Наука, 1971.
45. Sindelar J. "The Physics of the Kayaker's Eskimo Roll", *Am. White-water J.*, **16**, (4) (winter 1971).
46. Jones A. T. "The Skidding Automobile", *Am. J. Phys.*, **5**, 187 (1937).
47. Smith R. C. "Static vs. Spin Balancing of Automobile Wheels", *Am. J. Phys.*, **40**, 199 (1972).
48. Wright E. H., Kirston K. K. "The Amateur Scientist", C. L. Stong, ed., *Sci. Amer.*, **219**, 112 (Aug. 1968); part is contained in Stong C. L. *The Amateur Scientist*, Simon & Schuster, New York (1960), pp. 561—563.
49. Van Riper W. "Amateur Scientist", C. L. Stong, ed., *Sci. Amer.*, **198**, 136 (Apr. 1958).
50. Lyall G., ed. *The War in the Air: The Royal Air Force in World War II* Ballantine Books, New York (1970), p. 287.
51. Зоммерфельд А. *Механика деформируемых сред*.— М.: ИЛ, 1954.
52. *The Way Things Work*, Simon & Schuster, New York (1967).
53. Stong C. L., ed. "The Amateur Scientist", *Sci. Amer.*, **204**, 177 (Apr. 1961).
54. "Photographs of a Tumbling Cat", *Nature*, **51**, 80 (1894).
55. Shonle J. I., Nordick D. L. "The Physics of Ski Turns", *Phys. Teacher*, **10**, 491 (1972).
56. Kofsky I. L. "Yo-Yo Technics in Teaching Kinematics", *Am. J. Phys.*, **19**, 126 (1951).
57. Johnson P. B. "Leaning Tower of Lire", *Am. J. Phys.*, **23**, 240 (1955).
58. Sutton R. M. "A Problem of Balancing," *Am. J. Phys.*, **23**, 547 (1955).

59. Eisner L. "Leaning Tower of the Physical Reviews," *Am. J. Phys.*, **27**, 121 (1959).
60. Bundy F. P. "Stresses in Freely Falling Chimneys and Columns," *J. Appl. Phys.*, **11**, 112 (1940).
61. Jones A. T. "The Falling Chimney," *Am. J. Phys.*, **14**, 275 (1946).
62. Reynolds J. B. "Falling Chimney," *Science*, **87**, 186 (1938).
63. Sutton R. M. "Concerning Falling Chimneys," *Science*, **84**, 246 (1936).
64. Synge J. L., Griffith B. A. *Principles of Mechanics*, 3rd ed., McGraw-Hill, New York (1959).
65. Геесс Ф. Бумеранг.— *Квант*, 1972, № 10, с. 40.
66. Walker G. T. "On Boomerangs," *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.*, **A 190**, 23 (1897).
67. "Boomerang," *Encyclopaedia Britannica*, William Benton, Chicago (1970), vol. 3, pp. 945—946.
68. Marion J. *Classical Dynamics of Particles and Systems*, Academic Press, New York (1965), pp. 348 349.
69. Burns G. P. "Deflection of Projectiles Due to Rotation of the Earth," *Am. J. Phys.*, **39**, 1329 (1971).
70. Muller E. R. "A Note on: 'Deflection of Projectiles Due to Rotation of the Earth,'" *Am. J. Phys.*, **40**, 1045 (1972).
71. Kirkpatrick P. "Effects of Form and Rotation of the Earth upon Ranges of Projectiles," *Am. J. Phys.*, **11**, 303 (1943).
72. McDonald J. E. "The Coriolis Force," *Sci. Amer.*, **186**, 72 (May 1952).
73. Эйнштейн А. Причины образования извилины в руслах рек и так называемый закон Бэра. В кн. «Собрание научных трудов».— М.: Наука, 1967, т. 4, с. 74—77.
74. Bauman R. P. "Visualization of the Coriolis Force," *Am. J. Phys.*, **38**, 390 (1970).
75. Burns J. A. "More on Pumping a Swing," *Am. J. Phys.*, **38**, 920 (1970).
76. Gore B. F. "Starting a Swing from Rest," *Am. J. Phys.*, **39**, 347 (1971).
77. Gore B. F. "The Child's Swing," *Am. J. Phys.*, **38**, 378 (1970).
78. Tea P. L., Jr., Falk H. "Pumping on a Swing," *Am. J. Phys.*, **36**, 1165 (1968).
79. Siegman A. E. "Comments on Pumping on a Swing," *Am. J. Phys.*, **37**, 843 (1969).
80. McMullan J. T. "On Initiating Motion in a Swing," *Am. J. Phys.*, **40**, 764 (1972).
81. Poynting J. H., Thomson J. J. *A Textbook of Physics*, Griffing, London (1920).
82. Jones A. T., Sound D. Van Nostrand, New York (1937).
83. Corben H. C., Stehle P. *Classical Mechanics*, 2nd ed., Wiley, New York (1960), pp. 67—69.
84. Ness D. J. "Small Oscillations of a Stabilized, Inverted Pendulum," *Am. J. Phys.*, **35**, 964 (1967).
85. Blitzer L. "Inverted Pendulum," *Am. J. Phys.*, **33**, 1076 (1965).
86. Phelps F. M., III, Hunter J. H. Jr., "An Analytical Solution of the Inverted Pendulum," *Am. J. Phys.*, **33**, 285 (1965).
87. Kalmus H. P. "The Inverted Pendulum," *Am. J. Phys.*, **38**, 874 (1970).
88. Tomaschek R. *A Textbook of Physics*, Vol. II, Heat and Sound, Blackie & Son, London (1933).
89. Mather K. B. "Why Do Roads Corrugate?" *Sci. Amer.*, **208**, 128 (Jan. 1963).
90. Condon E. U., Condon P. E. "Effect of Oscillations of the Case on the Rate of a Watch," *Am. J. Phys.*, **16**, 14 (1948).
91. Rinehart J. S. "Waterfall-Generated Earth Vibrations," *Science*, **164**, 1513 (1969).
92. Klopsteg P. E. "Physics of Bows and Arrows," *Am. J. Phys.*, **11**, 175 (1943).
93. Leonard R. W. "An Interesting Demonstration of the Combination of Two Linear Harmonic Vibrations to Produce a Single Elliptical Vibration," *Am. J. Phys.*, **5**, 175 (1937).
94. Miller J. S. "The Notched Stick," *Am. J. Phys.*, **23**, 176 (1955).
95. Laird E. R. "A Notched Stick," *Am. J. Phys.*, **23**, 472 (1955).
96. Scott G. D. "Control of the Rotor on the Notched Stick," *Am. J. Phys.*, **24**, 464 (1956).
97. Jacobs J. A. "Note on the Behavior of a Certain Symmetrical Top," *Am. J. Phys.*, **20**, 517 (1952).
98. Synge J. L. "On a Case of Instability Produced by Rotation," *Philosophical Mag. (Series 7)* **43**, 724 (1952).
99. Braams C. M. "On the Influence of Friction on the Motion of a Top," *Physica*, **18**, 503 (1952).
100. Hugenholtz N. M. "On Tops Rising by Friction," *Physica*, **18**, 515 (1952).
101. Fokker A. D. "The Rising Top, Experimental Evidence and Theory," *Physica*, **8**, 591 (1941).
102. Pliskin W. A. "The Tippe Top (Topsy-Turvy Top)," *Am. J. Phys.*, **22**, 28 (1954).
103. Freeman I. M. "The Tippe Top Again," *Am. J. Phys.*, **24**, 178 (1956).
104. Del Camp A. R. "Tippe Top (Topsy-Turnee Top) Continued," *Am. J. Phys.*, **23**, 544 (1955).
105. Braams C. M. "The Tippe Top," *Am. J. Phys.*, **22**, 568 (1954).
106. Johnson F. "The Tippy Top," *Am. J. Phys.*, **28**, 406 (1960).
107. Hart J. B. "Angular Momentum and Tippe Top," *Am. J. Phys.*, **27**, 189 (1959).
108. Stewartson K. "On the Stability of a Spinning Top Containing Liquid," *Fluid Mech.*, **5**, 577 (1959).
109. Перри Д. Вращающийся волчок.— М.— Л.: ОНТИ, 1936.
110. Richardson E. G. *Physical Science in Art and Industry*, 2nd ed., English Univ. Press, London (1946).
111. Goldreich P. "Tides and the Earth-Moon System," *Sci. Amer.*, **226**, 42 (Apr. 1972).
112. Mills B. D., Jr. "Satellite Paradox," *Am. J. Phys.*, **27**, 115 (1959).
113. Bacon R. H. "On the Retardation of a Satellite," *Am. J. Phys.*, **27**, 69 (1959).
114. Rhee J. W. "Simple Derivation of Satellite Paradox," *Am. J. Phys.*, **34**, 615 (1966).
115. Rubin S. in "Amateur Scientist," C. L. Stong, ed., *Sci. Amer.*, **198**, 134 (Apr. 1958).
116. Блитцер Л. Парадоксы спутников.— *Квант*, 1972, № 6, с. 37.
117. Sutton R. M. "Cider from the

- Newtonian Apple," *Am. J. Phys.*, **13**, 203 (1945).
118. Сойер У. У. Прелюдия к математике.— М.: Просвещение, 1972.
119. Routh E. J. *Analytical Statics*, Vol. II, Cambridge Univ. Press, Cambridge (1922), pp. 17—19.
120. Mason B. S. *Roping*, Ronald Press, New York (1940).
121. Chapman S. "Catching a Baseball," *Am. J. Phys.*, **36**, 868 (1968).
122. Chapman S. "Should One Stop or Turn in Order to Avoid an Automobile Collision?" *Am. J. Phys.*, **10**, 22 (1942).
123. Seifert H. S. "The Stop-Light Dilemma," *Am. J. Phys.*, **30**, 216 (1962).
124. Wood A. *The Physics of Music*, University Paperbacks, Methuen, London (1962).
125. Richardson E. G., ed. *Technical Aspects of Sound*, Vol. 1, Elsevier, New York (1953).
126. Richardson E. G. "Mechanical Music Instruments" in Ref. 125, Chapter 18.
127. Wood A. A. *A Textbook of Sound*, Macmillan, New York (1941).
128. Josephs J. J. *The Physics of Musical Sound*, D. Van Nostrand, New Jersey (1967).
129. Bragg W. L., Porter G., eds. *The Royal Institution Library of Science: Physical Sciences*, Elsevier, New York (1970).
130. Andrade E. N. da C. "Sound, Sand, and Smoke: New Light on Old Problems" in Ref. 129, Vol. 9, pp. 297—311.
131. "The Amateur Scientist," *Sci. Amer.*, **194**, 120 (Jan. 1956).
132. Waller M. D. "Interpreting Chladni Figures," *Am. J. Phys.*, **25**, 157 (1957).
133. Jensen H. C. "Production of Chladni Figures," *Am. J. Phys.*, **25**, 203 (1957).
134. Jensen H. C. "Production of Chladni Figures on Vibrating Plates Using Continuous Excitation," *Am. J. Phys.*, **23**, 503 (1955).
135. Pierce W. M. "Chladni Plate Figures," *Am. J. Phys.*, **19**, 436 (1951).
136. Miller J. S. "Some Observations on Chladni Figures," *Am. J. Phys.*, **18**, 534 (1950).
137. Magrab E. B. "Vibration of Plates" in Ref. 140, pp. 81—95.
138. Ramakrishna B. S. "Normal Modes of Vibration of Circular Membranes" in Ref. 140, pp. 115—127.
139. Olmsted D. *An Introduction to Natural Philosophy*, 4th ed., Charles Collins and The Baker and Taylor Co., New York (1891).
140. Albers V. M., ed. *Suggested Experiments for Laboratory Courses in Acoustics and Vibrations*, Pennsylvania State Univ. Press, Univ. Park, Penn. (1972).
141. Tyndall J. *The Science of Sound*, Philosophical Library, New York (1964).
142. Stephens R. W. B., Bate A. E. *Wave Motion and Sound*, Edward Arnold & Co., London (1950).
143. Spandöck F., "Sound Recording" in Ref. 125, pp. 384—385.
144. Bagnold R. A. *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*, Methuen, London (1941).
145. Richardson E. G. *Sound*, 2nd ed., Edward Arnold & Co., London (1935).
146. Bagnold R. A. "The Shearing and Dilatation of Dry Sand and the 'Singing' Mechanism," *Proc. Roy Soc. Lond.*, **A 295**, 219 (1966).
147. Ridgway K., Rupp R. "Whistling Sand of Porth Oer, Caernarvonshire," *Nature*, **226**, 158 (1970).
148. Takahara H. "Frequency Analysis of Singing Sand," *J. Acoust. Soc. Am.*, **39**, 402 (1966).
149. Ridgway K., Scotton J. B. "Whistling Beaches and Seabed Sand Transport," *Nature*, **283**, 212 (1972).
150. Richardson E. G. "Sound and the Weather," *Weather*, **2**, (Part 1), 169 (Part 2), 205 (1947).
151. Тэйлор Ч. А. *Физика музыкальных звуков*.— М.: Легкая промышленность, 1976.
152. Backus J. *The Acoustical Foundations of Music*, W. W. Norton & Co., New York (1969).
153. Schelling J. C. "The Bowed String and the Player," *J. Acoust. Soc. Am.*, **53**, 26 (1973).
154. Freeman I. M. "Acoustic Behavior of a Rubber String," *Am. J. Phys.*, **26**, 369 (1958).
155. Sutton R. M. *Demonstration Experiments in Physics*, McGraw-Hill, New York (1938).
156. Reynolds O. *Papers on Mechanical and Physical Subjects*, Vol. II, Cambridge Univ. Press, Cambridge (1901).
157. Reynolds O. "Experiments Showing the Boiling of Water in an Open Tube at Ordinary Temperatures" in Ref. 156, pp. 578—587.
158. Henderson W. D. *The New Physics in Everyday Life*, Lyons and Carnahan, New York (1935).
159. Брэгг У. *Мир света. Мир звука*.— М.: Наука, 1967.
160. Osborn F. A. *Physics of the Home*, McGraw-Hill, New York (1929).
161. Apfel R. E. "Acoustic Cavitation" in Ref. 140, pp. 202—207.
162. Minnaert M. "On Musical Air-Bubbles and the Sounds of Running Water," *Philosophical Mag., J. Science (Series 7)*, **16**, 235 (1933).
163. Strasberg M. "Gas Bubbles as Sources of Sound in Liquids," *J. Acoust. Soc. Am.*, **28**, 20 (1956).
164. Humphreys W. J. *Physics of the Air*, Dover, New York (1964).
165. Neuberger H. *Introduction to Physical Meteorology*, Pennsylvania State Univ., College of Mineral Industries, Penn. (1957).
166. Plumb R. C. "Squeak, Skid and Glide—The Unusual Properties of Snow and Ice" in "Chemical Principles Exemplified," *J. Chem. Ed.*, **49**, 179 (1972).
167. Watson R. B. "On the Propagation of Sound over Snow," *J. Acoust. Soc. Am.*, **20**, 846 (1948).
168. "Why Knuckles Crack," *Time*, **98**, 45 (Aug. 16, 1971).
169. Urick R. J. "The Noise of Melting Icebergs," *J. Acoust. Soc. Am.*, **50**, 337 (1971).
170. Крауфорд Ф. *Волны. Берклеевский курс физики. Т. 3*.— М.: Наука, 1967.
171. Чедд Г. *Звук*.— М.: Мир, 1975.
172. Young R. W. "Dependence of Tuning of Wind Instruments on Temperature," *J. Acoust. Soc. Am.*, **17**, 187 (1946).
173. Farrell, W. E. D. P. McKenzie, and R. L. Parker, "On the Note Emitted from a Mug while Mixing Instant Coffee," *Proc. Cambridge Phil. Soc.*, **65**, 365 (1969).

174. West F. M. "Change of Pitch in Certain Sounds with Distance," *Nature*, **65**, 129 (1901).
175. Van Gulik D. "Change of Pitch in Certain Sounds with Distance," *Nature*, **65**, 174 (1901).
176. Heyl P. R. "Change of Pitch of Sound with Distance," *Nature*, **65**, 273 (1902).
177. Erskine — Murray. J. "A New Acoustical Phenomena," *Nature*, **107**, 490 (1921).
178. Hartridge H., Rowell H. S., Morton W. B. letters about "A New Acoustical Phenomena," *Nature*, **107**, 586 (1921).
179. Shakespear G. A. "A New Acoustic Phenomena," *Nature*, **107**, 623 (1921).
180. West F. M. "A New Acoustic Phenomena," *Nature*, **107**, 652 (1921).
181. Crawford F. S. "Culvert Whistlers," *Am. J. Phys.*, **39**, 610 (1971).
182. Rinard P. M. "Rayleigh, Echoes, Chirps, and Culverts," *Am. J. Phys.*, **40**, 923 (1972).
183. Lawrence A. *Architectural Acoustics*, Elsevier, New York (1970).
184. Kinsler L., Frey A. R. *Fundamentals of Acoustics*, 2nd ed., Wiley, New York (1962).
185. Stewart G. W., Lindsay R. B. *Acoustics*, D. Van Nostrand Co., New York (1930).
186. Winstanley J. W. *Textbook on Sound*, Longmans, Green and Co., New York (1957).
187. Randall R. H. *An Introduction to Acoustics*, Addison — Wesley, Mass. (1951).
188. Shankland R. S. "Rooms for Speech and Music," *Phys. Teacher*, **6**, 443 (1968).
189. Shankland R. S., Shankland H. K. "Acoustics of St. Peter's and Patriarchal Basilicas in Rome," *J. Acoust. Soc. Am.*, **50**, 389 (1971).
190. Shankland R. S. "Quality of Reverberation," *J. Acoust. Soc. Am.*, **43**, 426 (1968).
191. Shankland R. S. "The Development of Architectural Acoustics," *Am. Scientist*, **60**, 201 (1972).
192. Morse P. M., Ingard K. U. *Theoretical Acoustics*, McGraw-Hill, New York (1968), Sec. 9.5.
193. Purkis H. J. "Room Acoustics and the Design of Auditoria" in Ref. 125, pp. 122—156.
194. Kingsbury H. "Measurement of Reverberation Time" in Ref. 140, pp. 183—186.
195. Ричардсон И. Дж., ред. Некоторые вопросы прикладной акустики. Ультразвук. Гидроакустика.— М.: Воениздат, 1962.
196. См. [195].
197. Sabine W. C. *Collected Papers on Acoustics*, Dover, New York (1964).
198. Стрэтт Дж. В. (лорд Рэлей). Теория звука. В 2-х томах.— М.: ОНТИ, 1940—1944.
199. Sato Y. "Normal Mode Interpretation of the Sound Propagation in Whispering Galleries," *Nature*, **189**, 475 (1961).
200. Rulf B. "Rayleigh Waves on Curved Surfaces," *J. Acoust. Soc. Am.*, **45**, 493 (1969).
201. Keller J. B., Karal F. C., Jr. "Surface Wave Excitation and Propagation," *J. Appl. Phys.*, **31**, 1039 (1960).
202. Dorsey H. G. "Acoustics of Arches," *J. Acoust. Soc. Am.*, **20**, 597 (1948).
203. Jones A. T. "The Echoes at Echo Bridge," *J. Acoust. Soc. Am.*, **20**, 706 (1948).
204. Rayleigh, Lord, "Shadows" in Ref. 129, Vol. 6, pp. 54—61.
205. Raman C. V., Sutherland G. A. "On the Whispering — Gallery Phenomenon," *Proc. Roy. Soc. Lond.*, **100**, 424 (1922).
206. Crawford F. S. "Douglas Fir Echo Chamber," *Am. J. Phys.*, **38**, 1477 (1970).
207. Hall W., Mathews O. M. *Sound*, Edward Arnold & Co., London (1951).
208. Crawford F. S., Jr. "Chirped Handclaps," *Am. J. Phys.*, **38**, 378 (1970).
209. Colby M. Y. *Sound Waves and Acoustics*, Henry Holt, New York (1938).
210. Brown R. C. *Sound*, Longmans, Green and Co., New York (1954).
211. Spinney L. B. *A Textbook of Physics*, 3rd ed., Macmillan, New York (1925).
212. Reynolds O. "On the Refraction of Sound by the Atmosphere" in Ref. 594, pp. 157—169.
213. Stewart G. W. *Introductory Acoustics*, D. Van Nostrand, New York (1937).
214. Ратклифф Дж. А. Физика верхней атмосферы.— М.: Физматгиз, 1963.
215. Ратклифф Дж. А. Введение в физику ионосферы и магнитосферы.— М.: Мир, 1975.
216. Botley C. M. "Abnormal Audibility," *Weather*, **21**, 232 (1966).
217. См. [195].
218. Cox E. F. "Atomic Bomb Blasts," *Sci. Amer.*, **188**, 94 (Apr. 1953).
219. Fleagle R. G., Businger J. A. *An Introduction to Atmospheric Physics*, Academic Press, New York (1963).
220. Юман М. А. Молния.— М.: Мир, 1972.
221. Fleagle R. G. "The Audibility of Thunder," *J. Acoust. Soc. Am.*, **21**, 411 (1949).
222. Stokes G. G. "On the Effect of Wind on the Intensity of Sound," in *Mathematical and Physical Papers*, Vol. IV, Johnson Reprint Corp., New York (1966), pp. 110—111.
223. Tufty B. *1001 Questions Answered about Storms and Other Natural Air Disasters*, Dodd, Mead & Co., New York (1970).
224. Vonnegut B., Moore C. B. "Giant Electrical Storms" in *Recent Advances in Atmospheric Electricity*, Pergamon Press, New York (1959), pp. 399—411.
225. Vonnegut B. "Electrical Theory of Tornadoes," *J. Geophys. Res.*, **65**, 203 (1960).
226. Justice A. A. "Seeing the Inside of a Tornado," *Mon. Weather Rev.*, **58**, 205 (1930).
227. Businger J. A. "Rabelais' Frozen Words and Other Unidentified Sounds of the Air," *Weather*, **23**, 497 (1968).
228. Hunter J. L. *Acoustics*, Prentice-Hall, New Jersey (1962).
229. Urlick R. J. *Principles of Underwater Sound for Engineers*, McGraw-Hill, New York (1967), pp. 100—109, 113—115.
230. Frank P. G., Bergmann P. G.,

- Yaspan A. "Ray Acoustics" in Ref. 233, pp. 65—68.
231. Spitzer L., Jr. "Deep — Water Transmission" in Ref. 233, pp. 89—90.
232. Herring C. "Transmission of Explosive Sound in the Sea" in Ref. 233, pp. 200—206.
233. Bergmann P. G., Yaspan A., eds. *Physics of sound in the Sea, Part 1*, Gordon and Breach Science Publ., New York (1968).
234. Capstick J. W. *Sound*, 2nd ed., Cambridge Univ. Press, Cambridge (1922).
235. Watson F. R. *Sound*, Wiley, New York (1935).
236. Rayleigh, Lord (John William Strutt), "On the Production and Distribution of Sound," *Philosophical Mag.*, **6**, 289 (1903); included in *Scientific Papers, Vol. V*, Cambridge Univ. Press, Cambridge (1912), pp. 126—141.
237. Gulick W. L. *Hearing: Physiology and Psychophysics*, Oxford Univ. Press, New York (1971).
238. Van Bergeijk W. A., Pierce J. R., David W. E., Jr. *Waves and the Ear*, Doubleday Anchor, New York (1960).
239. Members of the Transmission Research Dept., of Bell Telephone Labs, Inc. (Murray Hill, New Jersey), "Speech" in Ref. 125, Chapter 10.
240. Pockman L. T. "The Resonance Frequency of a Trash Can," *Am. J. Phys.*, **15**, 359 (1947).
241. Troke R. W. "Tube — Cavity Resonance," *J. Acoust. Soc. Am.*, **44**, 684 (1968).
242. Benade A. H. "The Physics of Brasses," *Sci. Amer.*, **229**, 24 (July 1973).
243. Seifert H. S. "A Miniature Kundt Tube," *Am. J. Phys.*, **7**, 421 (1939).
244. Hammond H. E. "A Variation of Kundt's Method for the Speed of Sound," *Am. J. Phys.*, **7**, 423 (1939).
245. Brinker B. L. "Preparing Rods for Stroking in the Kundt's Tube Experiment," *Am. J. Phys.*, **18**, 579 (1950).
246. Parsons K. A. "Exciting a Kundt's Tube with a Siren," *Am. J. Phys.*, **21**, 392 (1953).
247. Hammond H. E. "Exciting a Kundt's Tube with a Siren," *Am. J. Phys.*, **21**, 475 (1953).
248. Carman R. A. "Kundt Tube Dust Striations," *Am. J. Phys.*, **23**, 505 (1955).
249. Hastings R. B., Shih Y. — Y. "Experiments with an Electrically Operated Kundt Tube," *Am. J. Phys.*, **30**, 512 (1962).
250. Hastings R. B. "Thermistor Explorations in a Kundt Tube," *Am. J. Phys.*, **37**, 709 (1969).
251. Callaway D. B., Tyzzer F. C., Hardy H. C. "Resonant Vibrations in a Water — Filled Piping System," *J. Acoust. Soc. Am.*, **23**, 550 (1951).
252. Davies H. G., Williams J. E. F. "Aerodynamic Sound Generation in a Pipe," *J. Fluid Mech.*, **32**, 765 (1968).
253. Whitman W. G. *Household Physics*, 3rd ed., Wiley, New York (1939).
254. Fry D. B., Denes P. "The Role of Acoustics in Phonetic Studies" in Ref. 196, pp. 1—22.
255. Taylor G. I. *The Scientific Papers of Sir Geoffrey Ingram Taylor*, G. K. Batchelor, ed., Cambridge Univ. Press, Cambridge, Vol. III (1963), Vol. IV (1971).
256. Jeans J. *Science of Music*, Cambridge Univ. Press, Cambridge (1953).
257. Richardson E. G. "Flow Noise" in Ref. 196, Chapter 3.
258. Chanaud R. C. "Aerodynamic Whistles," *Sci. Amer.*, **222**, 40 (Jan. 1970).
259. Taylor G. I. "The Singing of Wires in a Wind," *Nature*, **113**, 536 (1924); also in Ref. 255, Vol. III, p. 69.
260. Phillips O. M. "The Intensity of Aeolian Tones," *J. Fluid Mech.*, **1**, 607 (1956).
261. Suzuki S. "Aeolian Tones in a Forest and Flowing Cloudlets over a Hill," *Weather*, **13**, 20 (1958).
262. Vonnegut B. "A Vortex Whistle," *J. Acoust. Soc. Am.*, **26**, 18 (1954).
263. Powell A. "On the Edgetone," *J. Acoust. Soc. Am.*, **33**, 395 (1961).
264. Gross M. J. "Underwater Edge Tones," *Acustica*, **9**, 164 (1959).
265. Curle N. "The Mechanics of Edge-Tones," *Proc. Roy. Soc. Lond.*, **A216**, 412 (1953).
266. Powell A. "On Edgetones and Associated Phenomena," *Acustica*, **3**, 233 (1953).
267. Powell A. "Aspects of Edgetone Experiment and Theory," *J. Acoust. Soc. Am.*, **37**, 535 (1965).
268. Chanaud R. C., Powell A. "Some Experiments Concerning the Hole and Ring Tone," *J. Acoust. Soc. Am.*, **37**, 902 (1965).
269. Beavers G. S., Wilson A. "Vortex Growth in Jets," *J. Fluid Mech.*, **44**, 97 (1970).
270. Littler T. S. *The Physics of the Ear*, Pergamon, New York (1965).
271. Culver C. A. *Musical Acoustics*, Blakiston Co., Philadelphia (1941).
272. Helmholtz H. L. F. *Sensations of Tone*, Dover, New York (1954).
273. Olson D. "Musical Combination Tones and Oscillations of the Ear Mechanism," *Am. J. Phys.*, **37**, 730 (1969).
274. Jones A. T. "The Discovery of Difference Tones," *Am. J. Phys.*, **3**, 49 (1935).
275. Williamson C. "Demonstration of Subjective Harmonics," *Am. J. Phys.*, **21**, 316 (1953).
276. Bragg W. "Combination Tones in Sound and Light" in Ref. 129, Vol. 10, pp. 404—413.
277. Smoorenburg G. F. "Combination Tones and Their Origin," *J. Acoust. Soc. Am.*, **52**, 615 (1972).
278. Smoorenburg G. F. "Audibility Region of Combination Tones," *J. Acoust. Soc. Am.*, **52**, 603 (1972).
279. Wilson J. P., Johnstone J. R. "Basilar Membrane Correlates of the Combination Tone $2f_1 - f_2$," *Nature*, **241**, 206 (1973).
280. Novick A. "Echolocation in Bats: Some Aspects of Pulse Design," *Am. Scientist*, **59**, 198 (1971).
281. Simmons J. A. "Echolocation in Bats: Signal Processing of Echoes for Target Range," *Science*, **171**, 925 (1971).
282. Aidley D. J. "Echo Intensity in Rango Estimation by Bats," *Nature*, **224**, 1330 (1969).
283. Griffin D. R. *Echoes of Bats and Men*, Anchor Books, Doubleday, New York (1959).
284. Griffin D. R. "More about Bat 'Radar,'" *Sci. Amer.*, **199**, 40 (July 1958).

285. MacLean W. R. "On the Acoustics of Cocktail Parties," *J. Acoust. Soc. Am.*, **31**, 79 (1959).
286. Mitchell O. M. M., Ross C. A., Yates G. H. "Signal Processing for a Cocktail Party Effect," *J. Acoust. Soc. Am.*, **50**, 656 (1971).
287. Wilson H. A. "Sonic Boom," *Sci. Amer.*, **206**, 36 (Jan. 1962).
288. Cailson H. W., McLean F. E. "The Sonic Boom," *Internat. Sci. Tech.* (Jul. 1966), p. 70.
289. Cox E. F., Plagge H. J., Reed J. W. "Meteorology Directs Where Blast Will Strike," *Bul. Am. Met. Soc.*, **35**, 95 (1954).
290. Pack D. H. "Simplification of Method," *Bul. Am. Met. Soc.*, **39**, 364 (1958).
291. Nicholls J. M. "Meteorological Effects on the Sonic Bang," *Weather*, **25**, 265 (1970).
292. Carlson H. W., Maglieri D. J. "Review of Sonic — Boom Generation Theory and Prediction Methods," *J. Acoust. Soc. Am.*, **51**, 675 (1972).
293. Reed J. W. "Atmospheric Focusing of Sonic Booms," *J. Appl. Met.*, **1**, 265 (1962).
294. Nicholls J. M. "A Note on the Calculation of 'Cut — Off' Mach Number," *Met. Mag.*, **100**, 33 (1971).
295. Hayes W. D. "Sonic Boom" in *Annual Review of Fluid Mechanics*, Vol. 3, M. Van Dyke, W. G. Vincenti, and J. V. Wehausen, eds. *Annual Reviews, Calif.* (1971), pp. 269—290.
296. Nicholls J. M., James B. F. "The Location of the Ground Focus Line Produced by a Transonically Accelerating Aircraft," *J. Sound Vibration*, **20**, 145 (1072).
297. Ribner H. S., "Supersonic Turns without Superbooms," *J. Acoust. Soc. Am.*, **52**, 1037 (1972).
298. Pierce A. D., Maglieri D. J. "Effects of Atmospheric Irregularities on Sonic — Boom Propagation," *J. Acoust. Soc. Am.*, **51**, 702 (1972).
299. Viemeister P. E. *The Lightning Book*, MIT Press, Cambridge, Mass. (1972).
300. Malan D. J. *Physics of Lightning*, English Universities Press, London (1963).
301. Шотланд Б. Полеги молнии.— М.: Гидрометеиздат, 1970.
302. Remillard W. J. "The History of Thunder Research," *Weather*, **16**, 245 (1961).
303. Colgate S. A., McKee C. "Electrostatic Sound in Clouds and Lightning," *J. Geophys. Res.*, **74**, 5379 (1969).
304. Holmes C. R., Brook M., Krehbiel P., McCrory R. "On the Power Spectrum and Mechanism of Thunder," *J. Geophys. Res.*, **76**, 2106 (1971).
305. Jones D. L., Goyer G. G., Plooster M. N. "Shock Wave from a Lightning Discharge," *J. Geophys. Res.*, **73**, 3121 (1968).
306. Jones A. T. "Secondary Shock Waves and an Unusual Photograph," *Am. J. Phys.*, **15**, 57 (1947).
307. Saunders F. A. "Visible Sound Waves," *Science*, **52**, 442 (1920).
308. "A Solar Halo Phenomenon," *Nature*, **154** (1944): G. H. Archenthal, p. 433; V. Vand, p. 517; R. Holdsworth, p. 517.
309. Maxim H. P. "The Whiplash Crack and Bullet Sound Waves," *Sci. Amer.*, **113**, 231 (1915).
310. Benade A. H. "The Physics of Wood Winds," *Sci. Amer.*, **203**, 144 (Oct. 1960).
311. "Roar in Our Ears," *Phys. Teacher*, **4**, 46 (Jan. 1966).
312. Bekey G., von. "The Ear," *Sci. Amer.*, **197**, 66 (Aug. 1957).
313. Craig R. A. *The Upper Atmosphere: Meteorology and Physics*, Academic Press, New York (1965).
314. Loose T. C. "Champagne Recompression" in "Chemical Principles Exemplified," R. C. Plumb, ed. *J. Chem. Ed.*, **48**, 154 (1971).
315. Hateley R. J. "A Footnote to the Champagne Recompression Exemplum of Henry's Law" in "Chemical Principles Exemplified," R. C. Plumb, ed., *J. Chem. Ed.*, **48**, 837 (1971).
316. Nason E. H. *Introduction to Experimental Cookery*, McGraw — Hill, New York (1939).
317. Avery M. *Household Physics*, Macmillan, New York (1946).
318. Keene E. S. *Mechanics of the Household*, McGraw — Hill, New York (1918).
319. Lawrence E. N. "Advances in Spelaeo — Meteorology," *Weather*, **27**, 252 (1972).
320. Folsom F. *Exploring American Caves*, Collier Books, New York (1962), pp. 202, 275—276.
321. Chapin E. K. "The Strange World of Surface Film," *Phys. Teacher*, **4**, 271 (1966).
322. Бойс Ч. В. Мыльные пузыри. М.— Л.: Детгиздат, 1937.
323. Schenck H., Jr. "Physics and Physiology in Diving Decompression," *Am. J. Phys.*, **21**, 277 (1953).
324. Dodd L. E. "Physics of Deep — Sea Diving," *Am. J. Phys.*, **8**, 181 (1940).
325. Schenck H., Jr. "Emergency Ascent of an Undersea Diver from Great Depths," *Am. J. Phys.*, **23**, 58 (1955).
326. Taylor H. J. "Underwater Swimming and Diving," *Nature*, **180**, 883 (1957).
327. Cooke E. D., Baranowski C. "Scuba Diving and the Gas Laws" in "Chemical Principles Exemplified," R. C. Plumb, ed. *J. Chem. Ed.*, **50**, 425 (1973).
328. Cooperman E. M. et al. "Mechanism of Death in Shallow — Water Scuba Diving," *Canadian Medical Assoc. J.*, **99**, 1128 (1968).
329. Weld L. D. *A Textbook of Heat*, Macmillan, New York (1948).
330. Allen H. S., Maxwell R. S. *A Textbook of Heat*, Part I, Macmillan, London (1939).
331. Nelkon M. *Heat*, Blackie & Son, London (1949).
332. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. В 10-ти томах.— М.: Мир, 1965—1967, 1976—1978.
333. Brown J. B. "Thermodynamics of a Rubber Band," *Am. J. Phys.*, **31**, 397 (1963).
334. Hayward R. in "Amateur Scientist," *Sci. Amer.*, **194**, 154 (May 1956).
335. Elliott D. R., Lippmann S. A. "The Thermodynamics of Rubber at Small Extensions," *J. Appl. Phys.*, **16**, 50 (1945).
336. Carroll H. B., Eisner M., Henson R. M. "Rubber Band Experiment in Thermodynamics," *Am. J. Phys.*, **31**, 808 (1963).
337. Paldy L. G. "Rubber Bands and Cryogenics," *Am. J. Phys.*, **32**, 388 (1964).
338. Knight C. A. *The Freezing of*

- Supercooled Liquids, D. Van Nosttrand, New Jersey (1967).
339. Reese H. M. "Freezing in Water Pipes," *Am. J. Phys.*, **19**, 125 (1951).
340. Welander P. "Note on the Self — Sustained Oscillations of a Simple Thermal System," *Tellus*, **9**, 419 (1957).
341. Plumb R. C. "Tire Inflation Thermodynamics" in "Chemical Principles Exemplified," *J. Chem. Ed.*, **48**, 837 (1971).
342. Batt R. "Pop! Goes the Champagne Bottle Cork" in "Chemical Principles Exemplified," Plumb R. C., ed. *J. Chem. Ed.*, **48**, 75 (1971).
343. Зоммерфельд А. Термодинамика и статистическая физика.— М.: ИЛ, 1955.
344. Landsberg H. E. *Weather and Health*. Anchor Books, Doubleday, New York (1969).
345. Thomas T. M. "Some Observations on the Chinook 'Arch' in Western Alberta and North — Western Montana." *Weather*, **18**, 166 (1963).
346. Brinkmann W. A. R. "What Is a Foehn?" *Weather*, **26**, 230 (1971).
347. Riehl H. "An Usual Chinook Case," *Weather*, **26**, 241 (1971).
348. Holmes R. M., Hage K. D. "Airborne Observations of Three Chinook — Type Situations in Southern Alberta," *J. Appl. Met.*, **10**, 1138 (1971).
349. "Curing an Ill Wind." *Time*, **97**, 73 (June 14, 1971).
350. McClain E. P. "Synoptic Investigation of a Typical Chinook Situation in Montana," *Bul. Am. Met. Soc.*, **33**, 87 (1952).
351. Cook A. W., Topil A. G. "Some Examples of Chinooks East of the Mountains in Colorado," *Bul. Am. Met. Soc.*, **33**, 42 (1952).
352. Glenn C. L. "The Chinook," *Weatherwise*, **14**, 175 (1961).
353. Oki M., Schwad G. M., Stevenson P. E., Plumb R. C. "Chinook Winds — The Foehn Phenomenon" in "Chemical Principles Exemplified," *J. Chem. Ed.*, **48**, 154 (1971).
354. Ives R. L. "Weather Phenomena of the Colorado Rockies," *J. Franklin Institute*, **226**, 691 (1938).
355. Pedgley D. E. "Weather in the Mountains," *Weather*, **22**, 266 (1967).
356. Virgo S. E. "Hazards of the Foehn Wind in Switzerland," *Weather*, **21**, 306 (1966).
357. Thambyahpillay G. "The Kachchan — a Foehn Wind in Ceylon," *Weather*, **13**, 107 (1958).
358. Dordick I. "The Influence of Variations in Atmospheric Pressure upon Human Beings," *Weather*, **13**, 359 (1958).
359. Plumb R. C. "The Convertible Effect" in "Chemical Principles Exemplified," *J. Chem. Ed.*, **49**, 285 (1972).
360. Wood E. *Science for the Airplane Passenger*, Houghton Mifflin Co., Boston (1968).
361. Scorer R., Wexler H. *Cloud Studies in Colour*, Pergamon Press, New York (1967).
362. Scorer R. *Clouds of the World*, Stackpole Books, Harrisburg, Pennsylvania (1972).
363. Tricker R. A. R. *The Science of the Clouds*, American Elsevier, New York (1970).
364. Scorer R. S. *Natural Aerodynamics*, Pergamon Press, New York (1958).
365. Sartor J. D. "Clouds and Precipitation," *Phys. Today*, **25**, 32 (Oct. 1972).
366. Scorer R. S. "Lee Waves in the Atmosphere," *Sci. Amer.*, **204**, 124 (Mar. 1961).
367. Ludlam F. H. "Hill — Wave Cirrus," *Weather*, **7**, 300 (1952).
368. Scorer R. S. "Forecasting the Occurrence of Lee Waves," *Weather*, **6**, 99 (1951).
369. Monteith J. L. "Lee Waves in Wester Ross," *Weather*, **13**, 227 (1958).
370. Wallington C. E. "An Introduction to Lee Waves in the Atmosphere," *Weather*, **15**, 269 (1960).
371. Glasstone S. *The Effects of Nuclear Weapons*, U. S. Atomic Energy Commission (June 1957).
372. Sutton O. G. "The Atom Bomb Trial as an Experiment in Convection," *Weather*, **2**, 105 (1947).
373. Richards J. M. "The Effect of Wind Shear on a Puff," *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, **96**, 702 (1970).
374. "Fallstreak Holes," *Weather*, **19**, 90 (1964).
375. Ludlam F. H. "Fall — Streak Holes," *Weather*, **11**, 89 (1956).
376. Brunt D. "Patterns in Ice and Cloud," *Weather*, **1**, 184 (1946).
377. Kinney J. R. "Hole-in-Cloud," *Bul. Am. Met. Soc.*, **49**, 990 (1968).
378. Johnson H. M., Holle R. L. "Observations and Comments on Two Simultaneous Cloud Holes over Miami," *Bul. Am. Met. Soc.*, **50**, 157 (1969).
379. Photographs and comments on hole — in — cloud: *Weatherwise*, **21**, cover photo (Aug. 1968); p. 194 (Oct. 1968); p. 238 (Dec. 1968); **22**, p. 19 (Feb. 1969).
380. Larmore L., Hall F. F., Jr. "Optics for the Airborne Observer," *J. Soc. Photo — Optical Instrumentation Engineers*, **9**, 87 (Feb. — Mar. 1971).
381. Scorer R. S., Davenport L. J. "Contrails and Aircraft Downwash," *J. Fluid Mech.*, **43**, 451 (1970).
382. Subrahmanyam V. P., Nicholson G. "Contrail Shadows," *Weather*, **22**, 244 (1967).
383. Wallington C. E. "Distrail in a Wave Cloud," *Weather*, **22**, 454 (1967).
384. Dunning H. H., La Seur N. E. "An Evaluation of Some Condensation Trail Observations," *Bul. Am. Met. Soc.*, **36**, 73 (1955).
385. Appleman H. "The Formation of Exhaust Condensation Trails by Jet Aircraft," *Bul. Am. Met. Soc.*, **34**, 14 (1953).
386. Scorer R. S. "Condensation Trails," *Weather*, **10**, 281 (1955).
387. Brewer A. W. "Condensation Trails," *Weather*, **1**, 34 (1946).
388. Byers H. R. *General Meteorology*, McGraw — Hill, New York (1959).
389. McDonald J. E. "Homogeneous Nucleation of Vapor Condensation. I. Thermodynamic Aspects," *Am. J. Phys.*, **30**, 870 (1962); "II. Kinetic Aspects," **31**, 31 (1963).
390. Monahan E. C. "Sea Spray and Whitecaps," *Oceanus*, **14**, 21 (Oct. 1968).
391. Mann C. R., Twiss G. R. *Physics*, Scott, Foresman and Co., Chicago (1910).
392. Brown S. *Count Rumford: Physicist Extraordinary*, Anchor Books, Doubleday, New York (1962).

393. Wilson M. "Count Rumford," *Sci. Amer.* **203**, 158 (Oct. 1960).

394. Achenbach P. R. "Physics of Chimneys," *Phys. Today*, **2**, 18 (Dec. 1949).

395. Turner J. S. "A Comparison between Buoyant Vortex Rings and Vortex Pairs," *J. Fluid Mech.*, **7**, 419 (1960).

396. Lilly D. K. "Comments on Case Studies of a Convective Plume and a Dust Devil," Kaimal J. C. Businger J. A. "Reply," *J. Appl. Met.*, **10**, 590 (1971).

397. Birely E. W., Hewson E. W. "Some Restrictive Meteorological Conditions to be Considered in the Design of Stacks," *J. Appl. Met.*, **1**, 383 (1962).

398. Csanady G. T. "Bent — Over Vapor Plumes," *J. Appl. Met.*, **10**, 36 (1971).

399. Триккер Р. Бор, прибой, волнение и корабельные волны. — Л.: Гидрометеоиздат, 1969.

400. Corrsin S. "Turbulent Flow," *Am. Scientist*, **49**, 300 (1961).

401. Whipple F. J. W. "Modern Views on Atmospheric Electricity," *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, **64**, 199 (1938).

402. Turnbull D. "The Undercooling of Liquids," *Sci. Amer.*, **212**, 38 (Jan. 1965).

403. Chalmers B. "How Water Freezes," *Sci. Amer.*, **200**, 144 (Feb. 1959).

404. Mason B. J. "The Growth of Snow Crystals," *Sci. Amer.*, **204**, 120 (Jan. 1961).

405. Kell G. S. "The Freezing of Hot and Cold Water," *Am. J. Phys.*, **37**, 564 (1969).

406. Deeson E. "Cooler — Lower Down," *Phys. Ed.*, **6**, 42 (1971).

407. Firth I. "Cooler?" *Phys. Ed.*, **6**, 32 (1971).

408. Mpeba E. B., Osborne D. G. "Cool?" *Phys. Ed.*, **4**, 172 (1969).

409. Ahtee M. "Investigation into the Freezing of Liquids," *Phys. Ed.*, **4**, 379 (1969).

410. Wray E. W. "Cool Origins," *Phys. Ed.*, **6**, 385 (1971).

411. Letters, *New Scientist*, **42**, 655—656 (1969); **43**, 89, 158, 662 (1969); **44**, 205 (1969); **45**, 225 (1970).

412. Tilley D. E., Thumm W. College

Physics, Cummings, California (1971).

413. Milikan R. A., Gale H. G., Pyle W. R. *Practical Physics*, Ginn, Boston (1920).

414. Pounder E. R. *The Physics of Ice*, Pergamon Press, New York (1965).

415. Plasschaert J. H. M. "Weather and Avalanches," *Weather*, **24**, 99 (1969).

416. LaChapele E. R. "The Control of Snow Avalanches," *Sci. Amer.*, **214**, 92 (Feb. 1966).

417. Atwater M. M. "Snow Avalanches," *Sci. Amer.* **190**, 26 (Jan. 1954).

418. Stearns H. O. *Fundamentals of Physics and Applications*, Macmillan, New York (1956).

419. Reynolds O. "On the Slipperiness of Ice" in Ref. 156, nn. 734—738.

420. Pupezin J., Jancso G. Van Hook W. A. "The Vapor Pressure of Water: A Good Reference System?" *J. Chem. Ed.*, **48**, 114 (1971); see footnote 4.

421. Робертс Дж. Теплота и термодинамика. — М. — Л.: ГТТИ, 1960.

422. Plumb R. C. "Sliding Friction and Skiing" in "Chemical Principles Exemplified," *J. Chem. Ed.*, **49**, 830 (1972).

423. Adamson A. W. *Physical Chemistry of Surfaces*, Wiley — Interscience, New York (1960), pp. 335—337.

424. Bowden F. P., Tabor D. *The Friction and Lubrication of Solids*, Oxford Clarendon Press, Oxford (1950) pp. 66—71.

425. Кинджери У. Д. Лед и снег. — М.; Мир, 1966.

426. Glenn H. T. *Glenn's Auto Repair Manual*, Chilton Books, Philadelphia (1967), p. 214.

427. Thumm W., Tilley D. E. *Physics in Medicine*, Cummings, California (1972).

428. Millington R. A. "Physiological Responses to Cold," *Weather*, **19**, 334 (1964).

429. Steadman R. G. "Indices of Windchill of Clothed Persons," *J. Appl. Met.*, **10**, 674 (1971).

430. Plumb R. C. "Faster Dinner via Molecular Potential Energy" in "Chemical Principles Exemplified," *J. Chem. Ed.*, **49**, 706 (1972).

431. Eastman G. Y. "The Heat Pipe," *Sci. Amer.*, **218**, 38 (May 1968).

432. Haggin J. "Heat Pipes," *Chemistry*, **46**, 25 (Jan. 1973).

433. Plymb R. C. "Physical Chemistry of the Dunking Duck," *J. Chem. Ed.*, **50**, 213 (1973).

434. Gaines J. L. "Dunking Bird," *Am. J. Phys.*, **27**, 189 (1959).

435. Miller J. S. "Physics of the Dunking Duck," *Am. J. Phys.*, **26**, 42 (1958).

436. Kolb K. B. "Reciprocating Engine," *Phys. Teacher*, **4**, 121 (1966).

437. Frank D. L. "The Drinking Bird and the Scientific Method," *J. Chem. Ed.*, **50**, 211 (1973).

438. Hurst G. W. "Frost: Aberystwyth 1967 Symposium," *Weather*, **22**, 445 (1967).

439. Bainbridge J. W. "Stocking Northumbrian Icehouses: An Exercise in Relating Climate to History," *Weather*, **28**, 68 (1973).

440. Вайскопф В. Физика в двадцатом столетии. — М.: Атомиздат, 1977; Современная физика в элементарном изложении. УФН, 1971, 103, с. 155.

441. Barton A. W. *A Textbook on Heat*, Longmans, Green, and Co., New York (1935), pp. 131—133.

442. Leidenfrost J. G. "On the Fixation of Water in Diverse Fire," *Internat. J. Heat Mass Transfer*, **9**, 1153 (1966).

443. Gottfried B. S., Lee C. J., Bell K. J. "The Leidenfrost Phenomenon: Film Boiling of Liquid Droplets on a Flat Plate," *Internat. J. Heat Mass Transfer*, **9**, 1167 (1966).

444. Hickman K. D. "Floating Drops and Boules," *Nature*, **201**, 985 (1964).

445. Hall R. S., Board S. J., Clare A. J., Duffey R. B., Playle T. S., Poole D. H. "Inverse Leidenfrost Phenomenon," *Nature*, **224**, 266 (1969).

446. Holter N. J., Glasscock W. R. "Vibrations of Evaporating Liquid Drops," *J. Acoust. Soc. Am.*, **24**, 682 (1952).

447. Gaddis V. H. *Mysterious Fires and Lights*, David McKay Co., Inc., New York (1967), pp. 133—155.

448. Photos, *National Geographic Mag.*, **114**, 543—545 (1958); **129**, 482—483 (1966).

449. Gibson W. *The Master Magicians*, Doubleday, New York (1966), p. 204.
450. Rinehart J. S. "Old Faithful Geyser," *Phys. Teacher*, **7**, 221 (1969).
451. Fournier R. O. "Old Faithful: A Physical Model," *Science*, **163**, 304 (1969).
452. Muffler L. J. P., White D. E., Truesdell A. H. "Hydrothermal Explosion Craters in Yellowstone National Park," *Geol. Soc. Am. Bul.* **82**, 723 (1971).
453. Прандтль Л. *Гидромеханика*.— М.: ИЛ, 1951.
454. Mackay R. S. "Boat Driven by Thermal Oscillations," *Am. J. Phys.*, **26**, 583 (1958).
455. Finnie I., Curl R. L. "Physics in a Toy Boat," *Am. J. Phys.*, **31**, 289 (1963).
456. Miller J. S. "Physics in a Toy Boat," *Am. J. Phys.*, **26**, 199 (1958).
457. Baker J. G. "Self — Induced Vibrations," *Trans. Am. Soc. Mechanical Engineers*, **55**, APM — 55—2 (1933), pp. 5—13.
458. Satterly J. "Casual Observations on Milk, Pickled Beet — Root, and Dried — Up. Puddles," *Am. J. Phys.*, **24**, 529 (1956).
459. Kelley J. B. "Heat, Cold and Clothing," *Sci. Amer.*, **194**, 109 (Feb. 1956).
460. Fanger P. O. *Thermal Comfort*, Danish Technical Press, Copenhagen (1970).
461. Cowles R. B. "Black Pigmentation: Adaptation for Concealment or Heat Conservation," *Science*, **158**, 1340 (1967).
462. Рачлис Х. *Физика в ванне*.— М.: Мир, 1972.
463. Irving L. "Human adaptation to Cold," *Nature*, **185**, 572 (1960).
464. Irving L. "Adaptations to Cold," *Sci. Amer.*, **214**, 94 (Jan. 1966).
465. Mazess R. B., Larsen R. "Responses of Andean Highlanders to Night Cold," *Internat. J. Biometeorology*, **16**, 181 (1972).
466. Henderson S. T. *Daylight and Its Spectrum*, American Elsevier, New York (1970).
467. Frisken W. R. "Extended Industrial Revolution and Climate Change," *EOS, Trans. Am. Geophys. Union*, **52**, 500 (1971).
468. Lee R. "The 'Greenhouse' Effect," *J. Appl. Met.*, **12**, 556 (1973).
469. Wood R. W. "Note on the Theory of the Greenhouse," *Philosophical Mag. (Series 6)*, **17**, 319 (1909).
470. Hoyle F. *The Black Cloud*, Perennial Library, Harper & Row, New York (1957).
471. Bedford E. A. *General Science*, Allyn and Bacon, New York (1921).
472. Stong C. L., ed. "The Amateur Scientist," *Sci. Amer.*, **216**, 128 (Jan. 1967).
473. Peterson E., Damman A. W. H. "Convection Plumes from *Ulmus americana* L.," *Science*, **148**, 392 (1965).
474. Ward D. B., Beckner J. "Convection Plumes from Trees," *Science*, **149**, 764 (1965).
475. Hackman R. "Convection Plumes from Trees," *Science*, **149**, 764 (1965).
476. Drapeau R. E. "Convection Plume-Like Phenomenon," *Science*, **150**, 509 (1965).
477. Rigby M. "Convection Plumes and Insects," *Science*, **150**, 783 (1965).
478. Corbet P. S., Downes J. A. "Convection Plumes from Trees," *Science*, **150**, 1629 (1965).
479. Steyskal C. "Convection Plumes from Trees," *Science*, **150**, 1629 (1965).
480. Wiersma J. H. "Convection Plumes and Insects," *Science*, **152**, 387 (1966).
481. Mason D. T. "Density — Current Plumes," *Science*, **152**, 354 (1966).
482. Plumb R. C. "Knowing Some Thermodynamics Can Save a Life" in "Chemical Principles Exemplified," *J. Chem. Ed.*, **49**, 112 (1972).
483. Chandler T. J. "City Growth and Urban Climates," *Weather*, **19**, 170 (1964).
484. Lowry W. P. *The Climate of Cities*, "Sci. Amer.", **217**, 15 (Aug. 1967).
485. Hutcheon R. J., Johnson R. H., Lowry W. P., Black C. H., Hadley D. "Observations of the Urban Heat Island in a Small City," *Bul. Am. Met. Soc.*, **48**, 7 (1967).
486. Preston — Whyte R. A. "A Spatial Model of an Urban Heat Island," *J. Appl. Met.*, **9**, 571 (1970).
487. Olfe D. B., Lee R. L., "Linearized Calculations of Urban Heat Island Convection Effects," *J. Atmos. Sci.*, **28**, 1374 (1971).
488. Woollum C. A., "Notes from a Study of the Microclimatology of the Washington, D. C. Area for the Winter and Spring Seasons," *Weatherwise*, **17**, 263 (1964).
489. Mitchell J. M. "The Temperature of Cities," *Weatherwise*, **14**, 224 (1961).
490. Sundborg A. "Local Climatological Studies of the Temperature Conditions in an Urban Area," *Tellus*, **2**, 222 (1950).
491. Duckworth F. S., Sandberg J. S. "The Effect of Cities upon Horizontal and Vertical Temperature Gradients," *Bul. Am. Met. Soc.*, **35**, 198 (1954).
492. Bornstein R. D. "Observations of the Urban Heat Island Effect in New York City," *J. Appl. Met.*, **7**, 575 (1968).
493. Myrup L. O. "A Numerical Model of the Urban Heat Island," *J. Appl. Met.*, **8**, 908 (1969).
494. Emden R. "Why Do We Have Winter Heating," *Nature*, **141**, 908 (1938).
495. Bilkadi Z., Bridgman W. B. "When You Heat Your House Does the Thermal Energy Content Increase?" in "Chemical Principles Exemplified," R. C. Plumb, ed. *J. Chem. Ed.*, **49**, 493 (1972).
496. Plumb R. C. "Footnote to the House Heating Exemplum" in "Chemical Principles Exemplified," *J. Chem. Ed.*, **50**, 365 (1973).
497. Plumb R. C. "Are We Teaching the Most Useful Ideas about Transport?" in "Chemical Principles Exemplified," *J. Chem. Ed.*, **49**, 112 (1972).
498. Walton A. G. "Nucleation of Crystals from Solution," *Science*, **148**, 601 (1965).
499. Bragg W. "Ice" in *Ref. 129*, Vol. 10, pp. 377 ff.
500. Knight C., Knight N. "Snow Crystals," *Sci. Amer.*, **227**, 100 (Jan. 1973).
501. Tolansky S. "Symmetry of Snow Crystals," *Nature*, **181**, 256 (1958).

502. "The Six - Sided Snowflake," *Chemistry*, **44**, 19 (Sep. 1971).
503. Mason B. J. "On the Shapes of Snow Crystals" in *The Six - Cornered Snowflake* by J. Kerler, Oxford Clarendon Press, London (1966), pp. 47--56.
504. Bentley W. A., Humphreys W. J. *Snow Crystals*, Dover, New York (1962).
505. Nakaya U. *Snow Crystals*, Harvard Univ. Press, Cambridge (1954).
506. LaChapelle E. R. *Field Guide to Snow Crystals*, Univ. Washington Press, Seattle (1969).
507. Chapin E. K. "Two Contrasting Theories of Capillary Action," *Am. J. Phys.*, **27**, 617 (1959).
508. Schwartz A. M. "Capillarity: Theory and Practice," *Industrial & Engineering Chem.*, **61**, 10 (Jan. 1968).
509. Dempsey D. F. "Measurement of the Capillary Curve," *Am. J. Phys.*, **26**, 89 (1958).
510. Thomson W. "Capillary Attraction" in Ref. 129, Vol. 3, pp. 325--349.
511. Walton A. J. "Surface Tension and Capillary Rise," *Phys. Ed.*, **7**, 491 (1972).
512. Хейурд А. Отрицательные давления в жидкостях: как их заставить служить человеку. - УФН, 1972, 108, с. 303.
513. Zimmermann M. "How Sap Moves in Trees," *Sci. Amer.*, **208**, 132 (Mar. 1963).
514. Plumb R. C. "Entropy Makes Water Run Uphill -- in Trees," in "Chemical Principles Exemplified," *J. Chem. Ed.*, **48**, 837 (1971).
515. Hayward A. T. J. "Mechanical Pump with a Suction Lift of 17 Meters," *Nature*, **225**, 376 (1970).
516. Plumb R. C., Bridgman W. B. "Ascent of Sap in Trees," *Science*, **176**, 1129 (1972).
517. Plumb R. C., Bridgman W. B. "Columns of Liquids Bearing a Constrained Chemical Activity Gradient," *J. Phys. Chem.*, **76**, 1637 (1972).
518. Scholander P. F. "Tensile Water," *Am. Scientist*, **60**, 584 (1972).
519. "On the Ascent of Sap," letters by P. F. Scholander, R. C. Plumb, W. B. Bridgman, H. T. Hammel, H. H. Richter, J. Levitt, T. S. Storvick, *Science*, **179**, 1248 (1973).
520. Krebs R. D., Walker R. D. *Highway Materials*. McGraw -- Hill, New York (1971), Chapter 6.
521. Lacu R. E., Ovey C. D. *Weather*, **21**, 456 (1966).
522. Bowley W. W., Burghardt M. D. "Thermodynamics and Stones," *EOS, Trans. Am. Geophys. Union*, **52**, 4 (1971).
523. Corte A. E. "Particle Sorting by Repeated Freezing and Thawing," *Science*, **142**, 499 (1963).
524. Inglis D. R. "Particle Sorting and Stone Migration by Freezing and Thawing," *Science*, **148**, 1616 (1965).
525. Kaplar C. W. "Stone Migration by Freezing of Soil," *Science*, **149**, 1520 (1965).
526. Jackson K. A., Uhlman D. R. "Particle Sorting and Stone Migration Due to Frost Heave," *Science*, **152**, 545 (1966).
527. Gray D. H. "Prevention of Moisture Rise in Capillary Systems by Electrical Short Circuiting," *Nature*, **223**, 371 (1969).
528. Lawrence A. S. C. *Soap Films*, G. Bell and Sons, London (1929).
529. Bragg W. "Liquid Films" in Ref. 129, Vol. 10, pp. 446--457.
530. Dewar J. "Studies on Liquid Films" in Ref. 129, Vol. 8, pp. 136--178.
531. Satterly J. "C. V. Boy's Rainbow Cup and Experiments with Thin Films," *Am. J. Phys.*, **19**, 448 (1951).
532. Grosse A. V. in "The Amateur Scientist," C. L. Stong, ed., *Sci. Amer.*, **229**, 110 (July 1973).
533. Брэгг У. Мир света. Мир звука. -- М.: Наука, 1967.
534. Skogen N. "Inverted Soap Bubbles -- A Surface Phenomenon," *Am. J. Phys.*, **24**, 239 (1956).
535. Lamprecht I., Schaarschmidt B. "The Flickering of a Dying Flame," *Nature*, **240**, 445 (1972).
536. Грин Х., Лейн В. Аэрозоли -- пыли, дымы и туманы. -- Л.: Химия, 1969.
537. Henry P. S. H. "'Static' in Industry," *Phys. Ed.*, **3**, 3 (1968).
538. Price D. J., Brown H. H. *Dust Explosions*, National Fire Protection Association, Boston.
539. Eden H. F. "Electrostatic Nuisances and Hazards" in Ref. 540, pp. 425--440.
540. Moore A. D. *Electrostatics and Its Applications*, Wiley, New York (1973).
541. *The Way Things Work*, Volume Two, Simon and Schuster, New York (1971).
542. Plumb R. C. "The Critical Mass -- Configuration in Chemical Reactions" in "Chemical Principles Exemplified," *J. Chem. Ed.*, **48**, 525 (1971).
543. Kindle E. M. "Some Factors Affecting the Development of Mud -- Cracks," *J. Geology*, **25**, 135 (1917).
544. Longwell C. R. "Three Common Types of Desert Mud -- Cracks," *Am. J. Sci.*, **215**, 136 (1928).
545. Lang W. B. "Gigantic Drying Cracks in Animas Valley, New Mexico," *Science*, **98**, 583 (1943).
546. Hewes L. I. "A Theory of Surface Cracks in Mud and Lava and Resulting Geometrical Relations," *Am. J. Sci.*, **246**, 138 (1948).
547. Willden R., Mabey D. R. "Giant Desiccation Fissures on the Black Rock and Smoke Creek Deserts, Nevada," *Science*, **133**, 1359 (1961).
548. Tomkins J. Q. "Polygonal Sandstone Features in Boundary Butte Anticline Area, San Juan County, Utah," *Geol. Soc. Am. Bul.*, **76**, 1075 (1965).
549. Neal J. T. "Polygonal Sandstone Features in Boundary Butte Anticline Area, San Juan County, Utah," *Geol. Soc. Am. Bul.*, **77**, 1327 (1966).
550. Neal J. T., Motts W. S. "Recent Geomorphic Changes in Playas of Western United States," *J. Geology*, **75**, 511 (1967).
551. Neal J. T., Langer A. M., Kerr P. F. "Giant Desiccation Polygons of Great Basin Playas," *Geol. Soc. Am. Bul.*, **79**, 69 (1968).
552. Kerfoot D. E. "Thermal Contraction Cracks in an Arctic Tundra Environment," *Arctic*, **25**, 142 (1972).
553. Leffingwell E. de K. "Ground -- Ice Wedges. The Dominant Form of Ground -- Ice on the North Coast of Alaska," *J. Geology*, **23**, 635 (1915).
554. Chuter I. H. "Snow Polygons," *Weather*, **14**, 139 (1959).
555. Pewe T. L. "Sand -- Wedge Polygons (Tesselations) in the McMurr-

- do Sound Region, Antarctica — A Progress Report," *Am. J. Sci.*, **257**, 545 (1959).
556. Washburn A. L. "Classification of Patterned Ground and Review of Suggested Origins," *Bul. Geol. Soc. Am.*, **67**, 823 (1956).
557. Conrad V. "Polygon Nets and Their Physical Development," *Am. J. Sci.*, **244**, 277 (1946).
558. Tallis J. H., Kershaw K. A. "Stability of Stone Polygons in North Wales," *Nature*, **183**, 485 (1959).
559. Morowitz H. J., *Energy Flow in Biology*, Academic Press, New York (1968).
560. Шредингер Э. Что такое жизнь? — М.: Атомиздат, 1972.
561. Fox R. F. "Entropy Reduction in Open Systems," *J. Theoretical Biology*, **31**, 43 (1971).
562. Ciures A., Margineano D. "Thermodynamics in Biology: An Intruder?" *J. Theoretical Biology*, **28**, 147 (1970).
563. MacKay R. S. "To Determine the Greatest Depth in Water at which One Can Breathe through a Tube," *Am. J. Phys.*, **16**, 186 (1948).
564. "Manual on Lock Valves" compiled by Committee on Lock Valves, Waterways Division, Am. Soc. Civil Engineers, Headquarters of Society, New York (1930), p. 67.
565. Deacon G. E. R. "Physics of the Ocean," *Brit. J. Appl. Phys.*, **12**, 329 (1961).
566. Gardner M., Eisendrath D. B. "Mathematical Games," *Sci. Amer.*, 215; questions, pp. 96—99 (Aug. 1966); answers, pp. 266—272 (Sep. 1966).
567. Koehl G. M. "Archimedes' Principle and the Hydrostatic Paradox — Simple Demonstrations," *Am. J. Phys.*, **17**, 579 (1949).
568. Dodd L. "The Hydrostatic Paradox: Phases I and II," *Am. J. Phys.*, **23**, 113 (1955).
569. Reid W. P. "Floating of a Long Square Bar," *Am. J. Phys.*, **31**, 565 (1963).
570. Гарнвэлл Г. П. Физика подводной лодки. — УФН, 1948, **36**, с. 528.
571. Denton E. "The Buoyancy of Marine Animals," *Sci. Amer.*, **203**, 118 (July 1960).
572. Weltin H. "A Paradox," *Am. J. Phys.*, **29**, 711 (1961).
573. Ферми Э. Научные труды. В 2-х томах. — М.: Наука, 1971—1972.
574. Ферми Э. О тэйлоровской неустойчивости (см. [573], т. 2, с. 490—492).
575. Ферми Э. Тэйлоровская неустойчивость несжимаемой жидкости (см. [573], т. 2, с. 493—497).
576. Ферми Э., фон Нейман Дж. Тэйлоровская неустойчивость на границе двух несжимаемых жидкостей (см. [573], т. 2, с. 498—501).
577. Davies R. M., Taylor G. "The Mechanics of Large Bubbles Rising through Extended Liquids and through Liquids in Tubes," *Proc. Roy. Soc. Lond.*, **A200**, 375 (1950); see Part II.
578. Taylor G. "The Instability of Liquid Surfaces When Accelerated in a Direction Perpendicular to Their Planes. I," *Proc. Roy. Soc. Lond.*, **A201**, 192 (1950).
579. Lewis D. J. "The Instability of Liquid Surfaces When Accelerated in a Direction Perpendicular to Their Planes. II," *Proc. Roy. Soc. Lond.*, **A202**, 81 (1950).
580. Hidy G. M. *The Waves: The Nature of Sea Motion*, Van Nostrand Reinhold, New York (1971).
581. Stommel H., Arons A. B., Blanchard D. "An Oceanographical Curiosity: The Perpetual Salt Fountain," *Deep Sea Research*, **3**, 152 (1956).
582. Stern M. E. "The 'Salt — Fountain' and Themohaline Convection," *Tellus*, **12**, 172 (1960).
583. Stern M. E. "Optical Measurement of Salt Fingers," *Tellus*, **22**, 76 (1970).
584. Shirtcliffe T. G. L., Turner J. S. "Observations of the Cell Structure of Salt Fingers," *J. Fluid Mech.*, **41**, 707 (1970).
585. Stern M. E. "Collective Instability of Salt Fingers," *J. Fluid Mech.*, **35**, 209 (1969).
586. Stern M. E., Turner J. S. "Salt Fingers and Convecting Layers," *Deep — Sea Research*, **16**, 497 (1969).
587. Stern M. E. "Salt Finger Convection and the Energetics of the General Circulation," *Deep — Sea Research*, **16**, 263 (1969).
588. Stern M. E. "Lateral Mixing of Water Masses," *Deep — Sea Research*, **14**, 747 (1967).
589. Nield D. A. "The Thermohaline Rayleigh — Jeffreys Problem," *J. Fluid Mech.*, **29**, 545 (1967).
590. Gregg M. C. "The Microstructure of the Ocean," *Sci. Amer.*, **228**, 64 (Feb. 1973).
591. Martin S. "A Hydrodynamic Curiosity: the Salt Oscillator," *Geophys. Fluid Dynamics*, **1**, 143, (1970).
592. Swezey K. M. *Science Magic*, McGraw — Hill, New York (1952).
593. Smith N. F. "Bernoulli and Newton in Fluid Mechanics," *Phys. Teacher*, **10**, 451 (1972).
594. Reynolds O. *Papers on Mechanical and Physical Subjects*, Vol. 1, Cambridge Univ. Press (1900).
595. Reynolds O. "On the Suspension of a Ball by a Jet of Water," in *Ref.* 594, pp. 1—6.
596. Satterly J. "Running Water," *Am. J. Phys.*, **24**, 463 (1956).
597. Miller J. S. "On Demonstrating Bernoulli's Principle," *Am. J. Phys.*, **22**, 147 (1954).
598. Daws L. F., Lacy R. E. "Cows in the Old Deer Park," *Weather*, **24**, 513 (1969).
599. Kelley J. B. "From Archimedes to Supersonics," *Phys. Today*, **3**, 20 (Apr. 1950).
600. Price B. T. "Airflow Problems Related to Surface Transport Systems," *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.*, **A269**, 327 (1971).
601. Vernikov G. L., Gurevich M. I. "Aerodynamic Pressure on a Wall Due to Movement of a High Speed Train," *Fluid Dynamics*, **2**, 88 (Jul. — Aug. 1967).
602. Gurevich M. I. "Aerodynamic Effect of Train on a Small Body," *Fluid Dynamics*, **3**, 63 (May — June 1968).
603. Webster D. L. "What Shall We Say about Airplanes," *Am. J. Phys.*, **15**, 228 (1947).
604. Storer J. H. "Bird Aerodynamics," *Sci. Amer.*, **186**, 24 (Apr. 1952).
605. Wild J. M. "Airplane Flight," *Phys. Teacher*, **4**, 295 (1966).
606. McMasters J. H., Cole C. J., Skinner D. A. "Man — Powered Flight," *Am. Institute Aeronautics Astronautics Student J.*, **9**, 5 (Apr. 1970).

607. "They Wanted Wings," *Time*, **98**, 25 (Aug. 23, 1971).
608. Sherwin K. "Man Powered Flight as a Sport," *Nature*, **238**, 195 (1972).
609. Shenstone B. S. "Unconventional Flight" in *The Future of Aeronautics*, J. E. Allen, J. Bruce, eds., St. Martin's Press, New York (1970), Chapter 8.
610. Wilkie D. R. "The Work Output of Animals: Flight by Birds and by Man — power," *Nature*, **183**, 1515 (1959).
611. Herreshoff H. C., Newman J. N. "The Study of Sailing Yachts," *Sci. Amer.*, **215**, 60 (Aug. 1966).
612. Davidson K. S. M. "The Mechanics of Sailing Ships and Yachts" in *Surveys in Mechanics*, G. K. Batchelor, R. M. Davies, eds., Cambridge Univ. Press, Cambridge (1956), pp. 431—475.
613. Ashton R. in "The Amateur Scientist," *Sci. Amer.*, **195**, 128 (Aug. 1956).
614. Holford Lord. "Problems for the Architect and Town Planner Caused by Air in Motion," *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.*, **A269**, 335 (1971).
615. Einstein A. "The Flettner Ship," *Essays in Science*, Philosophical Library, New York (1955), pp. 92—97.
616. Sutton R. M. "Baseballs Do Curve and Drop," *Am. J. Phys.*, **10**, 201 (1942).
617. Rayleigh Lord. *Scientific Papers*, Vol. II, Dover, New York (1964), pp. 344—346.
618. Verwiebe F. L. "Does a Baseball Curve?" *Am. J. Phys.*, **10**, 119 (1942).
619. Thomson J. J. "The Dynamics of a Golf Ball" in *Ref. 129*, Vol. 7, pp. 104—119.
620. Briggs I. J. "Effect of Spin and Speed on the Lateral Deflection (Curve) of a Baseball; and the Magnus Effect for Smooth Spheres," *Am. J. Phys.*, **27**, 589 (1959).
621. Daish C. B. *The Physics of Ball Games*, English Univ. Press, London (1972); Part 1 also published as *Learn Science through Ball Games*, Sterling, New York.
622. Lyttleton R. A. "On the Swerve of a Cricket Ball," *Weather*, **12**, 140 (1957).
623. Putnam P. C. *Power from the Wind?* D. Van Nostrand, New York (1948), pp. 98—101.
624. Gottifredi J. C., Jameson G. J. "The Growth of Short Waves on Liquid Surfaces under the Action of a Wind," *Proc. Roy. Soc. Lond.*, **A319**, 373 (1970).
625. Wilson W. S., Banner M. L., Flower R. J., Michael J. A., Wilson D. G. "Wind — Induced Growth on Mechanically Generated Water Waves," *J. Fluid Mech.*, **58**, 435 (1973).
626. Dixon P. L. *The Complete Book of Surfing*, Ballantine, New York (1969).
627. Draper L. "'Freak' Ocean Waves," *Oceanus*, **10**, 12 (June 1964); also in *Weather*, **21**, 2 (1966).
628. Bascom W. "Ocean Waves," *Sci. Amer.*, **201**, 74 (Aug. 1959).
629. Кинг К. А. М. *Пляжи и берега.* — М.: ИЛ, 1963.
630. Monahan E. C. "Fresh Water Whitecaps," *J. Atmos. Sci.*, **26**, 1026 (1969).
631. Donelan M., Longuet — Higgins M. S., Turner J. S. "Periodicity in Whitecaps," *Natur*, **239**, 449 (1972).
632. Acosta A. J. "Hydrofoils and Hydrofoil Craft" in *Annual Review of Fluid Mechanics*, Vol. 5, Annual Reviews, Inc., California (1973).
633. Tucker V. A. "Waves and Water Beetles," *Phys. Teacher*, **9**, 10 (1971).
634. Tucker V. A. "Wave — Making by Whirligig Beetles [Gyrinidae]," *Science*, **166**, 897 (1969).
635. Стокер Дж. Дж. *Волны на воде. Математическая теория и приложения.* — М.: ИЛ, 1959.
636. Keith H. D. "Simplified Theory of Ship Waves," *Am. J. Phys.*, **25**, 466 (1957).
637. Ursell F. "On Kelvin's Shipwave Pattern," *J. Fluid Mech.*, **8**, 418 (1960).
638. Havelock T. H. "The Propagation of Groups of Waves in Dispersive Media, with Application to Waves on Water Produced by a Travelling Disturbance," *Proc. Roy. Soc. Lond.*, **A81**, 398 (1908).
639. Hunter C. "On the Calculation of Wave Patterns," *J. Fluid Mech.*, **53**, 637 (1972).
640. Hogben N. "Nonlinear Distortion of the Kelvin Ship — Wave Pattern," *J. Fluid Mech.*, **55**, 513 (1972).
641. Garrett J. R. "On Cross Waves," *J. Fluid Mech.*, **41**, 837 (1970).
642. Faraday M. "On the Forms and States Assumed by Fluid in Contact with Vibrating Elastic Surfaces," *Phil. Trans. Roy. Soc.*, **31**, 319 (1831).
643. Фарадей М. *Избранные работы по электричеству.* — М. — Л.: ГТТИ, 1939.
644. Фарадей М. *Экспериментальные исследования по электричеству.* — М.: АН СССР, 1947—1959, т. I—3.
645. Barnard B. J. S., Pritchard W. G. "Cross — Waves, Part 2. Experiments," *J. Fluid Mech.*, **55**, 245 (1972).
646. Faraday M. *Experimental Researches in Chemistry and Physics*, Richard Taylor and William Francis, London (1859), pp. 352—355.
647. Bowen A. J. "Rip Currents 1. Theoretical Investigations," *J. Geophys. Res.*, **74**, 5467 (1969).
648. Bowen A. J., Inman D. L. "Rip Currents 2. Laboratory and Field Observations," *J. Geophys. Res.*, **74**, 5479 (1969).
649. Bowen A. J., Inman D. L., Simmons V. P. "Wave 'Set — Down' and Set — Up," *J. Geophys. Res.*, **73**, 2569 (1968).
650. Sonu C. J. "Comment on Paper by A. J. Bowen, D. L. Inman, 'Edge Wave and Crescentic Bars,'" *J. Geophys. Res.*, **77**, 6629 (1972); reply, **77**, 6632 (1972).
651. Huntley D. A., Bowen A. J. "Field Observations of Edge Waves," *Nature*, **243**, 160 (1973).
652. Russell R. C. H. "Waves" in *Waves and Tides*, Greenwood Press, Westport, Conn. (1970).
653. Edge R. D. "The Surf Skimmer," *Am. J. Phys.*, **36**, 630 (1968).
654. Fejer A. A., Backus R. H. "Porpoises and the Bow — Riding of Ships Under Way," *Nature*, **188**, 700 (1960).
655. Scholander P. F. "Waveriding of Dolphins: How Do They Do It?" *Science*, **129**, 1085 (1959).
656. Hayes W. D. "Wave — Riding Dolphins," *Science*, **130**, 1657 (1959).
657. Scholander P. F. "Wave — Ri-

ding Dolphins," *Science*, **130**, 1658 (1959).

658. Hayes W. D. "Wave Riding of Dolphins," *Nature*, **172**, 1060 (1953).

659. Perry B., Acosta A. J., Kice-niuk T. "Simulated Wave — Riding Dolphins," *Nature*, **192**, 148 (1961).

660. Cousteau J. *Silent World*, Harper, New York (1950), pp. 228--229.

661. Дарвин Дж. Г. Приливы и родственные им явления в Солнечной системе.— М.: Наука, 1965.

662. Defant A. *Ebb and Flow*, Univ. Michigan Press, Ann Arbor (1958).

663. Clancu E. P. *The Tides*, Anchor Books, Doubleday, New York (1969).

664. Macmillan D. H. "Tides" in *Waves and Tides*, Greenwood Press, Westport, Conn. (1970).

665. Elmore W. C., Heald M. A. *Physics of Waves*, McGraw — Hill, New York (1969).

666. Runcorn K., ed. *International Dictionary of Geophysics*, Pergamon Press, New York (1967).

667. Rossiter J. R. "Tide Generating Forces" in Ref. 666, pp. 1537—1539.

668. Rossiter J. R. "Tides" in Ref. 666, pp. 1539—1543.

669. Rossiter J. R. "Tides in Oceans" in Ref. 666, pp. 1547—1549.

670. Rossiter J. R. "Tides in Seas and Gulfs" in Ref. 666, pp. 1549—1551.

671. Zahl P. A. "The Giant Tides of Fundy," *National Geographic Mag.*, **112**, 153 (1957).

672. Jeffreys H. "Tidal Friction" in Ref. 666, pp. 1535—1536.

673. Newton R. R. "Secular Accelerations of the Earth and Moon," *Science*, **166**, 825 (1969).

674. Rossiter J. R. "Tides in Shallow Water" in Ref. 666, pp. 1551—1553.

675. Fenton J. D. "Cnoidal Waves and Bores in Uniform Channels of Arbitrary Cross — Section," *J. Fluid Mech.*, **58**, 417 (1973).

676. Photos, *National Geographic Mag.*, **142**, 490—491 (1972); **112**, 166 (1957).

677. Olsson R. G., Turkdogan E. T. "Radial Spread of a Liquid Stream on a Horizontal Plate," *Nature*, **211**, 813 (1966).

678. Watson E. J. "The Radial

Spread of a Liquid Jet over a Horizontal Plane," *J. Fluid Mech.*, **20**, 481 (1964).

679. Tani I. "Water Jump in the Boundary Layer" *J. Phys. Soc. Japan*, **4**, 212 (1949).

680. Glauert M. B. "The Wall Jet," *J. Fluid Mech.*, **1**, 625 (1956).

681. Taylor G. "Oblique Impact of a Jet on a Plane Surface," *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.*, **A260**, 96 (1966); also in Ref. 255, Vol. IV, p. 510.

682. Komar P. D. "Nearshore Cell Circulation and the Formation of Giant Cusps," *Geol. Soc. Am. Bul.*, **82**, 2643 (1971).

683. Russell R. J., McIntire W. G. "Beach Cusps," *Geol. Soc. Am. Bul.*, **76**, 307 (1965).

684. Worrall G. A. "Present — Day and Subfossil Beach Cusps on the West African Coast," *J. Geology*, **77**, 484 (1969).

685. Dolan R. "Coastal Landforms: Crescentic and Rhythmic," *Geol. Soc. Am. Bul.*, **82**, 177 (1971).

686. Cloud P. E., Jr. "Beach Cusps: Response to Plateau's Rule," *Science*, **154**, 890 (1966).

687. Stong C. L., ed. "The Amateur Scientist," *Sci. Amer.*, **219**, 116 (Dec. 1968).

688. Bascom W. "Beaches," *Sci. Amer.*, **203**, 80 (Aug. 1960).

689. Schwartz M. L. "Theoretical Approach to the Origin of Beach Cusps," *Geol. Soc. Am. Bul.*, **83**, 115 (1972).

690. Bowen A. J., Inman D. L. "Edge Waves and Crescentic Bars," *J. Geophys. Res.*, **76**, 8662 (1971).

691. Gorycki M. A. "Sheetflood Structure: Mechanism of Beach Cusp Formation and Related Phenomena," *J. Geology*, **81**, 109 (1973).

692. Stewart R. W. "The Atmosphere and the Ocean," *Sci. Amer.*, **221**, 76 (Sep. 1969).

693. Stommel N. "An Elementary Explanation of Why Ocean Currents are Strongest in the West," *Bul. Am. Met. Soc.*, **32**, 21 (1951).

694. Stommel H. "The Westward Intensification of Wind — Driven Ocean Currents," *EOS, Trans. Am. Geophys. Union*, **29**, 202 (1948).

695. Baker D. J., Jr. "Models of Ocea-

nic Circulation," *Sci. Amer.*, **222**, 114 (Jan. 1970).

696. Munk W. "The Circulation of the Oceans," *Sci. Amer.*, **193**, 96 (Sep. 1955).

697. Morisawa M. *Streams: Their Dynamics and Morphology*, McGraw — Hill, New York (1968).

698. Garrels. R. M. *A Textbook of Geology*, Harper & Bros., New York (1951).

699. Shelton J. S. *Geology Illustrated*, W. H. Freeman & Co., Calif. (1966).

700. Goldstein S. *Modern Developments in Fluid Dynamics*, Oxford, Clarendon Press (1938).

701. Leopold L. B., Langbein W. B. "River Meanders," *Sci. Amer.*, **214**, 60 (June 1966).

702. Callender R. A. "Instability and River Channels," *J. Fluid Mech.*, **36**, 465 (1969).

703. Schumm S. A., Khan H. R. "Experimental Study of Channel Patterns," *Nature*, **233**, 407 (1971).

704. Francis J. R. D., Asfari A. F. "Visualization of Spiral Motion in Curved Open Channels of Large Width," *Nature*, **225**, 725 (1970).

705. Tinkler K. J. "Active Valley Meanders in South — Central Texas and Their Wider Implications," *Geol. Soc. Am. Bul.*, **82**, 1783 (1971).

706. Tinkler K. J. "Pools, Riffles, and Meanders," *Geol. Soc. Am. Bul.*, **81**, 547 (1970); see also: E. A. Keller **82**, 279 (1971) and Tinkler **82**, 281 (1971).

707. Horlock J. H. "Erosion in Meanders," *Nature*, **176**, 1034 (1955).

708. Schwartz M. "How to Construct a Stream Table to Simulate Geological Processes" in "The Amateur Scientist," C. L. Stong, ed., *Sci. Amer.*, **208**, 168 (Apr. 1963).

709. Dury G. H., ed. *Rivers and River Terraces*, Praeger, New York (1970).

710. Leopold L. B., Wolman M. G. "River Channel Patterns" in Ref. 709.

711. Langbein W. B., Leopold L. B. "River Meanders and the Theory of Minimum Variance" in Ref. 709.

712. Davis W. M. "River Terraces in New England" in Ref. 709.

713. Shepherd R. G. "Incised River Meanders: Evolution in Simulated Bedrock," *Science*, **178**, 409 (1972).

714. Wilson I. G. "Equilibrium Cross-section of Meandering and Braided Rivers," *Nature*, **241**, 393 (1973).
715. Gorycki M. A. "Hydraulic Drag: A Meander — Initiating Mechanism," *Geol. Soc. Am. Bul.*, **84**, 175 (1973).
716. Baker D. J., Jr. "Demonstrations of Fluid Flow in a Rotating System II: The 'Spin — Up' Problem," *Am. J. Phys.*, **36**, 980 (1968).
717. Baker D. J., Jr. "Demonstrations of Fluid Flow in a Rotating System," *Am. J. Phys.*, **34**, 647 (1966).
718. Pritchard W. "The Motion Generated by a Body Moving along the Axis of a Uniformly Rotating Fluid," *J. Fluid Mech.*, **39**, 443 (1969).
719. Maxworthy T. "An Experimental Determination of the Slow Motion of a Sphere in a Rotating, Viscous Fluid," *J. Fluid Mech.*, **23**, 373 (1965).
720. Taylor G. I. "Experiments with Rotating Fluids," *Proc. Roy. Soc. Lond.*, **A100**, 114 (1921); also in Ref. 255, Vol. IV, pp. 17—23.
721. Paget R., Da C. Andrade E. N. "Whirlpools and Vortices," *Proc. Roy. Institution Great Britain*, **29**, 320 (1936).
722. Shapiro A. "Bathtub Vortex," *Nature*, **196**, 1080 (1962).
723. Andrade E. N. da C. "Whirlpools, Vortices and Bathtubs," *New Scientist*, **17**, 302 (1963).
724. Shapiro A. H. Film, Vorticity, Educational Services, Inc., Watertown, Mass. (1961).
725. Shapiro A. H. Film loop No. FM-15, The Bathtub Vortex, Educational Services, Inc., Watertown, Mass. (1963).
726. Binnie A. M. "Some Experiments on the Bathtub Vortex," *J. Mechanical Engineering Science*, **6**, 256 (1964).
727. Trefethen L. E., Bilger R. W., Fink P. T., Luxton R. E., Tanner R. I. "The Bathtub Vortex in The Southern Hemisphere," *Nature*, **207**, 1084 (1965).
728. Sibulkin M. "A Note on the Bathtub Vortex," *J. Fluid Mech.*, **14**, 21 (1962).
728. Sibulkin M. "A Note on the Bathtub Vortex," *J. Fluid Mech.*, **14**, 21 (1962).
729. Kelly D. L., Martin B. W., Taylor E. S. "A Further Note on the Bathtub Vortex," *J. Fluid Mech.*, **19**, 539 (1964).
730. Stong C. L., ed. "The Amateur Scientist," *Sci. Amer.*, **209**, 133 (Oct. 1963).
731. Heighes J. M. "Origin of Three — Dimensional Vortices," *Weather*, **23**, 523 (1968).
732. Morton B. R. "The Strength of Vortex and Swirling Core Flows," *J. Fluid Mech.*, **38**, 315 (1969).
733. Granger, R. A. "Speed of a Surge in a Bathtub Vortex," *J. Fluid Mech.*, **34**, 651 (1968).
734. Goodman J. M., "Paraboloids and Vortices in Hydrodynamics," *Am. J. Phys.*, **37**, 864 (1969).
735. Stong C. L., ed. "How to Make and Investigate Vortexes in Water and Flame" in "The Amateur Scientist," *Sci. Amer.*, **209**, 133 (Oct. 1963).
736. Whiten A. J. "Concerning Plug — Holes," *Weather*, **18**, 73 (1963).
737. Kuehnast E. L., Haines D. A. "Unusual Features Observed within a Series of Tornado Pictures," *Mon. Weather Rev.*, **99**, 545 (1971).
738. Fujita T., Bradbury D. L., Van Thullenar C. F. "Palm Sunday Tornadoes of April 11, 1965," *Mon. Weather Rev.*, **98**, 29 (1970).
739. Dessens J., Jr. "Influence of Ground Roughness on Tornadoes: A Laboratory Simulation," *J. Appl. Met.*, **11**, 72 (1972).
740. Bathurst G. B. "The Earliest Recorded Tornado?," *Weather*, **19**, 202 (1964).
741. Golden J. H. "Waterspouts and Tornadoes over South Florida," *Mon. Weather Rev.*, **99**, 146 (1971).
742. Golden J. H. "Waterspouts at Lower Matecumbe Key, Florida, September 2, 1967," *Weather*, **23**, 103 (1968).
743. Gordon A. H. "Waterspouts," *Weather*, **6**, 364 (1951).
744. Rossmann F. O. "Differences in the Physical Behaviour of Tornadoes and Waterspouts," *Weather*, **13**, 259 (1958).
745. Rossmann F. O. "Some Further Comments on Waterspouts," *Weather*, **14**, 104 (1959).
746. Roberts W. O. "We're Doing Something about the Weather!," *National Geographic Mag.*, **141**, 518 (1972).
747. Vonnegut W., Moore C. B., Harris C. K. "Stabilization of a High-Voltage Discharge by a Vortex," *J. Met.*, **17**, 468 (1960).
748. Colgate S. A. "Tornadoes: Mechanism and Control," *Science*, **157**, 1431 (1967).
749. Ryan R. T., Vonnegut B. "Miniature Whirlwinds Produced in the Laboratory by High-Voltage Electrical Discharges," *Science*, **168**, 1349 (1970).
750. Brook M. "Electric Currents Accompanying Tornado Activity," *Science*, **157**, 1434 (1967).
751. Turner J. S. "Laboratory Models of Evaporation and Condensation," *Weather*, **20**, 124 (1965).
752. Turner J. S. "Tornado," *Oceanus*, **10**, 14 (Sep. 1963).
753. Turner J. S., Lilly D. K. "The Carbonated-Water Tornado Vortex," *J. Atmos. Sci.*, **20**, 468 (1963).
754. Turner J. S. "The Constraints Imposed on Tornado-like Vortices by the Top and Bottom Boundary Conditions," *J. Fluid Mech.*, **25**, 377 (1966).
755. Morton B. R. "Model Experiments for Vortex Columns in the Atmosphere," *Nature*, **197**, 840 (1963).
756. Hallett J., Hofer T. "Dust Devil Systems," *Weather*, **26**, 247 (1971).
757. Kaimel J. C., Businger J. A. "Case Studies of a Convective Plume and a Dust Devil," *J. Appl. Met.*, **9**, 612 (1970).
758. Lilly D. K. "Comments on 'Case Studies of a Convective Plume and a Dust Devil'," *J. Appl. Met.*, **10**, 590 (1971).
759. Kaimel J. C., Businger J. A. "Reply," *J. Appl. Met.*, **10**, 591 (1971).
760. Sinclair P. C. "General Characteristics of Dust Devils," *J. Appl. Met.*, **8**, 32 (1969).
761. Ryan J. A., Carroll J. J. "Dust Devil Wind Velocities: Mature State," *J. Geophys. Res.*, **75**, 531 (1970).
762. Carroll J. J., Ryan J. A. "Atmospheric Vorticity and Dust Devil Rotation," *J. Geophys. Res.*, **75**, 5179 (1970).
763. Cooley J. R. "Damaging, Mischievous, and Interesting Whirlwinds and Waterspouts," *Mon. Weather Rev.*, **100**, 317 (1972).

764. Cooley J. R. "Dust Devil," National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2, 19 (Apr. 1972).

765. "The Torrey Canyon Smoke Plume," Weather, 22, 368 (1967).

766. Goldie E. C. W. "The Torrey Canyon Smoke Plume," Weather, 22, 508 (1967).

767. Heighes J. M. "Vortices Produced by the Torrey Canyon Smoke Plume," Weather, 22, 508 (1967).

768. Thorarinsson S., Vonnegut B. "Whirlwinds Produced by the Eruption of Surtsey Volcano," Bul. Am. Met. Soc., 45, 440 (1964).

769. Atallah S. "Some Observations on the Great Fire of London, 1666," Nature, 211, 105 (1966).

770. Lawrence E. N. "Meteorology and the Great Fire of London, 1666," Nature, 213, 168 (1967).

771. Graham H. E. "Fire Whirlwinds," Bul. Am. Met. Soc., 36, 99 (1955).

772. Dessens J. "Man-Made Tornadoes," Nature, 193, 13 (1962).

773. Lyons, P. A., Rease S. R. "'Steam Devils' over Lake Michigan during a January Arctic Outbreak," Mon. Weather Rev., 100, 235 (1972).

774. Heighes J. M. "Comment on 'Picture of the Month — Steam Devils' over Lake Michigan during a January Arctic Outbreak," Mon. Weather Rev., 100, 750 (1972).

775. Levegood W. C. "Instability Effects in Vortex Rings Produced with Liquids," Nature, 181, 1680 (1958).

776. Бэтчелор Дж. Введение в динамику жидкости.— М.: Мир, 1973.

777. Reynolds O. "On the Action of Rain to Calm the Sea" in Ref. 594, pp. 86—88.

778. Sibulkin M. "Unsteady, Viscous, Circular Flow. Part 3. Application to the Ranque-Hilsch Tube," J. Fluid Mech., 12, 269 (1962).

779. Hilsch R. "The Use of the Expansion of Gases in a Centrifugal Field as Cooling Process," Rev. Scientific Instruments, 18, 108 (1947).

780. Fulton C. D. "Comments on the Vortex Tube," Refrigerating Engineering, 59, 984 (1951).

781. Hartnett J. P., Eckert E. R. G. "Experimental Study of the Velocity

and Temperature Distribution in a High-Velocity Vortex-Type Flow," Trans. Am. Soc. Mechanical Engineers. 79, 751 (1957).

782. Алексеев В. П., Мартыновский В. С. Эффект вихревого температурного разделения перегретых паров и опытная проверка гипотезы Хилша — Фультона.— Изв. АН СССР, отд. техн. н., 1956, № 1, с. 71—79.

783. Pengelly C. D. "Flow in a Viscous Vortex," J. Appl. Phys., 28, 86 (1957).

784. Van Deemter J. J. "On the Theory of the Ranque-Hilsch Cooling Effect," Appl. Scientific Res., A 3, 174 (1952).

785. Cooney D. O. "Transient Phenomena Observed During Operation of a Ranque-Hilsch Vortex Tube," Industrial Engineering Chem. Fundamentals, 10, 308 (1971).

786. Smith G. O. "The 'Hilsch' Vortex Tube" in The Amateur Scientist by C. L. Stong, Simon and Schuster, New York (1960), pp. 514—520.

787. Scheper G. W., Jr. "The Vortex Tube — Internal Flow Data and a Heat Transfer Theory," Refrigerating Engineering, 59, 985 (1951).

788. Willmarth W. W., Hawk N. E., Harvey R. L., "Steady and Unsteady Motions and Wakes of Freely Falling Disks," Phys. of Fluids, 7, 197 (1964).

789. Jayaweera K. O. L. F., Mason B. J. "The Behavior of Freely Falling Cylinders and Cones in a Viscous Fluid," J. Fluid Mech., 22, 709 (1965).

790. Jayaweera K. O. L. F., Mason B. J. "The Falling Motions of Loaded Cylinders and Discs Simulating Snow Crystals," Quart. J. Roy. Met. Soc., 92, 151 (1966).

791. Jayaweera K. O. L. F., Mason B. J., Slack G. W. "The Behaviour of Clusters of Spheres Falling in a Viscous Fluid. Part I. Experimental," J. Fluid Mech., 20, 121 (1964).

792. Hocking L. M. "The Behaviour of Clusters of Spheres Falling in a Viscous Fluid. Part 2. Slow Motion Theory," J. Fluid Mech., 20, 129 (1964).

793. Bretherton F. P. "Inertial Effects on Clusters of Spheres Falling in a Viscous Fluid," J. Fluid Mech., 20, 401 (1964).

794. Lissaman P. B. S., Shollenber-

ger C. A. "Formation Flight of Birds," Science, 168, 1003 (1970).

795. King R. E. "The Inverted Pendulum," Am. J. Phys., 33, 855 (1965).

796. Wegener P. P., Parlange J.-Y. "Spherical-Cap Bubbles, in Annual Review of Fluid Mechanics, Vol. 5, Annual Reviews, Inc., Pal Alto, Calif. (1973), pp. 79—100.

797. Saffman P. G. "On the Rise of Small Air Bubbles in Water," J. Fluid Mech., 1, 249 (1956).

798. Hartunian R. A., Sears W. R. "On the Instability of Small Gas Bubbles Moving Uniformly in Various Liquids," J. Fluid Mech., 3, 27 (1957).

799. Moore D. W. "The Rise of a Gas Bubble in a Viscous Liquid," J. Fluid Mech., 6, 113 (1959).

800. Magarvey R. H., Corkum P. B. "The Wake of a Rising Bubble," Nature, 200, 354 (1963).

801. Parlange J.-Y. "Spherical Cap Bubbles with Laminar Wakes," J. Fluid Mech., 37, 257 (1969).

802. Goller R. R. "The Legacy of 'Galloping Gertie', 25 Years After," Trans. Am. Soc. Civil Engineers, 131, 704 (1966).

803. Shepherd D. G. Elements of Fluid Mechanics, Harcourt, Brace & World, New York (1965), pp. 348—353.

804. Pugsley A. The Theory of Suspension Bridges, Edward Arnold, Ltd., London (1957), pp. 120—127.

805. Kerensky O. A. "Bridges and Other Large Structures," Phil. Trans. Roy. Soc. Lond., A269, 343 (1971).

806. Parkinson G. V. "Wind-Induced Instability of Structures," Phil. Trans. Roy. Soc. Lond., A269, 395 (1971).

807. Scruton C., Rogers E. W. E. "Steady and Unsteady Wind Loading of Buildings and Structures," Phil. Trans. Roy. Soc. Lond., A269, 353 (1971).

808. Goller R. R. "The Legacy of 'Galloping Gertie' 25 Years Later," Civil Engineering, 35, 50 (Oct. 1965).

809. Finch J. K. "Wind Failures of Suspension Bridges or Evolution and Decay of the Stiffening Truss," Engineering News-Record, 126, 402 (Mar. 13, 1941).

810. "Narrows Nightmare," Time (Nov. 18, 1940), p. 21.

811. Steinman D. B. The Builders of

the Bridge, Harcourt, Brace and Co., New York (1945); see bibliography pp. 435-438.

812. Steinman D. B. "Suspension Bridges: The Aerodynamic Problem and Its Solution" in *Science in Progress*, 9th Ser., G. A. Baitsell, ed., Yale Univ. Press, New Haven (1955), pp. 241-291.

813. Schwartz H. I. "Edgetones and Nappe Oscillation," *J. Acoust. Soc. Am.*, **39**, 579 (1966).

814. Schwartz H. I. "Nappe Oscillation," *J. Hydraulics Division, Am. Soc. Civil Engineers*, **90**, 129 (Nov. 1964, Part 1).

815. Naudascher E. Discussion of Ref. 814, *J. Hydraulics Division, Am. Soc. Civil Engineers*, **91** (HY3), 389 (May 1965, Part 1).

816. Petrikat K., Unny T. E., Discussion of Ref. 814, *J. Hydraulics Division, Am. Soc. Civil Engineers*, **91** (HY5), 223 (Sept. 1965, Part 1).

817. McCarty G. "Parachutes," *Internat. Science Technology*, (Oct. 1966), pp. 60-71.

818. Brown W. D. *Parachutes*, Pitman & Sons, London (1951).

819. Dutton J. A., Panofsky H. A. "Clear Air Turbulence: A Mystery May be Unfolding," *Science*, **167**, 937 (1970).

820. Dutton J. A. "Clear-Air Turbulence, Aviation, and Atmospheric Science," *Rev. Geophys. Space Phys.*, **9**, 613 (1971).

821. Panofsky H. A. "Up and Down," *Weatherwise*, **25**, 77 (1972).

822. Scorer R. S. "Clear Air Turbulence in the Jet Stream," *Weather*, **12**, 275 (1957).

823. Raine A. "Aerodynamics of Skiing," *Science J.*, **6**, 26 (Mar. 1970).

824. Francis J. R. D. "The Speed of Drifting Bodies in a Stream," *J. Fluid Mech.*, **1**, 517 (1956).

825. Francis J. R. D. "A Further Note on the Speed of Floating Bodies in a Stream," *J. Fluid Mech.*, **10**, 48 (1961).

826. Pedgley D. E. "The Shapes of Snowdrifts," *Weather*, **22**, 42 (1967).

827. Shapiro A. H. *Shape and Flow: The Fluid Dynamics of Drag*, Doubleday Anchor, Science Study Series, Garden City, New York (1961).

828. "Golf," *Encyclopaedia Britannica*, William Benton, Chicago (1970), Vol. 10, pp. 553-554.

829. Hart C. *Kites: An Historical Survey*, Faber and Faber, London (1967).

830. Шефер В. Наблюдения над утренней чашкой кофе.— УФН, 1972, 108, с. 577; Квант, № 4, 1977.

831. Whitehead J. A., Jr. "Cellular Convection," *Am. Scientist*, **59**, 444 (1971).

832. Scriven L. E., Sternling C. V. "The Marangoni Effects," *Nature*, **187**, 186 (1960).

833. Berg J. C., Boudart M., Acrivos A. "Natural Convection in Pools of Evaporating Liquids," *J. Fluid Mech.*, **24**, 721 (1966).

834. Palm E. "On the Tendency towards Hexagonal Cells in Steady Convection," *J. Fluid Mech.*, **8**, 183 (1960).

835. Koschmieder E. L. "On Convection under an Air Surface," *J. Fluid Mech.*, **30**, 9 (1967).

836. Stuart J. T. "On the Cellular Patterns in Thermal Convection," *J. Fluid Mech.*, **18**, 481 (1964).

837. Roberts P. H. "Convection in Horizontal Layers with Internal Heat Generation. Theory," *J. Fluid Mech.*, **30**, 33 (1967).

838. Malkus W. V. R., Veronis G. "Finite Amplitude Cellular Convection," *J. Fluid Mech.*, **4**, 225 (1958).

839. Cabelli A., De Vahl Davis G. "A Numerical Study of the Benard Cell," *J. Fluid Mech.*, **45**, 805 (1971).

840. Rossby H. T. "A Study of Benard Convection with and without Rotation," *J. Fluid Mech.*, **36**, 309 (1969).

841. Pearson J. R. A. "On Convection Cells Induced by Surface Tension," *J. Fluid Mech.*, **4**, 489 (1958).

842. Scanlon J. W., Segel L. A. "Finite Amplitude Cellular Convection Induced by Surface Tension," *J. Fluid Mech.*, **31**, 1 (1968).

843. Thirlby R. "Convection in an Internally Heated Layer," *J. Fluid Mech.*, **44**, 673 (1970).

844. Block M. J. "Surface Tension as the Cause of Benard Cells and Surface Deformation in a Liquid Film," *Nature*, **178**, 650 (1956).

845. Levengood W. C. "Evidence of Rupture in Droplet Layers on Heated Liquid Surfaces," *Am. J. Phys.*, **26**, 35 (1958).

846. Grodzka P. G., Bannister T. C. "Heat Flow and Convection Demonstration Experiments aboard Apollo 14," *Science*, **176**, 506 (1972).

847. Zern R. W., Reynolds W. C. "Thermal Instabilities in Two-Fluid Horizontal Layers," *J. Fluid Mech.*, **53**, 305 (1972).

848. Loewenthal M. "Tears of Strong Wine," *Philosophical Mag. (Series 7)*, **12**, 462 (1931).

849. Thomson J. "On Certain Curious Motions Observable at the Surfaces of Wine and Other Alcoholic Liquors," *Philosophical Mag. (Series 4)*, **10**, 330 (1855).

850. Maxworthy T. "The Structure and Stability of Vortex Rings," *J. Fluid Mech.*, **51**, 15 (1972).

851. Stong C. L., ed. "The Amateur Scientist," *Sci. Amer.*, **212**, 120 (Jan. 1965).

852. Riehl H. *Tropical Meteorology*, McGraw-Hill, New York (1954).

853. Woodcock A. H. "Convection and Soaring over the Open Sea," *J. Marine Res.*, **3**, 248 (1940).

854. Cone C. D., Jr. "The Soaring Flight of Birds," *Sci. Amer.*, **206**, 130 (Apr. 1962).

855. Strutt J. W. (Lord Rayleigh), "The Soaring of Birds," in *Scientific Papers*, Vol. II, 1881-1887, Cambridge Univ. Press, Cambridge (1900), pp. 194-197.

856. Стрэтт Дж. В. (лорд Рэлей). Волновая теория свеча.— М. - Л.: ГТТИ, 1940.

857. Wolters R. A. *The Art and Technique of Soaring*, McGraw-Hill, New York (1971).

858. Tucker V. A., Parrott G. C. "Aerodynamics of Gliding Flight in a Falcon and Other Birds," *J. Exp. Bio.*, **52**, 345 (1970).

859. Cone C. D. "The Theory of Soaring Flight in Vortex Shells," *Soaring*, **25** (1961): Part 1, p. 8 (April); Part 2, p. 8 (May); Part 3, p. 6 (June).

860. Slater A. E. "The 'Mystery' of Soaring Flight" *Weather*, **10**, 298 (1955).

861. Bell G. J. "Some Meteorological Aspects of Soaring Flight," *Weather*, **5**, 8 (1950).

862. Hanna S. R. "The Formation of Longitudinal Sand Dunes by Large Helical Eddies in the Atmosphere,"

- J. Appl. Met., 8, 874 (1969).
863. King W. J. H., "Study of a Dune Belt," *Geography J.*, 51, 16 (1918).
864. Hastings J. D. "Sand Streets," *Met. Mag.*, 100, 155 (1971).
865. Langmuir I. "Surface Motion of Water Induced by Wind," *Science*, 87, 119 (1938).
866. Fatter A. J. "The Angle of Windows in the Ocean," *Tellus*, 16, 363 (1964).
867. Craik A. D. D. "A Wave-Interaction Model for the Generation of Windrows," *J. Fluid Mech.*, 41, 801 (1970).
868. Faller A. J., Woodcock A. H. "The Spacing of Windrows of Sargassum in the Ocean," *J. Marine Res.*, 22, 22 (1964).
869. Wilson I. "Sand Waves," *New Scientist*, 53, 634 (1972).
870. Harms J. C. "Hydraulic Significance of Some Sand Ripples," *Geol. Soc. Am. Bul.*, 80, 363 (1969).
871. Kennedy J. F. "The Mechanics of Dunes and Antidunes in Erodible-Bed Channels," *J. Fluid Mech.*, 16, 521 (1963).
872. Raudkivi A. J. "Bed Flows in Alluvial Channels," *J. Fluid Mech.*, 26, 507 (1966).
873. Reynolds A. J. "Waves on the Erodible Bed of an Open Channel," *J. Fluid Mech.*, 22, 113 (1965).
874. Allen J. R. L. "Asymmetrical Ripple Marks and the Origin of Cross-Stratification," *Nature*, 194, 167 (1962).
875. Potter A., Barnes F. H. "The Siphon," *Phys. Ed.*, 6, 362 (1971).
876. Nokes M. C. "The Siphon," *School Science Rev. (Gr. Brit.)*, 29, 233 (1948); reviewed in *Am. J. Phys.* 16, 254 (1948).
877. Hero, of Alexandria, *The Pneumatics of Hero of Alexandria*, American Elsevier, New York (1971).
878. Reyburn W. *Flushed with Pride: The Story of Thomas Crapper*, Prentice-Hall, New Jersey (1969).
879. *The Way Things Work*, Simon & Schuster, New York (1967).
880. Hobbs P. V., Kezweeny A. J. "Splashing of a Water Drop," *Science*, 155, 1112 (1967).
881. Harlow F. H., Shannon J. P. "Distortion of a Splashing Liquid Drop," *Science*, 157, 547, (1967).
882. Macklin W. C., Hobbs P. V. "Subsurface Phenomena and the Splashing of Drops on Shallow Liquids," *Science*, 166, 107 (1969).
883. Hobbs P. V. Osheroiff T. "Splashing of Drops on Shallow Liquids," *Science*, 158, 1184 (1967).
884. Engel O. G. "Crater Depth in Fluid Impacts," *J. Appl. Phys.*, 37, 1798 (1966).
885. Engel O. G. "Initial Pressure, Initial Flow Velocity, and The Time Dependence of Crater Depth in Fluid Impacts," *J. Appl. Phys.*, 38, 3935 (1967).
886. Rambant P. C., Bourland C. T., Heidelbaugh N. D., Huber C. S., Smith M. C. Jr., *Some Flow Properties of Foods in Null Gravity*, *Food Tech.*, 26, 58 (1972).
887. Lane W. R., Green H. L. "The Mechanics of Drops and Bubbles," in *Surveys in Mechanics*, G. K. Batchelor and R. M. Davies, eds., Cambridge Univ. Press, Cambridge (1956), pp. 162-219.
888. Davies D. P. "Road Marks," *New Scientist*. 47, 42 (1970).
889. Durrell L. *Prospero's Cell*, Dutton, New York (1962), pp. 38-39.
890. Ламб Г. *Гидродинамика*.—Л.: ГТТИ, 1947.
891. Rayleigh, Lord, "Foam" in Ref. 129, Vol. 4, pp. 26-38.
892. Hardy W. B. "Films" in Ref. 129, Vol. 9, pp. 109-113.
893. McCutchen C. W. "Surface Films Compacted by Moving Water: Demarcation Lines Reveal Film Edges," *Science*, 170, 61 (1970).
894. Mockros L. F., Krone R. B., "Hydrodynamic Effects on an Interfacial Film," *Science*, 161, 361 (1968).
895. Dietz R. S., Lafond E. C. "Natural Slicks," *J. Marine Res.*, 9, 69 (1950).
896. Ewing G. "Slicks, Surface Films, and Internal Waves," *J. Marine Res.*, 9, 161 (1950).
897. Stommel H. "Streaks on Natural Water Surfaces," *Weather*, 6, 72 (1951).
898. Totton A. K. "Calm Lanes in Ruffled Water," *Weather*, 5, 289 (1950).
899. Taylor G. I. "The Dynamics of Thin Sheets of Fluid. I. Water Bells," *Proc. Roy. Soc. Lond.*, A253, 289 (1959); also in Ref. 255, Vol. IV, pp. 344-350.
900. Hopwood F. L. "Water Bells," *Proc. Physical Soc. (London)*, B65, 2 (1952).
901. Lance G. N., Perry R. L. "Water Bells," *Proc. Physical Soc., (London)*, B66, 1067 (1953).
902. Parlange J.-Y. "A Theory of Water Bells," *J. Fluid Mech.*, 29, 361 (1967).
903. Huang C. P., Lienhard J. H. "The Influence of Gravity upon the Shape of Water Bells," *J. Appl. Mech., Trans. Am. Soc. Mechanical Engineers, Part E*, 33, 457 (1966).
904. Tyndall J. "On Some Phenomena Connected with the Motion of Liquids" in Ref. 129, Vol. 1, pp. 131-133.
905. Taylor G. I. "The Dynamics of Thin Sheets of Fluid. II. Waves on Fluid Sheets," *Proc. Roy. Soc. Lond.*, A253, 296 (1959); also in Ref. 255, Vol. IV, p. 351.
906. Taylor G. I. "The Dynamics of Thin Sheets of Fluid. III. Disintegration of Fluid Sheets," *Proc. Roy. Soc. Lond.*, A253, 313 (1959); also in Ref. 255, Vol. IV, p. 368.
907. Taylor G. I. "Formation of Thin Flat Sheets of Water," *Proc. Roy. Soc. Lond.*, A259, 1 (1960); also in Ref. 255, Vol. IV, p. 378.
908. Bond W. N. "The Surface Tension of a Moving Water Sheet," *Proc. Physical Soc. (London)*, 47, 549 (1935).
909. Huang J. C. P. "The Break-up of Axisymmetric Liquid Sheets," *J. Fluid Mech.*, 43, 305 (1970).
910. Huang J. C. "Dynamics of Free Axisymmetric Liquid Sheets," *Bulletin 306, Research Division, College of Engineering, Washington State Univ., Pullman, Wash.* (Aug. 1967).
911. Reiner M. "The Teapot Effect... A Problem," *Phys. Today*, 9, 16 (Sept. 1956).
912. Keller J. B. "Teapot Effect," *J. Appl. Phys.*, 28, 859 (1957).
913. French T. "Pneumatic Tyres," *Science J.*, 5A, 35 (Nov. 1969).
914. Reynolds O. "On the Floating of Drops on the Surface of Water Depending Only on the Purity of the Surface" in Ref. 594, pp. 413-414.
915. Benedicks C., Sederholm P. "Adsorption as the Cause of the Phe-

nomenon of the 'Floating Drop,' and Foam Consisting Solely of Liquids," *Nature*, **153**, 80 (1944).

916. Schol G. In "The Amateur Scientist," C. L. Stong, ed., *Sci. Amer.*, **229**, 104 (Aug. 1973).

917. Collyer A. A. "Demonstrations with Viscoelastic Liquids," *Phys. Ed.*, **8**, 111 (1973).

918. Barnes G., Woodcock R. "Liquid Rope-Coil Effect," *Am. J. Phys.*, **26**, 205 (1958).

919. Barnes G., MacKenzie J. "Height of Fall Versus Frequency in Liquid Rope-Coil Effect," *Am. J. Phys.*, **27**, 112 (1959).

920. Taylor G. I. "Instability of Jets, Threads, and Sheets of Viscous Fluids" in Ref. 255, Vol. IV, pp. 543-546.

921. Trevena D. H. "Elastic Liquids," Sources of Physics Teaching, Part 5, Taylor and Francis, London (1970), pp. 57-68.

922. Kaye A. "A Bouncing Liquid Stream," *Nature*, **197**, 1001 (1963).

923. Лодж А. С. Эластичные жидкости. Введение в реологию конечного-деформируемых полимеров.— М.: Мир, 1972.

924. Longwell P. A. *Mechanics of Fluid Flow*, McGraw-Hill, New York (1966).

925. Fredrickson A. G. *Principles and Applications of Rheology*, Prentice-Hall, New Jersey (1964).

926. Reiner M. "Phenomenological Macrorheology," in *Rheology Theory and Applications*, Vol. 1, F. R. Eirick, ed., Academic Press, New York (1956), pp. 9-62.

927. Oldroyd J. G. "Non-Newtonian Flow of Liquids and Solids," in *Rheology Theory and Applications*, Vol. I, F. R. Eirick, ed., Academic Press, New York (1956), pp. 653-682.

928. Jobling A., Roberts J. E. "Goniometry of Flow and Rupture," in *Rheology Theory and Applications*, Vol. II, F. R. Eirick, ed., Academic Press, New York (1958), pp. 503-535.

929. Muller H. G. "Weissenberg Effect in the Thick White of the Hen's Egg," *Nature*, **189**, 213 (1961).

930. Sharman R. V. "Non-Newtonian Liquids," *Phys. Ed.*, **4**, 375 (1969).

931. Saville D. A., Thompson D. W.

"Secondary Flows Associated with the Weissenberg Effect," *Nature*, **223**, 391 (1969).

932. Stong C. L., ed. "The Amateur Scientist," *Sci. Amer.*, **212**, 118 (Jan. 1965).

933. Wiegand J. H. "Demonstrating the Weissenberg Effect with Gelatin," *J. Chem. Ed.*, **40**, 475 (1963).

934. Pryce-Jones J. "The Rheology of Honey," in *Foodstuffs. Their Plasticity, Fluidity and Consistency*, G. W. Scott Blair, ed., Wiley-Interscience, New York (1953), pp. 148-176.

935. Bosworth R. C. L. *Physics in Chemical Industry*, Macmillan, London (1950).

936. Stanley R. C. "Non Newtonian Viscosity and Some Aspects of Lubrication," *Phys. Ed.*, **7**, 193 (1972).

937. Bauer W. H., Collins E. A. "Thixotropy and Dilatancy," Chapter 8 of *Rheology Theory and Applications*, Vol. 4, F. R. Eirick, ed., Academic Press, New York (1967), pp. 423-459.

938. Collyer A. A. "Time Independent Fluids," *Phys. Ed.*, **8**, 333 (1973).

939. Busse W. F., Starr F. C. "Change of a Viscoelastic Sphere to a Torus by Random Impacts," *Am. J. Phys.*, **28**, 19 (1960).

940. James D. F. "Open Channel Siphon with Viscoelastic Fluids," *Nature*, **212**, 754 (1966).

941. Matthes G. H. "Quicksand," *Sci. Amer.*, **188**, 97 (June 1953).

942. Goldsmith H. L., Mason S. G. "The Microrheology of Dispersions" in *Rheology Theory and Applications*, Vol. 4, F. R. Eirick, ed., Academic Press, New York (1967), pp. 191-194.

943. Heller J. P. "An Unmixing Demonstration," *Am. J. Phys.*, **28**, 348 (1960).

944. Cornish R. E. "Improving Underwater Vision of Lifeguards and Naked Divers," *J. Opt. Soc. Am.*, **23**, 430 (1933).

945. Baddeley A. D. "Diver Performance" in *Underwater Science*, J. D. Woods and J. N. Lythgoe, eds., Oxford Univ. Press, New York (1971), pp. 47-50.

946. Laird E. R. "The Position of the Image of an Object under Water," *Am. J. Phys.*, **6**, 40 (1938).

947. Reese H. M. "Where is a Fish Seen?", *Am. J. Phys.*, **6**, 163 (1938); with reply by E. R. Laird.

948. Arvidsson G. "Image of an Object under Water," *Am. J. Phys.*, **6**, 164 (1938).

949. Kinsler L. E. "Imaging of Underwater Objects," *Am. J. Phys.*, **13**, 255 (1945).

950. Bruyne N. A. de. "The Action of Adhesives," *Sci. Amer.*, **206**, 114 (Apr. 1962).

951. Adler C. "Shadow-Sausage Effect," *Am. J. Phys.*, **35**, 774 (1967).

952. Smith M. J. "Comment on: Shadow-Sausage Effect," *Am. J. Phys.*, **36**, 912 (1968).

953. Swindell W. "Effect of Environmental Changes on the Ghosting of Distant Objects in Twin-Glazed Windows," *Appl. Optics*, **11**, 2033 (1972).

954. Миннарт М. Свет и цвет в природе.— М.: Наука, 1969.

955. Ives R. L. "Meteorological Conditions Accompanying Mirages in the Salt Lake Desert," *J. Franklin Institute*, **245**, 457 (1948).

956. Ashmore S. E. "A North Wales Road-Mirage," *Weather*, **10**, 336 (1955).

957. Paton J. "The Optical Properties of the Atmosphere," *Weather*, **3**, 243 (1948).

958. Ives R. L. "Recurrent Mirages at Puerto Penasco, Sonora," *J. Franklin Institute*, **252**, 285 (1951).

959. Ives R. L. "The Mirages of La Encantada," *Weather*, **23**, 55 (1968).

960. Vollprecht R. "The 'Cold Mirage' in Western Australia," *Weather*, **2**, 174 (1947).

961. Botley C. M. "Folk-Lore in Meteorology," *Weather*, **21**, 263 (1966).

962. Botley C. M. "Mirages — What's in a Name?", *Weather*, **20**, 22 (1965).

963. Strouse W. M. "Bouncing Light Beam," *Am. J. Phys.*, **40**, 913 (1972).

964. Cameron W. S., Glenn J. H., Carpenter M. S., O'Keefe J. A. "Effect of Refraction on the Setting Sun as Seen from Space in Theory and Observation," *Astron. J.*, **68**, 348 (1963).

965. Photos, *National Geographic Mag.*, **135**, 370-371 (1969); **128**, 682-683 (1965).

966. O'Connell D. J. K. *The Green Flash and Other Low Sun Phenome-*

na, North Holland Publishing Co., Amsterdam (1958); order from the Vatican Observatory, Castel Gandolfo, Italy.

967. O'Connell D. J. K. "The Green Flash," *Sci. Amer.*, **202**, 112 (Jan. 1960).

968. O'Connell D. J. K. "The Green Flash and Kindred Phenomena," *Endeavor*, **20**, 131 (1961).

969. Taylor J. H., Matthias B. T. "Green Flash from High Altitude," *Nature*, **222**, 157 (1969).

970. Seebold R. E. "Green Flash," *J. Opt. Soc. Am.*, **51**, 237 (1961).

971. Koblents Ya. P. "Conditions Attending a Green Flash in the Antarctic," *Sov. Antarctic Expedition Information Bul.* (transl. from Russian), no. **73**, 57 (1969).

972. Thackeray A. D. "An Unusual View of the Green Flash," *Mon. Notes Astron. Soc. South Africa*, **27**, 131 (1968).

973. Feibelman W. A. "Low Sun Phenomena," *Appl. Optics*, **2**, 199 (1963).

974. Kirkpatrick P. "Green Flash," *Am. J. Phys.*, **24**, 532 (1956).

975. Lovell D. J. "Green Flash at Sunset," *Am. J. Phys.*, **25**, 206 (1957).

976. Ellis J. W. "Green Flash from a Looming Setting Sun," *Am. J. Phys.*, **25**, 387 (1957).

977. Gorton H. C. "Method to Facilitate Observation of the Green Flash," *Am. J. Phys.*, **25**, 586 (1957).

978. Jacobsen T. S. "The Green Flash at Sunset and at Sunrise," *Sky Telescope*, **12**, 233 (July 1953).

979. Ashmore S. E. "A Note on the Green Ray," *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, **71**, 383 (1945).

980. Hulburt E. O. "The Green Segment Seen from an Airplane," *J. Opt. Soc. Am.*, **39**, 409 (1949).

981. Wilson R. H., Jr. Letter on green flash, *Sky Telescope*, **42**, 327 (Dec. 1971).

982. Feibelman W. A. In "The Amateur Scientist," C. L. Stong, ed., *Sci. Amer.*, **204**, 177 (Jan. 1961).

983. Tricker R. A. R. *Introduction to Meteorological Optics*, American Elsevier, New York (1970).

984. Fitch J. M. "The Control of the Luminous Environment," *Sci. Amer.*, **219**, 190 (Sep. 1968).

985. Hull N. "Simple Visual Aid to Understanding Plane Mirrors at an Angle Theta," *Am. J. Phys.*, **27**, 610 (1959).

986. Kulkarni V. M. "Number of Images Produced by Multiple Reflection," *Am. J. Phys.*, **28**, 317 (1960).

987. Liu C.-H. "Number of Images Produced by Multiple Reflection," *Am. J. Phys.*, **30**, 380 (1962).

988. Brown F. L. "Multiple Reflections from Plane Mirrors," *Am. J. Phys.*, **13**, 278 (1945).

989. Chai A.-T. "The Number of Images of an Object between Two Plane Mirrors," *Am. J. Phys.*, **39**, 1390 (1971).

990. Goodell J. B. "On the Appearance of the Sea Reflected Sky," *Appl. Optics*, **10**, 223 (1971).

991. Minnaert M. "Unusual or Neglected Optical Phenomena in the Landscape," *J. Opt. Soc. Am.*, **58**, 297 (1968).

992. Jerlov N. G. *Optical Oceanography*, Elsevier, New York (1968).

993. Hirsh, F. R., Jr., Thorndike E. M. "On the Pinhead Shadow Inversion Phenomenon," *Am. J. Phys.*, **12**, 164 (1944).

994. Young M. "Pinhole Imagery," *Am. J. Phys.*, **40**, 715 (1972).

995. Young M. "Pinhole Optics," *Appl. Optics*, **10**, 2763 (1971).

996. Baez A. V. "Pinhole-Camera Experiment for the Introductory Physics Course," *Am. J. Phys.*, **25**, 636 (1957).

997. Turner L. A. "Resolving Power and the Theory of the Pinhole Camera," *Am. J. Phys.*, **8**, 112 (1940).

998. Turner L. A. "Best Definition with the Pinhole Camera," *Am. J. Phys.*, **8**, 365 (1940).

999. Arakawa H. "Crescent-shaped Shadows during a Partial Eclipse of the Sun," *Weather*, **16**, 254 (1961).

1000. Howard J. A. "Increased Luminance in the Direction of Reflex Reflexion — A Recently Observed Natural Phenomenon," *Nature*, **224**, 1102 (1969).

1001. Minnaert M. "Retro-reflection," *Nature*, **225**, 718 (1970).

1002. Preston J. S. "Retro-reflexion by Diffusing Surfaces," *Nature*, **213**, 1007 (1967).

1003. "'Hot-Spot' in Aerial Photograph," *Weather*, **21**, 288 (1966).

1004. Butler C. P. "Heiligenschein Seen from an Airplane," *J. Opt. Soc. Am.*, **45**, 328 (1955).

1005. Wildey R. L., Pohn H. A. "The Normal Albedo of the Apollo 11 Landing Site and Intrinsic Dispersion in the Lunar Heiligenschein," *Astrophys. J.*, **158**, L 129 (1969).

1006. Pohn H. A., Radin H. W., Wildey R. L. "The Moon's Photometric Function Near Zero Phase Angle from Apollo 8 Photography," *Astrophys. J.*, **157**, L 193 (1969).

1007. Mattsson J. O., Cavallin C. "Retroreflection of Light from Dew-Covered Surfaces and an Image-Producing Device for Registration of this Light," *Oikos*, **23**, 285 (1972).

1008. Monteith J. L. "Refraction and the Spider," *Weather*, **9**, 140 (1954).

1009. Jacobs S. F. "Self-Centered Shadow," *Am. J. Phys.*, **21**, 234 (1953).

1010. Wanta R. C. "The Self-Centered Shadow," *Am. J. Phys.*, **21**, 578 (1953).

1011. Van Lear G. A., Jr. "Reflectors Used in Highway Signs and Warning Signals. Parts I, II, and III," *J. Opt. Soc. Am.*, **30**, 462 (1940).

1012. Pirie A. "The Biochemistry of the Eye," *Nature*, **186**, 352 (1960).

1013. Vonnegut B., Moore C. B. "Visual Analogue of Radar Bright Band Phenomenon," *Weather*, **15**, 277 (1960).

1014. Van de Hulst H. C. *Light Scattering by Small Particles*, Wiley, New York (1957).

1015. Boyer C. B. "Kepler's Explanation of the Rainbow," *Am. J. Phys.*, **18**, 360 (1950).

1016. Querfeld C. W. "Mie Atmospheric Optics," *J. Opt. Soc. Am.*, **55**, 105 (1965).

1017. Nussenzveig H. N. "High-Frequency Scattering by a Transparent Sphere. II. Theory of the Rainbow and the Glory," *J. Math. Phys.*, **10**, 125 (1969).

1018. McDonald J. E. "Caustic of the Primary Rainbow," *Am. J. Phys.*, **31**, 282 (1963).

1019. Mason E. A., Munn R. J., Smith F. J. "Rainbows and Glories in Molecular Scattering," *Endeavor*, **30**, 91 (1971).

1020. Boyer C. B. *The Rainbow from Myth to Mathematics*, Thomas Yose-
loff, New York (1959).

1021. Malkus W. V. R. "Rainbows and
Cloudbows," *Weather*, **10**, 331
(1955).

1022. Fraser A. B. "Inhomogeneities
in the Color and Intensity of the Rain-
bow," *J. Atmos. Sci.*, **29**, 211 (1972).

1023. Greenler R. G. "Infrared Rain-
bow," *Science*, **173**, 1231 (1971).

1024. Saunders P. M. "Infra-Red
Rainbow," *Weather*, **13**, 352 (1958).

1025. Walker D. "A Rainbow and
Supernumeraries with Graduated Sepa-
rations," *Weather*, **5**, 324 (1950).

1026. Humphreys W. J. "Why We
Seldom See A Lunar Rainbow,"
Science, **88**, 496 (1938).

1027. Wentworth C. K. "Frequency
of Lunar Rainbows," *Science*, **88**, 498
(1938).

1028. McIntosh D. H., ed. *Meteorolo-
gical Glossary*, Her Majesty's Sta-
tionary Office, London (1963).

1029. Bull G. A. "Reflection Rain-
bow," *Weather*, **16**, 267 (1961).

1030. Mattsson J. O., Nordbeck S.,
Rystedt B. "Dewbows and Fogbows
in Divergent Light," *Lund Studies in
Geography, Ser. C. General, Mathe-
matical and Regional Geography*,
No. 11 (1971); order from authors,
Dept. of Geography, Lunds Univer-
sitet, Soelvegaton 13, S-223 62 Lund,
Sweden.

1031. McDonald J. E. "A Gigantic
Horizontal Cloudbow," *Weather*, **17**,
243 (1962).

1032. Palmer F. "Unusual Rain-
bows," *Am. J. Phys.*, **13**, 203 (1945).

1033. Ohtake T., Jayaweera K. O. L. F.
"Ice Crystal Displays from Pow-
er Plants," *Weather*, **27**, 271 (1972).

1034. Greenler R. G., Mallmann A. J.
"Circumscribed Halos," *Science*, **176**,
128 (1972).

1035. Botley C. M. "Halos and Co-
ronae," *Weather*, **1**, 85 (1946).

1036. Lacy R. E. "The Halo Display
of 2 March 1954," *Weather*, **9**, 206
(1954).

1037. Photographs, *Weather*, **27**, 240
(1972).

1038. Evans W. F. J., Tricker R. A. R.
"Unusual Arcs in the Saskatoon Halo
Display," *Weather*, **27**, 234 (1972).

1039. Brain J. P. "Halo Phenome-

na — An Investigation," *Weather*,
27, 409 (1972).

1040. Jacobowitz H. "A Method for
Computing the Transfer of Solar Ra-
diation through Clouds of Hexagonal
Ice Crystals," *J. Quantative Spec-
trosc. Radiat. Transfer*, **11**, 691
(1971).

1041. Tricker R. A. R. "A Note on
J. R. Blake's 'Circumscribed Halo,'"
Weather, **28**, 159 (1973).

1042. Mattsson J. O. "Experimental
Optical Phenomena," *Weather*, **21**,
14 (1966).

1043. Neuberger H. "Forecasting Sig-
nificance of Halos in Proverb and
Statistics," *Bul. Am. Met. Soc.*, **22**,
105 (1941).

1044. Davies P. W. "Upper Tangent
Arc to the 22° Solar Halo," *Weather*,
21, 138 (1966).

1045. Jones G. A., Wiggins K. J.
"Halo Phenomena at Odiham," *Weat-
her*, **19**, 289 (1964).

1046. Goldie E. C. W., Heighes J. M.
"The Berkshire Halo Display of
11 May 1965," *Weather*, **23**, 61
(1968).

1047. Winstanley D. "Halo Phenome-
na over Oxford on 12 June 1969,"
Weather, **25**, 131 (1970).

1048. Goldie E. C. W. "A Graphical
Guide to Haloes," *Weather*, **26**, 391
(1971).

1049. Ripley E. A., Saugier B. "Pho-
tometeors at Saskatoon on 3 Decem-
ber 1970," *Weather*, **26**, 150 (1971).

1050. Stevens G. C., Fritz S. "Two
Halo Displays over Eastern U. S.
in December 1948," *Bul. Am. Met.
Soc.*, **31**, 318 (1950).

1051. Minnaert M. "An Exceptional
Phenomenon of Atmospheric Optics:
A One-Sided Mosksun at 3° 30'," *Weather*,
21, 250 (1966).

1052. Jacquinet P., Squire C. "Note
on Reflection and Diffraction from
Ice Crystals in the Sky," *J. Opt. Soc.
Am.*, **43**, 318 (1953).

1053. Squire C. F. "Note on Refle-
ction and Diffraction from Ice Crys-
tals in the Sky," *J. Opt. Soc. Am.*, **42**,
782 (1952).

1054. Verschure P. P. H. "Rare Halo
Displays in Amsterdam," *Weather*,
26, 532 (1971).

1055. Rott H. "Sub-Sun and Sub-
Parhelion," *Weather*, **28**, 65 (1973).

1056. Botley C. M. "Parry of the Par-

ry Arc," *Weather*, **10**, 343 (1955).

1057. Goldie E. C. W. "Observation
of a Rare Halo," *Weather*, **19**, 328
(1964).

1058. Tricker R. A. R. "Observations
on Certain Features to be Seen in
a Photograph of Haloes Taken by
Dr. Emil Schulthess in Antarctica,"
Quart. J. Roy. Met. Soc., **98**, 542
(1972).

1059. Georgi J. "A 22° Halo Repre-
sented by the Photographic Sky-Mir-
ror," *Weather*, **18**, 135 (1963).

1060. Scorer R. S. "Rare Halo in
'Arctic Smoke,'" *Weather*, **18**, 319
(1963).

1061. Neuberger H. "When a Rare
Halo is Photographed, a Jet Contrail
Is Not Important," *Bul. Am. Met.
Soc.*, **49**, 1060 (1968).

1062. Deirmendjian D. "Sun's Image
on Airborne Ice Crystals?," *Appl.
Optics*, **7**, 556 (1968).

1063. Barmore F. E. "Comments on
Sun's Image on Airborne Ice Crys-
tals," *Appl. Optics*, **7**, 1654 (1968).

1064. Jayaweera K. O. L. F., Wen-
dler G. "Lower Parry Arc of the sun,"
Weather, **27**, 50 (1972).

1065. Greenler R. G., Drinkwine M.,
Mallmann A. J., Blumenthal G. "The
Origin of Sun Pillars," *Am. Scient-
ist*, **60**, 292 (1972).

1066. Mattsson J. O. "Sub-Sun' and
Light-Pillars of Street Lamps," *Weat-
her*, **28**, 66 (1973).

1067. Gall J. C., Graves M. E. "Pos-
sible Newly Recognized Meteorolo-
gical Phenomenon Called Crown
Flash," *Nature*, **229**, 184 (1971).

1068. Graves M. E., Gall J. C.,
Vonnegut B. "Meteorological Phenom-
enon Called Crown Flash," *Nature*,
231, 258 (1971).

1069. Vonnegut B. "Orientation of
Ice Crystals in the Electric Field of
a Thunderstorm," *Weather*, **20**, 310
(1965).

1070. Shurcliff W. A., Ballard S. S.
Polarized Light, D. Van Nostrand,
New Jersey (1964).

1071. Grabau M. "Polarized Light
Enters the World of Everyday Life,"
J. Appl. Phys., **9**, 215 (1938).

1072. Land E. H. "Polaroid and the
Headlight Problem," *J. Franklin In-
stitute*, **224**, 269 (1937).

1073. Meyer-Arendt J. R., Alexander
T. M., Landes C. M., Wilder K. "Gra-

- dient Density Glasses for Night Driving," *Appl. Optics*, **9**, 2176 (1970).
1074. Land E. H. "Some Aspects of the Development of Sheet Polarizers," *J. Opt. Soc. Am.*, **41**, 957 (1951); also in *Polarized Light*, published by the Am. Institute of Physics (1963).
1075. Rozenberg G. V. *Twilight: A Study in Atmospheric Optics*, Plenum Press, New York (1966).
1076. Hallden U. "A Simple Device for Observing the Polarization of Light from the Sky," *Nature*, **182**, 333 (1958).
1077. Baez A. V. "Photoelastic Patterns without Crossed Polarizer and Analyzer," *Am. J. Phys.*, **22**, 39 (1954).
1078. Ferguson I. F. "Photoelastic Patterns without Crossed Polarizer and Analyzer," *Am. J. Phys.*, **22**, 495 (1954).
1079. Rayleigh, Lord, "The Blue Sky and the Optical Properties of Air" in *Ref. 129*, Vol. 8, pp. 309-317.
1080. Cornford S. G. "An Effect of Polarized Sky Light," *Weather*, **23**, 39 (1968).
1081. Wilson R. M., Gardner E. J., Squire R. H. "The Absorption of Light by Oriented Molecules," *J. Chem. Ed.*, **50**, 94 (1973).
1082. Wood E. A. *Crystals and Light*, Van Nostrand, Momentum, New Jersey (1964).
1083. Mason S. F. "Optical Activity and Molecular Dissymmetry," *Contemp. Phys.*, **9**, 239 (1968).
1084. Nye J. F. *Physical Properties of Crystals*, Oxford, London (1957), pp. 260-274.
1085. Lockley R. M. *Animal Navigation*, Hart, New York (1967).
1086. Kennedy D., Baylor E. R. "Analysis of Polarized Light by the Bee's Eye," *Nature*, **191**, 34 (1961).
1087. Kalmus H. "Orientation of Animals to Polarized Light," *Nature*, **184**, 228 (1959).
1088. Waterman T. "Polarized Light and Animal Navigation," *Sci. Amer.*, **193**, 88 (July 1955); also in *Polarized Light* published by the Am. Institute of Physics (1963).
1089. Snyder A. W., Pask C. "How Bees Navigate," *Nature*, **239**, 48 (1972).
1090. Seliger H. H., McElroy W. D. *Light: Physical and Biological Action*, Academic Press, New York (1965).
1091. Helmholtz H. von, *Physiological Optics*, J. P. C. Southall, ed., Dover, New York (1962).
1092. Helmholtz H. von, pp. 304-307 of *Ref. 1091*; also in *Polarized Light*, Published by the Am. Institute of Physics (1963).
1093. Shurcliff W. A. "Haidinger's Brushes and Circularly Polarized Light," *J. Opt. Soc. Am.*, **45**, 399 (1955); also in *Polarized Light*, published by the Am. Institute of Physics (1963).
1094. Summers D. M., Friedmann G. B., Clements R. M. "Physical Model for Haidinger's Brush," *J. Opt. Soc. Am.*, **60**, 271 (1970).
1095. Weihs D. "Hydrodynamics of Fish Schooling," *Nature*, **241**, 290 (1973).
1096. Fahy E. F., MacConaill M. A. "Optical Properties of 'Cellophane'," *Nature*, **178**, 1072 (1956).
1097. Winans J. G. "Demonstrations with Half-Wave Plates," *Am. J. Phys.*, **21**, 170 (1953).
1098. Panoofsky W. K. H., Phillips M. *Classical Electricity and Magnetism*, Addison-Wesley, Mass., (1962), Sec. 22-8 and pp. 414 ff.
1099. Lorentz H. A. *Problems of Modern Physics*, Dover, New York (1967), pp. 52 ff.
1100. Reif F. *Statistical Physics*, Berkeley Physics Course, Vol. 5, McGraw-Hill, New York (1964), p. 33.
1101. La Mer V. K., Kerker M. "Light Scattered by Particles," *Sci. Amer.*, **188**, 69 (Feb. 1953).
1102. Dave J. V., Mateer C. L. "The Effect of Stratospheric Dust on the Color of the Twilight Sky," *J. Geophys. Res.*, **73**, 6897 (1968).
1103. Ives R. L. "Apparent Relation of 'Stepped' Sunset Red to Inversions," *Bul. Am. Met. Soc.*, **40**, 311 (1959).
1104. Volz F. E. "Twilights and Stratospheric Dust before and after the Agung Eruption," *Appl. Optics*, **8**, 2505 (1969).
1105. Shah G. M. "Enhanced Twilight Glow Caused by the Volcanic Eruption on Bali Island in Marcz and September 1963," *Tellus*, **21**, 636 (1969).
1106. Volz F. E. "Twilight Phenomena Caused by the Eruption of Agung Volcano," *Science*, **144**, 1121 (1964).
1107. Meinel M. P., Meinel A. B. "Late Twilight Glow of the Ash Stratum from the Eruption of Agung Volcano," *Science*, **142**, 582 (1963).
1108. Burdecki F. "Meteorological Phenomena after Volcanic Eruptions," *Weather*, **19**, 113 (1964).
1109. Lamb H. H. "Volcanic Dust in the Atmosphere; With a Chronology and Assessment of its Meteorological Significance," *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.*, **A266**, 425 (1970).
1110. Deacon E. L. "The Second Purple Light," *Nature*, **178**, 688 (1956).
1111. Middleton W. E. K. *Vision through the Atmosphere*, Univ. Toronto Press, Toronto (1968).
1112. Went F. W. "Air Pollution," *Sci. Amer.*, **192**, 62 (May 1955).
1113. Стефансон В. *Гостеприимная Арктика*.— М.: Географгиз, 1948.
1114. Bmith A. G. "Daylight Visibility of Stars from a Long Shaft," *J. Opt. Soc. Am.*, **45**, 482 (1955).
1115. Hynek J. A. "Photographing Stars in the Daytime," *Sky Telescope*, **10**, 61 (1951).
1116. Tyler J. E. "Colour of 'Pure Water,'" *Nature*, **208**, 549 (1965).
1117. Stamm G. L., Langel R. A. "Some Spectral Irradiance Measurements of Upwelling Natural Light of the East Coast of the United States," *J. Opt. Soc. Am.*, **51**, 1090 (1961).
1118. Rayleigh, Lord. "Colours of Sea and Sky" in *Ref. 129*, Vol. 7, pp. 93-99.
1119. Middleton W. E. K. "The Color of the Overcast Sky," *J. Opt. Soc. Am.*, **44**, 793 (1954).
1120. Скорезби В. Поденные записки о плавании на северный китовый промысел, содержащие исследования и обретеня на восточном береге Гренландии в продолжении лета 1822 года на судне Бофинс из Ливерпуля под начальством Виллиама Скорезби младшего.— С.-Пб., 1825.
1121. Moeller F. "On the Backscattering of Global Radiation by the Sky," *Tellus*, **17**, 350 (1965).
1122. Catchpole A. J. W., Moodie D. W. "Multiple Reflection in Arctic Regions," *Weather*, **26**, 157 (1971).

1123. Вайскопф В. Как свет взаимодействует с веществом (см. 440).
1124. Hallett J., Lewis R. E. J. "Mother-of-Pearl Clouds," *Weather*, **22**, 56 (1967).
1125. Scorer R. S. "Mother-of-Pearl Clouds," *Weather*, **19**, 115 (1964).
1126. McIntosh D. H. "Mother-of-Pearl Cloud over Scotland," *Weather*, **27**, 14 (1972).
1127. Williams G. C. "Nacreous Clouds Observed in Southeastern Alaska January 24, 1950," *Bul. Am. Met. Soc.*, **31**, 322 (1950).
1128. Sharpe J. M., Jr. "Nacreous Clouds at White Sands Missile Range," *Bul. Am. Met. Soc.*, **51**, 1148 (1970).
1129. Stormer C. "Mother-of-Pearl Clouds," *Weather*, **3**, 13 (1948).
1130. Pohl R. W. "Discovery of Interference by Thomas Young," *Am. J. Phys.*, **28**, 530 (1960).
1131. De Witte A. J. "Interference in Scattered Light," *Am. J. Phys.*, **35**, 301 (1967).
1132. Ferguson J. L. "Liquid Crystals," *Sci. Amer.*, **211**, 76 (Aug. 1964).
1133. Jeppesen, M. A., Hughes W. T. "Liquid Crystals and Newton's Rings," *Am. J. Phys.*, **38**, 199 (1970).
1134. Gray G. W. *Molecular Structure and the Properties of Liquid Crystals*, Academic Press, London (1962).
1135. Brown G. H., Dienes G. T., Labes M. M. *Liquid Crystals*, Gordon and Breach, New York (1967).
1136. Brown G. H. "Liquid Crystals and Their Roles in Inanimate and Animate Systems," *Am. Scientist*, **60**, 64 (1972).
1137. Luckhurst G. R. "Liquid Crystals," *Phys. Bul.*, **23**, 279 (1972).
1138. Wright W. D. "The Rays Are Not Coloured," *Nature*, **198**, 1239 (1963).
1139. Ghiradella H. D., Aneshansley, Eisner T., Silberglied R. E., Hinton H. E. "Ultraviolet Reflection of a male Butterfly: Interference Color Caused by Thin-Layer Elaboration of Wing Scales," *Science*, **178**, 1214 (1972).
1140. Anderson T. F., Richards A. G. Jr., "An Electron Microscope Study of Some Structural Colors of Insects," *J. Appl. Phys.*, **13**, 748 (1942).
1141. Merritt E. "A Spectrophotometric Study of Certain Cases of Structural Colors," *J. Opt. Soc. Am.*, **11**, 93 (1925).
1142. Mason C. W. "Structural Colors in Feathers," *J. Phys. Chem.*, **27**, 201, 401 (1923).
1143. Roosen R. G. "The Gegenschein," *Rev. Geophys. Space Phys.*, **9**, 275 (1971).
1144. Roosen R. G. "A Photographic Investigation of the Gegenschein and the Earth-Moon Libration Point L₅," *Icarus*, **9**, 429 (1968); also see photo in errata, *Icarus*, **10**, 352 (1969).
1145. Roosen R. G. "The Gegenschein and Interplanetary Dust outside the Earth's Orbit," *Icarus*, **13**, 184 (1970).
1146. Blackwell D. E. "The Zodiacal Light," *Sci. Amer.*, **203**, 54 (July 1960).
1147. Hulburt E. O. "Optics of Searchlight Illumination," *J. Opt. Soc. Am.*, **36**, 483 (1946).
1148. Kirkpatrick P. "A Binocular Illusion," *Am. J. Phys.*, **22**, 493 (1954).
1149. van de Hulst H. C. "A Theory of the Anti-Corona," *J. Opt. Soc. Am.*, **37**, 16 (1947).
1150. Naik Y. G., Joshi R. M. "Anti-Coronas or Brocken Bows," *J. Opt. Soc. Am.*, **45**, 733 (1955).
1151. Bryant H. C., Cox A. J. "Mie Theory and the Glory," *J. Opt. Soc. Am.*, **56**, 1529 (1966).
1152. Brandt J. C. "An Unusual Observation of the 'Glory,'" *Pub. Astron. Soc. Pacific*, **80**, 25 (1968).
1153. Saunders M. J. "Near-Field Backscattering Measurements from a Microscopic Water Droplet," *J. Opt. Soc. Am.*, **60**, 1359 (1970).
1154. Kang P., Mason E. A., Munn R. J. "'Glorified Shadows' in Molecular Scattering: Some Optical Analogies," *Am. J. Phys.*, **38**, 294 (1970).
1155. Fahlen T. S., Bryant H. C. "Direct Observation of Surface Waves on Water Droplets," *J. Opt. Soc. Am.*, **56**, 1635 (1966).
1156. Fahlen T. S., Bryant H. C. "Optical Back Scattering from Single Water Droplets," *J. Opt. Soc. Am.*, **58**, 304 (1968).
1157. Mellerio J., Palmer D. A. "Entopic Halos," *Vision Res.*, **10**, 595 (1970).
1158. Mellerio J., Palmar D. A. "Entopic Halos and Glare," *Vision Res.*, **12**, 141 (1972).
1159. Борн М., Вольф Э. *Основы оптики*.— М.: Наука, 1970.
1160. Paul W., Jones R. V. "Blue Sun and Moon," *Nature*, **168**, 554 (1951).
1161. Lothian G. F. "Blue Sun and Moon," *Nature*, **168**, 1086 (1951).
1162. Porch W. M., Ensor D. S., Charlson R. J., Heintzenberg J. "Blue Moon: Is This a Property of Background Aerosol?" *Appl. Optics*, **12**, 34 (1973).
1163. Horvath H. "On the Brown Colour of Atmospheric Haze," *Atmos. Environment*, **5**, 333 (1971); see also **6**, 143 (1972).
1164. Charlson R. J., Ahlquist N. C. "Brown Haze: NO₂ or Aerosol?" *Atmos. Environment*, **3**, 653 (1969).
1165. Fish B. R. "Electrical Generation of Natural Aerosols from Vegetation," *Science*, **175**, 1239 (1972).
1166. Went F. W. "Blue Hazes in the Atmosphere," *Nature*, **187**, 641 (1960).
1167. White H. E., Levatin P. "'Floater's' in the Eye," *Sci. Amer.*, **206**, 119 (June 1962).
1168. Fireman R. A., Prenner E., Norden H. In "The Amateur Scientist," C. L. Stong, ed., *Sci. Amer.*, **198**, 122 (June 1958).
1169. Meyer-Arendt J. R. *Introduction to Classical and Modern Optics*, Prentice-Hall, New Jersey (1972).
1170. Jenkins F. A., White H. E. *Fundamentals of Optics*, McGraw-Hill, New York (1957).
1171. Hulst M. E., Burgess R. D., Mitchell D. A., Warn D. W. "Visual, Photographic and Photoelectric Detection of Shadow Bands at the March 7, 1970, Solar Eclipse," *Nature*, **231**, 255 (1971).
1172. Susel F. M. "Recording the Eclipse Shadow Bands on Magnetic Tape," *J. Roy. Astron. Soc. Canada*, **65**, 273 (1971).
1173. Burgess R. D., Hulst M. E. "A Shadow-Band Experiment," *Sky Telescope*, **38**, 95 (Aug. 1969).
1174. Young A. T. *Sky Telescope*, **38**, 309 (Nov. 1969).

1175. Paulton E. M. "Recording Shadow Bands at the March Eclipse," *Sky Telescope*, **39**, 132 (Feb. 1970).
1176. Hulst M. *Sky Telescope*, **33**, 147 (Mar. 1967).
1177. Paulton E. M. "Eclipse Shadow Band Motion — An illusion?," *Sky Telescope*, **25**, 328 (June 1963).
1178. Paulton E. M. "Observing and Reporting Shadow Bands," *Sky Telescope*, **18**, 627 (Sep. 1959).
1179. Quann J. J., Daly C. J. "The Shadow Band Phenomenon," *J. Atmos. Terrestrial Phys.*, **34**, 577 (1972).
1180. Kerr D. E., Sivjee G. G., McKinney W., Takacs P., Fastie W. G. "Brightness of Forbidden OI Lines and Properties of Shadow Bands During the Eclipse of 7 March 1970," *J. Atmos. Terrestrial Phys.*, **34**, 585 (1972).
1181. Young A. T. "The Problem of Shadow Band Observations," *Sky Telescope*, **43**, 291 (1972).
1182. Ives R. L. "Sunset Shadow Bands," *J. Opt. Soc. Am.*, **35**, 736 (1945).
1183. Burke J. J. "Observations of the Wavelength Dependence of Stellar Scintillation," *J. Opt. Soc. Am.*, **60**, 1262 (1970).
1184. Young A. "Saturation of Scintillation," *J. Opt. Soc. Am.*, **60**, 1495 (1970).
1185. Riggs L. A., Mueller C. G., Graham C. H., Mote F. A. "Photographic Measurements of Atmospheric Boil," *J. Opt. Soc. Am.*, **37**, 415 (1947).
1186. Lawrence E. N. "Large Air-Temperature Lapse-Rates near the Ground," *Weather*, **27**, 27 (1972).
1187. Mikesell A. H., Hoag A. A., Hall J. S. "The Scintillation of Starlight," *J. Opt. Soc. Am.*, **41**, 689 (1951).
1188. Gifford F., Mikesell A. H. "Atmospheric Turbulence and the Scintillation of Starlight," *Weather*, **8**, 195 (1953).
1189. Ashkin A. "Acceleration and Trapping of Particles by Radiation Pressure," *Phys. Rev. Letters*, **24**, 156 (1970).
1190. Ashkin A., Dziedzic J. M. "Optical Levitation by Radiation Pressure," *Appl. Phys. Letters*, **19**, 283 (1971).
1191. Ashkin A. "The Pressure of Laser Light," *Sci. Amer.*, **226**, 62 (Feb. 1972).
1192. Vonnegut B., Weyer J. R. "Luminous Phenomena Accompanying Tornadoes," *Weatherwise*, **19**, 66 (1966).
1193. Vonnegut B., Weyer J. R. "Luminous Phenomena in Nocturnal Tornadoes," *Science*, **153**, 1213 (9 September 1966).
1194. Harvey E. H. *A History of Luminescence*, American Philosophical Society, Philadelphia (1957).
1195. Alzetta G., Chudacek I., Scarmozzino R. "Excitation of Triboluminescence by Deformation of Single Crystal," *Physica Status Solidi (A)*, **1**, 775 (1970).
1196. Smith H. M. "Synchronous Flashing of Fireflies," *Science*, **82**, 151 (16 August 1935).
1197. Buck J., Buck E. "Biology of Synchronous Flashing of Fireflies," *Nature*, **211**, 562 (1966).
1198. Buck J., Buck E. "Mechanism of Rhythmic Synchronous Flashing of Fireflies," *Science*, **159**, 1319 (1968).
1199. Hanson F. E., Case J. F., Buck E., Buck J. "Synchrony and Flash Entrainment in a New Guinea Firefly," *Science*, **174**, 161 (1971).
1200. McElroy W. D., Seliger H. H. "Biological Luminescence," *Sci. Amer.*, **207**, 76 (Dec. 1962).
1201. Bowen E. J., Garlick G. F. J. "Luminescence," *Intern. Sci. Tech.*, (Aug. 1966), p. 18.
1202. Zahl P. A. "Sailing a Sea of Fire," *Nat. Geographic Mag.*, **118**, 120 (July 1960).
1203. Daniels F., Jr., van der Leun J. C., Johnson B. E. "Sunburn," *Sci. Amer.*, **219**, 38 (July 1968).
1204. Greene C. H. "Glass," *Sci. Amer.*, **204**, 92 (Jan. 1961).
1205. Stevens W. R. *Building Physics: Lightning*, Pergamon Press, New York (1969).
1206. Hecht, E. "Speckle Patterns in Unfiltered Sunlight," *Am. J. Phys.*, **40**, 207 (1972).
1207. Rigden J. D., Gordon E. I. "The Granularity of Scattered Optical Maser Light," *Proc. Institute Radio Engineers (now: IEEE Proc.)*, **50**, 2367 (1962).
1208. Sinclair D. C. "Demonstration of Chromatic Aberration in the Eye Using Coherent Light," *J. Opt. Soc. Am.*, **55**, 575 (1965).
1209. Mallette V. "Comment on 'Speckle Patterns in Unfiltered Sunlight,'" *Am. J. Phys.*, **41**, 844 (1973).
1210. Rushton W. A. H. "Effect of Humming on Vision," *Nature*, **216**, 1173 (1967).
1211. Williams P. C., Williams T. P. "Effect of Humming on Watching Television," *Nature*, **239**, 407 (1972).
1212. Enright J. T. "Distortions of Apparent Velocity: A New Optical Illusion," *Science*, **168**, 464 (1970).
1213. Enright J. T. "Stereopsis, Visual Latency, and Three-dimensional Moving Pictures," *Am. Scientist*, **58**, 536 (1970).
1214. Julesz B., White B. "Short Term Visual Memory and the Pulfrich Phenomenon," *Nature*, **222**, 639 (1969).
1215. Hanstean R. W. "Visual Latency as a Function of Stimulus Onset, Offset, and Background Luminance," *J. Opt. Soc. Am.*, **61**, 1190 (1971).
1216. Ives R. L. "The Sequence Illusion," *J. Franklin Institute*, **230**, 755 (1940).
1217. Katz M. S., Schwartz I. "New Observation of the Pulfrich Effect," *J. Opt. Soc. Am.*, **45**, 523 (1955).
1218. Rogers B. J., Anstis S. M. "Intensity Versus Adaptation and the Pulfrich Stereophenomenon," *Vision Res.*, **12**, 909 (1972).
1219. Wilson J. A., Anstis S. M. "Visual Delay as a Function of Luminance," *Am. J. Psychology*, **82**, 350 (1969).
1220. Prestrude A. M., Baker H. D. "Light Adaptation and Visual Latency," *Vision Res.*, **11**, 363 (1971).
1221. Prestrude A. M. "Visual Latencies at Photopic Levels of Retinal Illuminance," *Vision Res.*, **11**, 351 (1971).
1222. Prestrude A. M., Baker H. D. "New Method of Measuring Visual-Perceptual Latency Differences," *Perception and Psychophysics*, **4**, 152 (1968).
1223. Oster G. "Phosphenes," *Sci. Amer.*, **222**, 82 (Feb. 1970).
1224. Moreland J. D. "On Demons-

trating the Blue Arcs Phenomenon," *Vision Res.*, **8**, 99 (1968).

1225. Moreland J. D. "Threshold Measurements of the Blue Arcs Phenomenon," *Vision Res.*, **8**, 1093 (1968).

1226. Moreland J. D. "Possible Mechanisms of the Blue Arcs of the Retina," *Proc. Physiological Soc.*, Jan. 10-11, 1969, *J. Physiology*, **201**, 60P (Apr. 1969).

1227. Moreland J. D. "Retinal Topography and the Blue-Arcs Phenomenon," *Vision Res.*, **9**, 965 (1969).

1228. Ratliff F. *Mach Bands: Quantitative Studies on Neural Networks in the Retina*, Holden-Day, Inc., San Francisco (1965).

1229. Ratliff F. "Contour and Contrast," *Sci. Amer.*, **226**, 90 (June 1972).

1230. Green D. C., Fast M. B. "On the Appearance of Mach Bands in Gradients of Varying Color," *Vision Res.*, **11**, 1147 (1971).

1231. Jacobson J. Z., Mac-Kinnon G. E. "Coloured Mach Bands," *Canadian J. Psychology and Review Canadian Psychology*, **23**, 56 (1969).

1232. Welford W. T. "The Visual Mach Effect," *Phys. Ed.*, **3**, 83 (1968).

1233. Cornsweet T. N. *Visual Perception*, Academic Press, New York (1970).

1234. Remole A. "Subjective Patterns in a Flickering Field: Binocular vs. Monocular Observation," *J. Opt. Soc. Am.*, **63**, 745 (1973).

1235. Hayward R. In "Amateur Scientist," C. L. Stong, ed., *Sci. Amer.*, **198**, 100 (Jan. 1958).

1236. Land E. H. "Experiments in Color Vision," *Sci. Amer.*, **200**, 84 (May 1959).

1237. Rushton W. A. H. "The Eye, the Brain and Land's Two-Colour Projections," *Nature*, **189**, 440 (1961).

1238. Land E. H. "Color Vision and the Natural Image," *Proc. Nat. Academy Sci.*, **45**, 115, 636 (1959).

1239. McCann J. J. "Rod-Cone Interactions: Different Color Sensations from Identical Stimuli," *Science*, **176**, 1255 (1972).

1240. Festinger L., Allyn M. R., White C. W. "The Perception of Color with Achromatic Stimulation," *Vision Res.*, **11**, 591 (1971).

1241. Campenhausen C. von. "The Colors of Benham's Top under Metameric Illuminations," *Vision Res.*, **9**, 677 (1969).

1242. Vatsa L. P. S. "Prevost-Fetchner-Benham Effect," *Am. J. Phys.*, **40**, 914 (1972).

1243. Hammond J. A. "Stroboscopic Effect with Fluorescent Lighting," *Am. J. Phys.*, **33**, 506 (1965).

1244. Baker D. J., Jr. "Time Dependence of Fluorescent Lamp Emission — A Simple Demonstration," *Am. J. Phys.*, **34**, 627 (1966).

1245. Hauver G. E. "Color Effect of Fluorescent Lighting," *Am. J. Phys.*, **17**, 446 (1949).

1246. Ficken G. W., Jr. "Melde Experiment Viewed with Fluorescent Lights," *Am. J. Phys.*, **39**, 63 (1968).

1247. Crookes T. G. "Television Images," *Nature*, **179**, 1024 (1957).

1248. Dadourian H. M. "The Moon Illusion," *Am. J. Phys.*, **14**, 65 (1946).

1249. Boring E. G. "The Perception of Objects," *Am. J. Phys.*, **14**, 99 (1946).

1250. Boring E. "The Moon Illusion," *Am. J. Phys.*, **11**, 55 (1943).

1251. Kaufman L., Rock I. "The Moon Illusion," *Science*, **136**, 953, 1023 (1962).

1252. Kaufman L., Rock I. "The Moon Illusion," *Sci. Amer.*, **207**, 120 (July 1962).

1253. Restle F. "Moon Illusion Explained on the Basis of Relative Size," *Science*, **167**, 1092 (1970).

1254. Miller A., Neuberger H. "Investigations into the Apparent Shape of the Sky," *Bull. Am. Met. Soc.*, **26**, 212 (1945).

1255. Sundet J. M. "The Effect of Pupil Size Variations on the Colour Stereoscopic Phenomenon," *Vision Res.*, **12**, 1027 (1972).

1256. Kishto B. N. "The Colour Stereoscopic Effect," *Vision Res.*, **5**, 313 (1965).

1257. Vos J. J. "Some New Aspects of ColorStereoscopy," *J. Opt. Soc. Am.*, **50**, 785 (1960).

1258. Vos J. J. "An Antagonistic Effect in Colour Stereoscopy," *Ophthalmologica*, **142**, 442 (1963).

1259. Vos J. J. "The Colour Stereoscopic Effect", *Vision Res.*, **6**, 105 (1966).

1260. Greenslade T. B., Green M. W. "Experiments with Stereoscopic Images," *Phys. Teacher*, **11**, 215 (1973).

1261. Bugelski B. R. "Traffic Signals and Depth Perception," *Science*, **157**, 1464 (1967).

1262. Fritz S. "The 'Polar Whiteout'," *Weather*, **12**, 345 (1957).

1263. Kilston S., Sagan C., Drummond R. "A Search for Life on Earth at Kilometer Resolution," *Icarus*, **5**, 79 (1966).

1264. Boeke K. *Cosmic View, the Universe in 40 Jumps*, John Day Co., Inc, New York (1957).

1265. Parmenter F. C. "Trans-Canada Highway," *Mon. Weather Rev.*, **98**, 252 (1970).

1266. Berry M. V. "Reflections on a Christmas-tree Bauble," *Phys. Ed.*, **7**, 1 (1972).

1267. Woods E. A. "Moiré Patterns — A Demonstration," *Am. J. Phys.*, **30**, 381 (1962).

1268. Stecher M. "The Moiré Phenomenon," *Am. J. Phys.*, **32**, 247 (1964).

1269. Oster G., Nishijima Y. "Moiré Patterns," *Sci. Amer.*, **208**, 54 (May 1963).

1270. Stong C. L. "Moiré Patterns Provide both Recreation and Some Analogues for Solving Problems" in "The Amateur Scientist," *Sci. Amer.*, **211**, 134 (Nov. 1964).

1271. Mawdsley J. "Demonstrating Phase Velocity and Group Velocity," *Am. J. Phys.*, **37**, 842 (1969).

1272. Chiang C. "Stereoscopic Moiré Patterns," *J. Opt. Soc. Am.*, **57**, 1088 (1967).

1273. Dalziel C. F. "Electric Shock Hazard," *IEEE Spectrum*, **9**, 41 (Feb. 1972).

1274. Friedlander G. D. "Electricity in Hospitals: Elimination of Lethal Hazards." *IEEE Spectrum*, **8**, 40 (Sep. 1971).

1275. Galambos R. *Nerves and Muscles*, Anchor Books, Doubleday, New York (1962).

1276. Вулдридж Д. *Механизмы мозга.* — М.: Мир, 1965.

1277. Cox R. T. "Electric Fish," *Am. J. Phys.*, **11**, 13 (1943).

1278. Grundfest H. "Electric Fishes," *Sci. Amer.*, **203**, 115 (Oct. 1960).

1279. Lissmann H. W. "Electric Location by Fishes," *Sci. Amer.*, **208**, 50 (Mar. 1963).

1280. Rommel S. A., Jr., McCleave J. D. "Oceanic Electric Fields: Perception by American Eels?", *Science*, **176**, 1233 (1972).

1281. Bullock T. H. "Seeing the World through a New Sense: Electroreception in Fish," *Am. Scientist*, **61**, 316 (1973).

1282. Peckover R. S. "Oceanic Electric Currents Induced by Fluid Convection," *Phys. Earth Planetary Interiors*, **7**, 137 (1973).

1283. Baez A. V. "Some Observations on the Electrostatic Attraction of a Stream of Water," *Am. J. Phys.*, **20**, 520 (1952).

1284. Magarvey R. H., Outhouse L. E. "Note on the Break-up of a Charged Liquid Jet," *J. Fluid Mech.*, **13**, 151 (1962).

1285. Huebner A. L., Chu H. N. "Instability and Breakup of Charged Liquid Jets," *Fluid Mech.*, **49**, 361 (1971).

1286. Huebner A. L. "Disintegration of Charged Liquid Jets," *J. Fluid Mech.*, **38**, 679 (1969).

1287. Goedde E. F., Yuen M. C. "Experiments on Liquid Jet Instability," *J. Fluid Mech.*, **40**, 495 (1970).

1288. Plumb R. C. "Triboelectricity," in "Chemical Principles Exemplified," *J. Chem. Ed.*, **48**, 524 (1971).

1289. Harper W. R. "The Generation of Static Charge," *Advances in Physics*, **6**, 365 (1957).

1290. Конфельд М. И. Что такое электризация трением? — ФТТ, 1969, 11, с. 1611.

1291. Ainslie D. S. "What Are the Essential Conditions for Electrification by Rubbing?", *Am. J. Phys.*, **35**, 535 (1967).

1292. Moore A. D. "Electrostatics," *Sci. Amer.*, **226**, 47 (Mar. 1972).

1293. Harper W. R. "Triboelectrification," *Phys. Ed.*, **5**, 87 (1970).

1294. Jefimenko O. "Lecture Demonstrations on Electrification by Contact," *Am. J. Phys.*, **27**, 604 (1959).

1295. Cunningham R. G., Montgomery D. J. "Demonstration in Static Electricity," *Am. J. Phys.*, **24**, 54 (1956).

1296. Vonnegut B. "Atmospheric Electrostatics" in Ref. 540, pp. 390—424.

1297. Hendricks C. D. "Charging Macroscopic Particles" in Ref. 540, pp. 57-85; see pp. 64-67.

1298. Stow C. D. "The Generation of Electricity by Blowing Snow," *Weather*, **22**, 371 (1967).

1299. Stow C. D. "Dust and Sand Storm Electrification," *Weather*, **24**, 134 (1969).

1300. Kamra A. K. "Electrification in an Indian Dust Storm," *Weather*, **24**, 145 (1969).

1301. Latham J., Stow C. D. "Electrification of Snowstorms," *Nature*, **202**, 284 (1964).

1302. Seifert H. S. "Friction Tape Produces Glow Discharge," *Am. J. Phys.*, **20**, 380 (1952).

1303. Miller J. S. "Concerning the Electric Charge on a Moving Vehicle," *Am. J. Phys.*, **21**, 316 (1953).

1304. Miller R. F. "Electric Charge on a Moving Vehicle," *Am. J. Phys.*, **21**, 579 (1953).

1305. Mackeown S. S., Wouk V. "Generation of Electric Charges by Moving Rubber Tired Vehicles," *Am. Institute Electrical Engineers Trans.*, **62**, 207 (1943).

1306. Beach R. "Static Electricity on Rubber-Tired Vehicles," *Electrical Engineering*, **60** 202 (1941).

1307. Pierce E. T., Whitson A. L. "Atmospheric Electricity in a Typical American Bathroom," *Weather*, **21**, 449 (1966).

1308. Hughes J. F. "Electrostatic Hazards in Supertanker Cleaning Operations," *Nature*, **235**, 381 (1972).

1309. Smy P. R. "Charge Production, Supertankers, and Supersonic Aircraft," *Nature*, **239**, 269 (1972).

1310. Pierce E. T., Whitson A. L. "Atmospheric Electricity and the Waterfalls of Yosemite Valley," *J. Atmos. Sci.*, **22**, 314 (1965).

1311. Lyle A. R., Strawson H. "Electrostatic Hazards in Tank Filling Operations," *Phys. Bul.*, **23**, 453 (1972).

1312. Rosser W. G. V. "What Makes an Electric Current 'Flow'," *Am. J. Phys.*, **31**, 884 (1963).

1313. Weyl W. A., Ormsby W. C. "Atomistic Approach to the Rheology of Sand-Water and of Clay-Water

Mixtures" in *Rheology Theory and Applications*, Vol. III, F. R. Eirick, ed., Academic Press, New York (1960), pp. 249-297.

1314. Pilpel N. "Crumb Formation," *Endeavor*, **30**, 77 (May 1971).

1315. Pilpel N. "The Cohesiveness of Powders," *Endeavor*, **28**, 73 (May 1969).

1316. MacKay R. S. "Two Startling Demonstrations with a Magnet," *Am. J. Phys.*, **28**, 678 (1960).

1317. Sumner D. J., Thakkrar A. K. "Experiments with a 'Jumping Ring' Apparatus," *Phys. Ed.*, **7**, 238 (1972).

1318. Laithwaite E. R. *Propulsion without Wheels*, Hart, New York (1968), Chapter 10.

1319. "Discussion on Electromagnetic Levitation," *Proc. Institution Electrical Engineers (London)*, **113**, 1395 (1966).

1320. White H. E., Weltin H. "Electromagnetic Levitator," *Am. J. Phys.*, **31**, 925 (1963).

1321. Fleming J. A. "Electromagnetic Repulsion" in Ref. 129, Vol. 4 pp. 72-92.

1322. Brigman G. H. "The Martini Perpetual Motion Machine: A Semi-programmed Problem," *Am. J. Phys.*, **40**, 1001 (1972).

1323. "Violation of the First Law of Thermodynamics," *Phys. Teacher*, **2**, 383 (1964).

1324. "Perpetual Motion," *Encyclopaedia Britannica*, William Benton, Chicago (1970), Vol. 17, pp. 639-641.

1325. Angrist S. W. "Perpetual Motion Machines," *Sci. Amer.*, **218**, 114 (Jan. 1968).

1326. Gautier T. N. "The Ionosphere," *Sci. Amer.*, **193**, 126 (Sep. 1955).

1327. "Measurement of V-H-F Bursts," *Electronics*, **18**, 105 (1945).

1328. Chapman S. "Sun Storms and the Earth: The Aurora Polaris and the Space around the Earth," *Am. Scientist*, **49**, 249 (1961).

1329. Heikkila W. J. "Aurora," *EOS, Trans. Am. Geophys. Union*, **54**, 764 (1973).

1330. Storey L. R. O. "Whistlers," *Sci. Amer.*, **194**, 34 (Jan. 1956).

1331. Croom D. L. "Whistlers," *Weather*, **18**, 258, 296 (1963).

1332. Hill R. D. "Thunderbolts," *Endeavor*, **31**, 3 (1972).
1333. Orville R. E. "The Colour Spectrum of Lightning," *Weather*, **21**, 198 (1966).
1334. Orville R. E. "Lightning Photography," *Phys. Teacher*, **9**, 333 (1971).
1335. "First Photograph of Lightning," *J. Franklin Institute*, 253, xxii (1952).
1336. Wood E. A. "Physics for Automobile Passengers," *Phys. Teacher*, **11**, 239 (1973).
1337. Vonnegut B. "Some Facts and Speculations Concerning the Origin and Role of Thunderstorm Electricity," *Met. Monographs*, **5**, 224 (1963).
1338. Jefimenko O. "Operation of Electric Motors from the Atmospheric Electric Fields," *Am. J. Phys.*, **39**, 776 (1971).
1339. Jefimenko O. D. "Electrostatics Motors" in Ref. 540, pp. 131-147.
1340. Matthias B. T., Buchsbaum S. J. "Pinched Lightning," *Nature*, **194**, 327 (1962); photo also in Ref. 1351.
1341. Uman M. A. "Bead Lightning and the Pinch Effect," *J. Atmos. Terrestrial Phys.*, **24**, 43 (1962).
1342. Blanchard D. C. "Charge Separation from Saline Drops on Hot Surfaces," *Nature*, **201**, 1164 (1964).
1343. Anderson R., Bjoernsson S., Blanchard D. C., Gathman S., Hughes J., Jonasson S., Moore C. B., Survilas H. J., Vonnegut B. "Electricity in Volcanic Clouds," *Science*, **148**, 1179 ((1965)).
1344. Blanchard D. C. "Volcanic Electricity," *Oceanus*, **13**, 2 (Nov. 1966).
1345. Brook M., Moore C. B., Sigurgeirsson T. "Lightning in Volcanic Clouds," *J. Geophys. Res.*, **79**, 472 (1974).
1346. Photo, *Nat. Geograph Mag.*, **113**, 755 (1958).
1347. Uman M. A., Seacord D. F., Price G. H., Pierce E. T. "Lightning Induced by Thermonuclear Detonations," *J. Geophys. Res.*, **77**, 1591 (1972).
1348. Hill R. D. "Lightning Induced by Nuclear Bursts," *J. Geophys. Res.*, **78**, 6355 (1973).
1349. Сингер С. Природа шаровой молнии.— М.: Мир, 1973.
1350. Powell J. R., Finkelstein D. "Ball Lightning," *Am. Scientist*, **58**, 262 (1970).
1351. Lewis H. W. "Ball Lightning," *Sci. Amer.*, **208**, 106 (Mar. 1963).
1352. Charman W. N. "Perceptual Effects and the Reliability of Ball Lightning Reports," *J. Atmos. Terrestrial Phys.*, **33**, 1973 (1971).
1353. Ashby D. E. T. F., Whitehead C. "Is Ball Lightning Caused by Antimatter Meteorites," *Nature*, **230**, 180 (1971).
1354. Uman M. A. "Some Comments on Ball Lightning," *J. Atmos. Terrestrial Phys.*, **30**, 1245 (1968).
1355. Mills A. A. "Ball Lightning and Thermoluminescence," *Nature Physical Science*, **233**, 131 (1971).
1356. Powell J. R., Finkelslein D. "Structure of Ball Lightning," *Advances Geophysics*, Vol. 13, Academic Press, New York (1969), pp., 141—189.
1357. Altschuler M. D., House L. L., Hildner E. "Is Ball Lightning a Nuclear Phenomenon?," *Nature*, **228**, 545 (1970).
1358. Argyle E. "Ball Lightning as an Optical Illusion," *Nature*, **230**, 179 (1971).
1359. Wittmann A. "In Support of a Physical Explanation of Ball Lightning," *Nature*, **232**, 625 (1971).
1360. Jennison R. C. "Ball Lightning," *Nature*, **224**, 895 (1969).
1361. Jennison R. C. "Ball Lightning and After-images," *Nature*, **230**, 576 (1971).
1362. Charman W. N. "After-images and Ball Lightning," *Nature*, **230**, 576 (1971).
1363. Davies P. C. W. "Ball Lightning or Spots before the Eyes," *Nature*, **230**, 576 (1971).
1364. Wagner G. "Optical and Acoustic Detection of Ball Lightning," *Nature*, **232**, 187 (1971).
1365. Johnson P. O. "Ball Lightning and Self-Containing Electromagnetic Fields," *Am. J. Phys.*, **33**, 119 (1965).
1366. Anderson F. J., Freir G. D. "A Report on Ball Lightning," *J. Geophys. Res.*, **77**, 3928 (1972).
1367. Wooding E. R. "Laser Analogue to Ball Lightning," *Nature*, **239**, 394 (1972).
1368. Crawford J. F. "Antimatter and Ball Lightning," *Nature*, **239**, 395 (1972).
1369. Davies D. W., Standler R. B. "Ball Lightning," *Nature*, **240**, 144 (1972).
1370. Charman N. "The Enigma of Ball Lightning," *New Scientist*, **56**, 632 (1972).
1371. Finkelstein D., Powell J. "Earthquake Lightning," *Nature*, **228**, 759 (1970).
1372. Finkelstein D., Hill R. D., Powell J. R. "The Piezoelectric Theory of Earthquake Lightning," *J. Geophys. Res.*, **78**, 992 (1973).
1373. MacLaren M. "Early Electrical Discoveries by Benjamin Franklin and his Contemporaries," *J. Franklin Institute*, **240**, 1 (1945).
1374. Schonland B. F. J. "The Work of Benjamin Franklin on Thunderstorms and the Development of the Lightning Rod," *J. Franklin Institute*, **253**, 375 (1952).
1375. Chalmers J. A. "The Action of a Lightning Conductor," *Weather*, **20**, 183 (1965).
1376. Gillespie P. J. "Ionizing Radiation: a Potential Lightning Hazard?," *Nature*, **208**, 577 (1965).
1377. Roberts J. E. "Ionizing Radiation and Lightning Hazards," *Nature*, **210**, 514 (1966).
1378. Gillespie P. J. "Ionizing Radiation and Lightning Hazards," *Nature*, **210**, 515 (1966).
1379. McEachron K. B. "Lightning Protection Since Franklin's Day," *J. Franklin Institute*, **253**, 441 (1952).
1380. Cohen I. B. "Prejudice against the Introduction of Lightning Rods," *J. Franklin Institute*, **253**, 393 (1952).
1381. Marshall J. L. *Lightning Protection*, Wiley, New York (1973).
1382. Fuquay D. M., Taylor A. R., Hawe R. G., Schmid C. W., Jr. "Lightning Discharges that Caused Forest Fires," *J. Geophys. Res.*, **77**, 2156 (1972).
1383. Taylor A. R. "Lightning Effects on the Forest Complex," *Annual Tall Timbers Fire Ecology Conf. Proc.*, **9**, 127 (1969).
1384. Fuquay D. M., Baugham R. G., Taylor A. R., Hawe R. G. "Charac-

teristics of Seven Lightning Discharges that Caused Forest Fires," *J. Geophys. Res.*, **72**, 6371 (1967).

1385. Taylor A. R. "Diameter of Lightning as Indicated by Tree Scars," *J. Geophys. Res.*, **70**, 5693 (1965).

1386. Taylor A. R. "Agent of Change in forest Ecosystems," *J. Forestry*, **68**, 477 (1971).

1387. Orville R. E. "Photograph of a Close Lightning Flash," *Science*, **162**, 666 (1968).

1388. Green F. H. W., Millar A. "A Tree Struck by Lightning, July 1970," *Weather*, **26**, 174 (1971).

1389. Shipley J. F. "Lightning and Trees," *Weather*, **1**, 206 (1946).

1390. Orville R. E. "Close Lightning," *Weather*, **26**, 394 (1971).

1391. Beck E. *Lightning Protection for Electric Systems*, McGraw-Hill, New York (1954).

1392. Falconer R. E. "Lightning Strikes a Parked School Bus," *Weather*, **21**, 280 (1966).

1393. Vonnegut B. "Effects of a Lightning Discharge on an Aeroplane," *Weather*, **21**, 277 (1966).

1394. "Lightning Strikes an Aircraft — I," *Weather*, **19**, 206 (1964).

1395. Mason D. "Lightning Strikes an Aircraft — II," *Weather*, **19**, 248 (1964).

1396. Hagenguth J. H. "Lightning Stroke Damage to Aircraft," *Am. Institute Electrical Engineers Trans.*, **68**, 1036 (1949).

1397. Fitzgerald D. R. "Probable Aircraft 'Triggering' of Lightning in Certain Thunderstorms," *Mon. Weather Rev.*, **95**, 835 (1967).

1398. Moore C. B., Vonnegut B., Machado J. A., Survilas H. J. "Radar Observations of Rain Gushes Following Overhead Lightning Strokes," *J. Geophys. Res.*, **67**, 207 (1962).

1399. Shackford C. R. "Radar Indications of a Precipitation — Lightning Relationship in New England Thunderstorms," *J. Met.*, **17**, 15 (1960).

1400. Moore C. B., Vonnegut B., Vrablik E. A., McCraig D. A. "Gushes of Rain and Hail after Lightning," *J. Atmos. Sci.*, **21**, 646 (1964).

1401. Taussig H. B. "Death from

Lightning and the Possibility of Living Again," *Am. Scientist*, **57**, 306 (1969).

1402. McIntosh D. H., ed. *Meteorological Glossary*, Her Majesty's Stationary Office, London (1963).

1403. Kamra A. K. "Visual Observation of Electric Sparks on Gypsum Dunes," *Nature*, **240**, 143 (1972).

1404. Botley C. M., Howell W. E. "Mystery on Mount Adams," *Mt. Washington Observatory News Bul.*, **8** (1), 9 (Mar. 1967).

1405. Markson R., Nelson R. "Mountain-Peak Potential-Gradient Measurements and the Andes Glow," *Weather*, **25**, 350 (1970).

1406. Young J. R. C. "The Andes Glow," *Weather*, **26**, 39 (1971).

1407. Robinson M. "A History of the Electric Wind," *Am. J. Phys.*, **30**, 336 (1962).

1408. Cobine J. D. "Other Electrostatic Effects and Applications" in Ref. 540, pp. 441—455; see pp. 452—453.

1409. Markowitz W. "The Physics and Metaphysics of Unidentified Flying Objects," *Science*, **157**, 1274 (1967).

1410. Bondi H. *The Universe at Large*, Anchor Books, Doubleday, New York (1960), Chapter 2.

1411. Sciama D. W. *The Unity of the Universe*, Doubleday, New York (1959), Chapter 6.

1412. Bondi H. *Cosmology*, Cambridge Univ. Press, Cambridge (1961), Chapter 3.

1413. Jaki S. L. *The Paradox of Olbers' Paradox*, Herber and Herber, New York (1969).

1414. Jaki S. L. "Olbers', Halley's, or Whose Paradox?," *Am. J. Phys.*, **35**, 200 (1967).

1415. Harrison E. R. "Olbers' Paradox," *Nature*, **204**, 271 (1964).

1416. Layzer D. "Why Is the Sky Dark at Night?," *Nature*, **209**, 1340 (1966).

1417. Soberman R. K. "Noctilucent Clouds," *Sci. Amer.*, **208**, 50 (June 1963); also see cover of this issue.

1418. Лудлам Ф. Серебристые облака.— УФН, 1958, **65**, с. 407.

1419. Hanson A. M. "Noctilucent Clouds at 76.3° North," *Weather*, **18**, 142 (1963).

1420. Dietze G. "Zones of the Visibility of a Noctilucent Cloud," *Tellus*, **21**, 436 (1969).

1421. Hallett J. "Noctilucent Clouds 27—28 June 1966," *Weather*, **22**—66 (1967).

1422. Fogle B. "Noctilucent Clouds in the Southern Hemisphere," *Nature*, **204**, 14 (1964).

1423. Grishin N. I. "Blue Clouds," *Solar System Res.*, **2**, 1 (Jan.—Mar. 1968).

1424. Stone D., letter to editor, *Geotimes*, **14**, 8 (Oct. 1969).

1425. "Great Leap Downward," *Time*, **94**, 60 (Dec. 19, 1969); also see letters **95**, 4 (Jan. 12, 1970) and **95**, 4 (Jan. 19, 1970).

1426. Truman J. C. "Wave Propagation in Snow," *Am. J. Phys.*, **41**, 282 (1973).

1427. Spenceley B., Hastings L. "On Wave Propagation in Snow," *Am. J. Phys.*, **41**, 1025 (1973).

1428. Shinbrot M. "Fixed-Point Theorems," *Sci. Amer.*, **214**, 105 (Jan. 1966).

1429. Hilbert D., Cohn-Vossen S. *Geometry and the Imagination*, Chelsea, New York (1952), pp. 324 ff.

1430. Курант П., Роббинс Г. Что такое математика? — М.: Просвещение, 1967.

1431. Cobb V. *Science Experiments You Can Eat*, J. B. Lippincott Co., Philadelphia (1972), pp. 58—63.

1432. de Bruyne N. A. "How Glue Sticks," *Nature*, **180**, 262 (1957).

1433. Kelvin, Lord. *Baltimore Lectures on Molecular Dynamics and the Wave Theory of Light*, C. J. Clay and Sons, London (1904).

1434. Reynolds O. "Experiments Showing Dilatancy, A Property of Granular Material, Possibly Connected with Gravitation" in Ref. 156, pp. 217—227.

1435. Reynolds O. "On the Dilatancy of Media Composed of Rigid Particles in Contact. With Experimental Illustrations" in Ref. 156, pp. 203—216.

1436. Schaefer H. J. "Radiation Exposure in Air Travel," *Science*, **173**, 780 (1971).

1437. O'Brien K., McLaughlin J. E. "The Radiation Dose to Man from Galactic Cosmic Rays," *Health Phys.*, **22**, 225 (1972).

1438. Cornelius A. T., Budinger T. E., Lyman J. T. "Radiation-Induced Light Flashes Observed by Human Subjects in Fast Neutron, H-Ray and Positive Pion Beams." *Nature*, **230**, 596 (1971).

1439. Budinger T. F., Bichsel H., Tobias C. A. "Visual Phenomena Noted by Human Subjects in Exposure to Neutrons of Energies Less than 25 Million Electron Volts," *Science*, **172**, 868 (1971).

1440. McNulty P. J. "Light Flashes Produced in the Human Eye by Extremely Relativistic Muons," *Nature*, **234**, 110 (1971).

1441. Fremlin J. H. "Cosmic Ray Flashes," *New Scientist*, **47**, 42 (1970).

1442. Charman W. N., Dennis J. A., Fazio G. G., Jelley J. V. "Visual Sensations Produced by 522 (1971).

1443. D'Arcy F. J., Porter N. A. "Detection of Cosmic Ray -Mesons by the Human Eye," *Nature*, **196**, 1013 (1962).

1444. Fazio G. G., Jelley J. V., Charman W. N. "Generation of Cherenkov Light Flashes by Cosmic Radiation within the Eyes of the Apollo Astronauts," *Nature*, **228**, 260 (1970).

1445. McAulay I. R. "Cosmic Ray Flashes in the Eye." *Nature*, **232**, 421 (1971).

1446. Charman W. N., Rowlands C. M. "Visual Sensations Produced by Cosmic Ray Muons," *Nature*, **232**, 574 (1971).

1447. Wang T. J. "Visual Response of the Human Eye to X Radiation." *Am. J. Phys.*, **35**, 779 (1967).

1448. Young P. S., Fukui K. "Predicting Light Flashes due to Alpha-Particle Flux on SST Planes," *Nature*, **241**, 112 (1973).

1449. McNulty P. J., Pease V. P., Pinsky L. S., Bond V. P., Schimmerling W., Vosburgh K. G. "Visual Sensations Induced by Relativistic Nitrogen Nuclei," *Science*, **178**, 160 (1972).

1450. Budinger T. F., Lyman J. T., Tobias C. A. "Visual Perception of Accelerated Nitrogen Nuclei Interacting with the Human Retina," *Nature*, **239**, 209 (1972).

1451. Burch W. M. "Cherenkov Light from ^{32}P as an Aid to Diagnosis

of Eye Tumours," *Nature*, **234**, 358 (1971).

1452. Johnson B. B., Cairns T. "Art Conservation: Culture under Analysis. Part 1." *Analytical Chem.*, **44**, 24A (1972).

1453. Werner A. E. "Scientific Techniques in Art and Archaeology," *Nature*, **186**, 674 (1960).

1454. Gettens R. J. "Science in the Art Museum," *Sci. Amer.*, **187**, 22 (Jul. 1952).

1455. Bohren C. F., Beschta R. L. "Comment on 'Wave Propagation in Snow'," *Am. J. Phys.*, **42**, 69 (1974).

1456. LeMone M. A. "The Structure and Dynamics of Horizontal Roll Vortices in the Planetary Boundary Layer," *J. Atmos. Sci.*, **30**, 1077 (1973).

1457. Murrow R. B. *Saturday Review*, **50**, 51 (3 June 1967).

1458. Zahl P. A. "Nature's Night Lights," *Nat. Geographic Mag.*, **140**, 45 (July 1971).

1459. Alyea H. N. "Lithium Spectrum" in "Chemical Principles Exemplified," R. C. Plumb, ed., *J. Chem. Ed.*, **48**, 389 (1971).

1460. Herbert F., Dune, Ace Books, New York (1965).

1461. Saylor C. P. "Case of the Flowing Roof," *Chemistry*, **44**, 19 (Dec. 1971).

1462. Palmer F. "What about Friction?" *Am. J. Phys.*, **17**, 181, 327, 336 (1949).

1463. Brewington G. P. "Comments on Several Friction Phenomena," *Am. J. Phys.*, **19**, 357 (1951).

1464. Rabinowicz E. "Direction of the Friction Force," *Nature*, **179**, 1073 (1957).

1465. Rabinowicz E. "Resource Letter F-1 on Friction," *Am. J. Phys.*, **31**, 897 (1963).

1466. Guy A. G. *Introduction to Materials Science*, McGraw-Hill, New York (1972), Chapter 10.

1467. Gilman J. J. "Fracture in Solids," *Sci. Amer.*, **202**, 94 (Feb. 1960).

1468. Corten H. T., Park F. R. "Fracture," *Intern. Sci. Tech.* **15** (Mar. 1963), p. 24.

1469. Holloway D. C. "The Fracture of Glass," *Phys. Ed.*, **3**, 317 (1968).

1470. Field J. E. "Brittle Fracture:

Its Study and Application," *Contemporary Phys.*, **12**, 1 (1971).

1471. Field J. E. "Fracture of Solids," *Phys. Teacher*, **2**, 215 (1964).

1472. Plumb R. C. "Auto Windows — Strong but Self-Destructing," *J. Chem. Ed.*, **50**, 131 (1973).

1473. Gilman J. J. "Fracture in Solids," *Sci. Amer.*, **202**, 94 (Feb. 1960).

1474. Holloway D. G. "The Strength of Glass," *Phys. Bul.*, **23**, 654 (1972).

1475. Plumb R. C. "Durable Chrome Plating" in "Chemical Principles Exemplified," *J. Chem. Ed.*, **49**, 626 (1972).

1476. Rayleigh, Lord, "Polish" in *Ref. 129*, Vol. 5, pp. 392—403.

1477. Rabinowicz E. "Polishing," *Sci. Amer.*, **218**, 91 (June 1968).

1478. Sharpe L. H., Schonhorn H., Lynch C. J. "Adhesives," *Intern. Sci. Tech.*, **28** (Apr. 1964), p. 26.

1479. Baier R. E., Shafrin E. G., Zisman W. A. "Adhesion: Mechanisms That Assist or Impede It," *Science*, **162**, 1360 (1968).

1480. de Bruyne N. A. "The Physics of Adhesion," *J. Sci. Instruments*, **24**, 29 (1947).

1481. McCutchen C. W. "Ghost Wakes Caused by Aerial Vortices," *Weather*, **27**, 33 (1972).

1482. Taylor G. I. "The Motion of a Sphere in a Rotating Liquid," *Proc. Roy. Soc. Lond.*, **A102**, 180 (1922); also in *Ref. 255*, Vol. IV, pp. 24-33.

1483. Takahara H. "Sounding Mechanism of Singing Sand," *J. Acoust. Soc. Am.*, **53**, 634 (1973).

1484. Knott C. G. *Life and Scientific Work of Peter Guthrie Tate*, Cambridge at the Univ. Press (1911), pp. 58-60, 329-345.

1485. Rothschild M., Schlein Y., Parker K., Sternberg S. "Jump of the Oriental Rat Flea *Xenopsylla cheopis* (Roths.)," *Nature*, **239**, 45 (1972).

1486. Sharp C. M., Bowyer M. J. F. *Mosquito*, Faber and Faber, London (1971), pp. 74-78.

1487. Welch S. "What Makes It Turn?," *Phys. Teacher*, **11**, 303 (1973).

1488. Thompson O. E. "Coriolis Deflection of a Ballistic Projectile," *Am. J. Phys.*, **40**, 1477 (1972).

1489. Anastassiades A. J. "Infrasonic

Resonances Observed in Small Passenger Cars Travelling on Motorways," *J. Sound Vibration*, **29**, 257 (1973).

1490. Evans, M. J., Tempest W. "Some Effects of Infrasonic Noise in Transportation," *J. Sound Vibration*, **22**, 19 (1972).

1491. Tempest, W., Bryan M. E. "Low Frequency Sound Measurement in Vehicles," *Appl. Acoustics*, **5**, 133 (1972).

1492. Johnson C. C., Guy A. W. "Non-ionizing Electromagnetic Wave Effects in Biological Materials and Systems," *Proc. IEEE*, **60**, 692 (1972).

1493. Griffin D. R. "Comments on Animal Sonar Symposium," *J. Acoust. Soc. Am.*, **54**, 137 (1973).

1494. Novick A. "Echolocation in Bats: A Zoologist's View," *J. Acoust. Soc. Am.*, **54**, 139 (1973).

1495. Grinnell A. D. "Neural Processing Mechanisms in Echolocating Bats, Correlated with Differences in Emitted Sounds," *J. Acoust. Soc. Am.*, **54**, 147 (1973).

1496. Simmons J. A. "The Resolution of Target Range by Echolocating Bats," *J. Acoust. Soc. Am.*, **54**, 157 (1973).

1497. Suga N., Schlegel P. "Coding and Processing in the Auditory Systems of FM-Signal-Producing Bats," *J. Acoust. Soc. Am.*, **54**, 174 (1973).

1498. Lunde B. K. "Clouds Associated with an Interstate Highway," *Weatherwise*, **26**, 122 (1973); also see Rango A., Foster J. L., Salomonson V. V. "Comments on 'Clouds Associated with an Interstate Highway,'" *Weatherwise*, **26**, 222 (1973).

1499. Patitsas A. J. "Rainbows, Glories, and the Scaler Field Approach," *Canadian J. Phys.*, **50**, 3172 (1972).

1500. Rossmann F. O. "Banded Reflections from the Sea," *Weather*, **15**, 409 (1960).

1501. Swing R. E., Rooney D. P. "General Transfer Function for the Pinhole Camera," *J. Opt. Soc. Amer.*, **58**, 629 (1968).

1502. Sayanagi K. "Pinhole Imagery," *J. Opt. Soc. Am.*, **57**, 1091 (1967).

1503. Hardy A. C., Perrin F. H. *The Principles of Optics*, McGraw-Hill, New York (1932), pp. 124-126.

1504. "Sun Pillar and Arc of Contact," *Weather*, **15**, 406 (1960).

1505. Weaver K. F. "Journey to Mars," *Nat. Geographic Mag.*, **143**, 230 (1973); see pp. 258-259.

1506. Bates D. R. "Auroral Audibility," *Nature*, **244**, 217 (1973).

1507. Buneman O. "Excitation of Field Aligned Sound Waves by Electron Streams," *Phys. Rev. Letters*, **10**, 285 (1963).

1508. Beals C. S. "Audibility of the Aurora and Its Appearance at Low Atmospheric Levels," *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, **59**, 71 (1933).

1509. Campbell W. H., Young J. M. "Auroral-Zone Observations of Infrasonic Pressure Waves Related to Ionospheric Disturbances and Geomagnetic Activity," *J. Geophys. Res.*, **68**, 5909 (1963).

1510. Sverdrup H. E. "Audibility of the Aurora Polaris," *Nature*, **128**, 457 (1931).

1511. Chapman S. "The Audibility and Lowermost Altitude of the Aurora Polaris," *Nature*, **127**, 341 (1931).

1512. Thorp J. R. "Sunbathing, Sunburn, and Suntan," *Weather*, **15**, 221 (1960).

1513. "Anticrepuscular Rays," *Weather*, **22**, 18 (1967).

1514. Tricker R. A. R. "A Note on the Lowitz and Associated Arc," *Weather*, **25**, 503 (1970).

1515. Singleton F., Kerley M. J., Smith D. J. "Recent Observations from Aircraft of Some Rare Halo Phenomena," *Weather*, **15**, 98 (1960).

1516. Jacobs S. F., Stewart A. B. "Chromatic Aberration in the Eye," *Am. J. Phys.*, **20**, 247 (1952).

1517. Piersa H. "Fixing of Dust Figures in a Kundt's Tube," *J. Acoust. Soc. Am.*, **37**, 533 (1965).

1518. Sherwin K. "Man-Powered Flight as a Sporting Activity," *Am. Inst. Aeronautics Astronautics Student J.*, **10**, 27 (Apr. 1972).

1519. Sherwin K. "Man-Powered Flight: A New World's Records," *Am. Inst. Aeronautics Astronautics Student J.*, **10**, 23 (Oct. 1972).

1520. Foulkes R. A. "Dowsing Experiments," *Nature*, **229**, 163 (1971).

1521. Smith D. G. "More about Dowsing," *Nature*, **233**, 501 (1971).

1522. Merrylees K. W. "Dowsing Experiments Criticized," *Nature*, **233**, 502 (1971).

1523. Vogt E. Z., Hyman R. *Water-Witching USA*, Univ. Chicago Press, Chicago (1959).

1524. Carpenter R. K. "A Favorite Experiment," *Phys. Teacher*, **11**, 428 (1973).

1525. Swinson D. B. "Skiing and Angular Momentum: A Proposed Experiment," *Phys. Teacher*, **11**, 415 (1973).

1526. Moore M. "Blue Sky and Red Sunsets," *Phys. Teacher*, **11**, 436 (1973).

1527. Kamra A. K. "Measurements of the Electrical Properties of Dust Storms," *J. Geophys. Res.*, **77**, 5856 (1972).

1528. Shankland R. S. "Acoustics of Greek Theatres," *Phys. Today*, **26**, 30 (Oct. 1973).

1529. Waller M. D. *Chladni Figures*, G. Bell and Sons, Ltd., London (1961).

1530. Trees H. J. "Some Distinctive Contours Worn on Alumina-Silica Refractory Faces by Different Molten Glasses: Surface Tension and the Mechanism of Refractory Attack," *J. Soc. Glass Tech.*, **38**, 89T (1954).

1531. Rothschild M., Schlein Y., Parker K., Neville C., Sternberg S. "The Flying Leap of the Flea," *Sci. Amer.*, **229**, 92 (Nov. 1973).

1532. Silverman S. M., Tuan T. F. "Auroral Audibility," *Advances in Geophysics*, Vol. 16, H. E. Landsberg and J. Van Mieghem, eds., Academic Press (1973), pp. 156-266.

1533. Blackwood O. H., Kelly W. C., Bell R. M. *Central Physics*, Fourth Ed., Wiley, New York (1973), p. 258.

1534. Brown R. "What Levels of Infrasonic Are Safe?," *New Scientist*, **60**, 414 (1973).

1535. Hanton J. "Can Some People Hear the Jet Stream?," *New Scientist*, **60**, 415 (1973).

1536. Gable J. "Ultrasonic Antitheft Devices - A New Hazard?," *New Scientist*, **60**, 416 (1973).

1537. Chigier N. A. "Vortexes in Aircraft Wakes," *Sci. Amer.*, **230**, 76 (Mar. 1974).

1538. Golden J. H. "Some Statistical Aspects of Waterspout Formation," *Weatherwise*, **26**, 108 (1973).

1539. Barcion A. "Dust Devil Formation," *Geophysical Fluid Dynamics*, **4**, 147 (1972).

1540. Sinclair P. C. "The Lower Structure of Dust Devils," *J. Atmos. Sci.*, **30**, 1599 (1973).
1541. Mansfield R. J. W. "Latency Functions in Human Vision," *Vision Res.*, **13**, 2219 (1973).
1542. Harker G. S. "Assessment of Binocular Vision Utilizing Pulfrich and Ventian Blind Effects," *Am. J. Optom. & Archives Am. Acad. Optom.*, **50**, 435 (1973).
1543. Rogers B. J., Steinbach M. J., Ono H. "Eye Movements and the Pulfrich Phenomenon," *Vision Res.*, **14**, 181 (1974).
1544. McElroy M. B., Wofsy S. C., Penner J. E., McConnell J. C. "Atmospheric Ozone; Possible Impact of Stratospheric Aviation," *J. Atmos. Sci.*, **31**, 287 (1974).
1545. Foley H. M., Ruderman M. A. "Stratospheric NO Production from Past Nuclear Explosions," *J. Geophys. Res.*, **78**, 4441 (1973).
1546. Levenspiel O., de Nevers N. "The Osmotic Pump," *Science*, **183**, 157 (1974).
1547. Collyer A. A. "Time Dependent Fluids," *Phys. Educ.*, **9**, 38 (1974).
1548. Ette A. I. I., Utah E. U. "Measurement of Point-Discharge Current Density in the Atmosphere," *J. Atmos. Terrestrial Phys.*, **35**, 785 (1973).
1549. Ette A. I. I., Utah E. U. "Studies of Point-Discharge Characteristics in the Atmosphere," *J. Atmos. Terrestrial Phys.*, **35**, 1799 (1973).
1550. Gannon R. "New Scientific Research May Take the Sting Out of Lightning," *Popular Science*, **204**, 76 (Jan. 1974).
1551. Pinkston E. R., Crum L. A. "Lecture Demonstrations in Acoustics," *J. Acoust. Soc. Am.*, **55**, 2 (1974).
1552. Schelleng J. C. "The Physics of the Bowed String," *Sci. Amer.*, **230**, 87 (Jan. 1974).
1553. Elder S. A. "On the Mechanism of Sound Production in Organ Pipes," *J. Acoust. Soc. Am.*, **54**, 1554 (1973).
1554. Konishi M. "How the Owl Tracks Its Prey," *Amer. Scientist*, **61**, 414 (1973).
1555. Steven S. S., Newman E. B. "The Localization of Pure Tones," *Proc. Nat. Acad. Sci.*, **20**, 593 (1934).
1556. Greenslade Jr., T. B. "Suspension Bridges," *Phys. Teacher*, **12**, 7 (1974).
1557. Gribakin F. G. "Perception of Polarised Light in Insects by Filter Mechanism," *Nature*, **246**, 357 (1973).
1558. "Leaking Electricity," *Time*, **102**, 87 (19 Nov. 1973).
1559. Boak Jr., R. P. "Cantilevered Books," *Am. J. Phys.*, **41**, 715 (1973).
1560. Mallette V. "Comment on 'Speckle Patterns in Unfiltered Sunlight,'" *Am. J. Phys.*, **41**, 844 (1973).
1561. Stanford Jr., A. L. "On Shadow Bands Accompanying Total Solar Eclipses," *Am. J. Phys.*, **41**, 731 (1973).
1562. "Tacoma Narrows Bridge Collapse," Film Loop 80—2181/1, Holt, Rinehart and Winston, Inc., Media Dept., 383 Madison Avenue, New York, NY 10017.
1563. Photos, advertising for Old Town Canoe Company, Old Town, Maine 04468.
1564. Musgrove P. "Many Happy Returns," *New Scientist*, **61**, 186 (1974).
1565. Crawford F. S. "Coille Effect: A Manifestation of the Reversibility of Light Rays," *Am. J. Phys.*, **41**, 1370 (1973).
1566. Land E. H. "The Retinex," *Amer. Scientist*, **52**, 247 (1964).
1567. Land E. H., Cann J. J. "Lightness and Retinex Theory," *J. Opt. Soc. Am.*, **61**, 1 (1971).
1568. Wahlin L. "A Possible Origin of Atmospheric Electricity," *Foundations of Phys.*, **3**, 459 (1973).
1569. Mehra J. "Quantum Mechanics and the Explanation of Life," *Amer. Scientist*, **61**, 722 (1973).
1570. Warner C. P. "Nature's Alert Eyes," *Nat. Geographic Mag.*, **115**, 568 (April 1959).
1571. Barrett R. P. "The Dynamic Response of a Suspension Bridge," film loop, Amer. Assoc. Phys. Teachers, Drawer AW, Stony Brook, NY 11790 (1972).
1572. Dobelle W. H., Mladejovsky M. G., Girvin J. P. "Artificial Vision for the Blind: Electrical Stimulation of Visual Cortex Offers Hope for a Functional Prosthesis," *Science*, **183**, 440 (1974).
1573. "Seeing by Phosphene," *Sci. Amer.*, **230**, 45 (1974).
1574. "Archimedes' Weapon," *Time*, **102**, 60 (26 Nov. 1973).
1575. "Re-enacting History — With Mirrors," *Newsweek*, **82**, 64 (26 Nov. 1973).
1576. Mielenz K. D. "Eureka!," *Appl. Optics*, **13**, A14 (Feb. 1974).
1577. Phillips E. A. "Arthur C. Clarke's Burning Glass," *Appl. Optics*, **13**, A16 (Feb. 1974).
1578. Deirmendjian D. "Archimedes' Burning Glass," *Appl. Optics*, **13**, 452 (Feb. 1974).
1579. Claus A. C. "On Archimedes' Burning Glass," *Appl. Optics*, **12**, A14 (Oct. 1973).
1580. Stavroudis O. N. "Comments on: On Archimedes' Burning Glass," *Appl. Optics*, **12**, A16 (Oct. 1973).
1581. Setright L. J. K. "The Gastropod," in *Motor Racing: The International Way Number 2*, ed. by N. Brittan, A. S. Barnes & Co., New York (1971), pp. 39-44.
1582. Swezey K. M. *After-Dinner Science*, Revised Ed., McGraw-Hill, New York (1961); pp. 118—119.
1583. Levi L. "Blackbody Temperature for Threshold Visibility," *Appl. Optics*, **13**, 221 (1974).
1584. Wellington W. G. "Bumblebee Ocelli and Navigation at Dusk," *Science*, **183**, 550 (1974).
1585. Lloyd J. E. "Model for the Mating Protocol of Synchronously Flashing Fireflies," *Nature*, **245**, 268 (1973).
1586. Floyd, Bill, "The Fantastic Floydmar Camera — the Pinnacle of Pinholery," *Petersen's Photographic Mag.*, **1**, 42 (Sep. 1972).
1587. Harrison E. R. "Why the Sky is Dark at Night," *Phys. Today*, **27**, 30 (Feb. 1974).
1588. Crawford F. S. "Singing Corrugated Pipes," *Am. J. Phys.*, **42**, 278 (1974).
1589. Tsantes E. "Notes on the Tides," *Am. J. Phys.*, **42**, 330 (1974).
1590. Krider E. P. "An Unusual Photograph of an Air Lightning Discharge," *Weather*, **29**, 24 (1974).
1591. *American Cinematographer* **55**, 406-455 (April 1974), entire issue.
1592. Symmes D. L. "3-D: Cinema's Slowest Revolution" in Ref. 1591, pp. 406 ff.
1593. Wales K. "The Video West, Inc. Three Dimensional Photographic

- System" in Ref. 1591, pp. 410 ff.
1594. Williams A. "A 3-D Primer" in Ref. 1591, pp. 412 ff.
1595. "The Stereovision 3-D System" in Ref. 1591, p. 414.
1596. "An Alphabetical Listing of Three-Dimensional Motion Pictures" in Ref. 1591, p. 415.
1597. Williams A. D. "3-D Motion Picture Techniques" in Ref. 1591, pp. 420 ff.
1598. Symmes D. L. "3-D Cine Systems" in Ref. 1591, pp. 421 ff.
1599. "Calculations for Stereo Cinematography" in Ref. 1591, pp. 424-425.
1600. Hoch W. C. "Challenges of Stereoscopic Motion Picture Photography" in Ref. 1591, pp. 426 ff.
1601. "The Spacevision 3-D System" in Ref. 1591, pp. 432 ff.
1602. Vlahos P. "The Role of 3-D in Motion Pictures" in Ref. 1591, pp. 435 ff.
1603. Layer H. A. "Stereo Kinematics: The Merging of Time and Space in the Cinema" in Ref. 1591, pp. 438-441.
1604. Dunn L. G., Weed D. W. "The Third Dimension in Dynavision" in Ref. 1591, p. 450.
1605. Biroc J. "Hollywood Launches 3-D Production" in Ref. 1591, pp. 452 ff.
1606. Weed D., Oakley K. H. "Cine-Ortho: 3-D Movies for Eye Training" in Ref. 1591, pp. 454 ff.
1607. Holm W. R. "Holographic Motion Pictures for Theatre and Television" in Ref. 1591, pp. 454 ff.
1608. Stong C. L., ed. "The Amateur Scientist," Sci. Amer., **230**, 116 (April 1974).
1609. Hickman K., Jer Ru Maa, Davidhazy A., Mady O. "Floating Drops and Liquid Boules — A Further Look," Industrial & Engineering Chemistry, **59**, 18 (Oct. 1967).
1610. Mattsson J. O. "Experiments on Horizontal Halos in Divergent Light," Weather, **29**, 148 (1974).
1611. Corliss, William R., Strange Phenomena. A Sourcebook of Unusual Natural Phenomena, P. O. Box 107, Glen Arm, Maryland, 21057, USA.
1612. Higbie J. "The Motorcycle as a Gyroscope," Am. J. Phys. **42**, 701 (1974).
1613. Carlsoo S. "A Kinetic Analysis of the Golf Swing," J. Sports Medicine and Physical Fitness, **7**, 76 (June 1967).
1614. "Observations of the Green Flash," Sky and Telescope, **48**, 61 (1974).
1615. Simms D. L. "More on That Burning Glass of Archimedes," Appl. Optics, **13**, A14 (May 1974).
1616. Denton R. A. "The Last Word," Appl. Optics, **13**, A16 (May 1974).
1617. Фью А. Гром.—УФН, 1976, **119**, с. 735.
1618. Guza R. T., Davis R. E. "Excitation of Edge Waves by Waves Incident on a Beach," J. Geophys. Res., **79**, 1285 (1974).
1619. Levin Z., Ziv A. "The Electrification of Thunderclouds and the Rain Gush," J. Geophys. Res., **79**, 2699 (1974).
1620. Collyer A. A. "Viscoelastic Fluids," Phys. Educ., **9**, 313 (1974).
1621. Shute C. C. D. "Haidinger's Brushes and Predominant Orientation of Collagen in Corneal Stroma," Nature, **250**, 163 (1974).
1622. Robertson G. W. "Unusual Halo Phenomenon at Swift Current," Weather, **29**, 113 (1974).
1623. Teer T. L., Few A. A. "Horizontal Lightning," J. Geophys. Res., **79**, 3436 (1974).
1624. Buck J., Case J. F. "Control of Flashing in Fireflies. I. The Latern as a Neuroeffector Organ," Bio. Bull., **121**, 234 (1961).
1625. Mason C. W. "Structural Colors in Insects, II," J. Phys. Chem., **31**, 321 (1927).
1626. Bryant H. C., Jarmie N. "The Glory," Sci. Amer., **231**, 60 (July 1974).
1627. Whitaker R. J. "Physics of the Rainbow," Phys. Teacher, **12**, 283 (1974).
1628. Thompson A. H. "Water Bows: White Bows and Red Bows," Weather, **29**, 178 (1974).
1629. Liou K., Hansen J. E. "Intensity and Polarization for Single Scattering by Polydisperse Spheres: A Comparison of Ray Optics and Mie Theory." J. Atmos. Sci., **28**, 995 (1971).
1630. Roesch S. "Der Regenbogen in Wissenschaft und Kunst," Appl. Optics, **7**, 233 (1968).
1631. Harsch J., Walker J. D. "Double Rainbow and Dark Band in Searchlight Beam," Am. J. Phys., **43**, 453 (1975).
1632. Walker J. D. "Karate Strikes," Am. J. Phys., **43**, 845 (1975).

Дополнительная литература

1. Харкевич А. А. Автоколебания.— М.: ГТТИ, 1954.
2. Слободетский И. Сухое трение.— Квант, 1970, № 1.
3. Школьник о современной физике. Физика сложных систем.— М.: Просвещение, 1978.
4. Гиндаль Д. Звук.— М.: ГИЗ, 1922. 1922.
5. Стрелков С. П. Механика.— М.: ГТТИ, 1956.
6. Мандельштам Л. И. Лекции по теории колебаний.— М.: Наука, 1972.
7. Вайнберг Д. В., Писаренко Г. С. Механические колебания и их роль в технике.— М.: Физматгиз, 1965.
8. Хайкин С. Э. Физические основы механики.— М.: Наука, 1971.
9. Аршинов А. Грампластины. Государственные стандарты.— Радио, 1977, № 9.
10. Бельский А. И. Теория звука в приложении к музыке.— М.: ГИЗ, 1925.
11. Римский-Корсаков А. В., Дьяконов Н. А. Музыкальные инструменты.— М.: Музгиз, 1952.
12. Морз Ф., Болт Р. Звуковые волны в помещениях.— УФН, 1947, т. 32, с. 185, 333, 417.
13. Кнудсен Ф. Архитектурная акустика.— УФН, 1934, т. 14, с. 857.
14. Ватсон Ф. Р. Архитектурная акустика.— М.: ИЛ, 1948.
15. Красильников В. А. Звуковые волны.— М.— Л.: Физматгиз, 1961.
16. Коткин Г. Л. Почему плохо кричать против ветра? — Квант, 1979, № 2.
17. Бреховских Л. М., Житковский Ю. Ю. Акустика океана.— М.: Знание, 1977.
18. Андреева И. Б. Физические основы распространения звука в океане.— Л.: Гидрометеоиздат, 1975.
19. Мержанов А. Г., Руманов Э. Н. Горение без топлива.— М.: Знание, 1978.
20. Ржевкин С. Н. Слух и речь в све-

те современных физических представлений.— М.— Л.: ГТТИ, 1936.

21. Асламазов Л. Почему гудят про- вода.— Квант, 1972, № 3.

22. Школьников Р. В. Воздухо- струйные генераторы акустических колебаний для коагуляции аэрозо- лей.— Акустический журнал, 1963, № 9, с. 368.

23. Физический энциклопедический словарь.— М.: Советская энцикло- педия, 1960—1966.

24. Асламазов Л. Эффект Допле- ра.— Квант, 1971, № 4.

25. Лифшиц М. Эхолокация.— Квант, 1973, № 3.

26. Ржевкин С. Ультразвуковая ло- кация у летучих мышей.— УФН, 1946, т. 29, с. 209.

27. Айрапетьянц Э. Ш., Константи- нов А. И. Эхолокация в природе.— Л.: Наука, 1974.

28. Маковецкий П. В. Смотри в ко- рень! — М.: Наука, 1969.

29. Миронов А. Д. Сверхзвуковой хлопок самолета.— М.: Воениздат, 1964.

30. Компанец А. С. Законы физиче- ской статистики. Ударные волны. Сверхплотное вещество.— М.: Нау- ка, 1976.

31. Ландау Л. Д., Ахиезер А. И., Лифшиц Е. М. Курс общей физики. Механика и молекулярная физи- ка.— М.: Наука, 1965.

32. Мнацаканян А. Щелканье бича и ударные волны.— Наука и жизнь, 1975, № 6.

33. Блохинцев Д. И. Вихревой звук.— ЖТФ, 1945, т. 15, с. 63; Воз- буждение резонаторов потоком воз- духа.— ЖТФ, 1945, т. 15, с. 71.

34. Алексеев С. П. Шум.— М.: Изд- во АН СССР, 1948.

35. Квант, 1970, № 10, с. 50—51.

36. Шаскольская М. П., Эльцин М. А. Сборник избранных задач по физике.— М.: Наука, 1969.

37. Квант, 1977, № 1, с. 34—35.

38. Александер А. Биомеханика.— М.: Мир, 1970.

39. Понимаете ли вы физику? — М.: Знание, 1967.

40. Буховцев Б. Б. и др. Сборник за- дач по элементарной физике.— М.: Наука, 1974.

41. Иванов В. Н. Наука управления автомобилем.— М.: Транспорт, 1977. 1977.

42. Седов Л. И. Методы подобия и размерности в механике.— М.: Нау- ка, 1967.

43. Сивухин Д. В. Общий курс фи- зики. Механика.— М.: Наука, 1974.

44. Жаботинский М. Е. Световод- ная связь.— М.: Знание, 1977.

45. Смородинский Я. Сила Корио- лиса.— Квант, 1975, № 4.

46. Квант, 1974, № 2, с. 44.

47. Журавлев А. И., Тростников В. Н. Свечение живых тканей.— М.: Наука, 1966.

48. Натанзон Л., Плоткин Л. Маят- ник с вибрирующим подвесом.— Квант, 1976, № 2.

49. Капица П. Л. Маятник с вибри- рующим подвесом.— УФН, 1951, т. 64, с. 7.

50. Сборник задач по общему курсу физики. Механика.— М.: Наука, 1977.

51. Космонавтика. Маленькая эн- циклопедия.— М.: Советская энци- клопедия, 1968.

52. Балк М. Б. Элементы динамики космического полета.— М.: Наука, 1968.

53. Левантовский В. И. Механика космического полета в элементарном изложении.— М.: Наука, 1970.

54. Кикоин И. К., Кикоин А. К. Мо- лекулярная физика.— М.: Наука, 1976.

55. Квант, 1973, № 1, с. 29.

56. Справочник пловца-подводни- ка.— М.: Воениздат, 1977.

57. Квант, 1977, № 2, с. 28—29.

58. Кресин В. Адиабатный про- цесс.— Квант, 1977, № 6.

59. Трелоар Л. Структура и эластич- ность каучука.— УФН, 1946, т. 28, с. 259.

60. Мейсон Б. Дж. Физика обла- ков.— Л.: Гидрометеоздат, 1961.

61. Заморский А. Д. Атмосферные явления.— Л.: Гидрометеоздат, 1959.

62. Лебедева Н. В. Как образуются облака и осадки.— М.: Знание, 1964.

63. Шишкин Н. С. Облака, осадки и грозовое электричество.— Л.: Гид- рометеоздат, 1964.

64. Зверев А. С. Туманы и их предсказания.— Л.: Гидрометеиздат, 1954.
65. Лэнгмюр И. Рост частиц в дымах и облаках и образование снега из переохлажденных облаков.— УФН, 1949, т. 37, с. 340.
66. Свешников Б. Испарение, конденсация и абсорбция.— УФН, 1933, т. 3, с. 320.
67. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Термодинамика и молекулярная физика.— М.: Наука, 1975.
68. Брэгг В. О структуре льда.— УФН, 1939, т. 21, с. 105; Квант, 1972, № 11.
69. Кипяток и мороз.— Квант, 1970, № 5.
70. Гегузин Я. Е. Капля.— М.: Наука, 1977.
71. Голубев М., Кагаленко А. Капля на горячей поверхности.— Квант, 1977, № 12; Лужков А., Лужков Ю. Звезды из водяной капли.— Квант, 1978, № 7.
72. Несис Е. Кипение жидкостей.— УФН, 1965, т. 87, с. 615.
73. Мицн Н. А. Гейзеры.— Квант, 1974, № 10.
74. Квант, 1979, № 6.
75. Смородинский Я. А., Рассказ о кванте.— Квант, 1970, № 1.
76. Ландсберг Г. С. Оптика.— М.: Наука, 1976.
77. Квант, 1975, № 3.
78. Семенчинский С. Линзы, зеркала и Архимед.— Квант, 1974, № 12.
79. Стасенко А. Этот ужасный космический холод.— Квант, 1971, № 8.
80. Ланге В. Зачем топят печи? — Квант, 1975, № 4.
81. Фуллман Р. Рост кристаллов.— Квант, 1971, № 6.
82. Кляя М. Как вырастить кристалл.— Квант, 1971, № 5.
83. Покровский В. Л. Фазовые переходы (см. Зд, с. 149—168).
84. Гегузин Я. Пузырьковая модель кристалла.— Квант, 1978, № 3.
85. Лазарев П. О структуре поверхностного слоя жидкости.— УФН, 1918, т. 1, с. 145.
86. Асламазов Л. Поверхностное натяжение.— Квант, 1973, № 7.
87. Новожилов Б. В. Физика горения.— М.: Знание, 1972.
88. Волькенштейн М. В. Что такое биофизика (см. Зд, с. 75—111).
89. Бреслер С. Физика и биология.— УФН, 1975, т. 115, с. 121.
90. Слюсарев Г. Г. О возможном и невозможном в оптике.— М.: ГТТИ, 1957.
91. Квант, 1976, № 10, с. 39—40.
92. Квант, 1977, № 5, с. 28.
93. Кузов К. Мир без форм.— М.: Мир, 1976.
94. Эйнштейн А. Элементарная теория полетов и волн на воде. Собр. соч. т. 4.— М.: Наука, 1967; Квант, 1970, № 5.
95. Жуковский Н. Е. Собрание сочинений в 7 т.— М.— Л.: ГТТИ, 1947—1950.
96. Меркулов В. Популярная гидродинамика.— К.: Техника, 1975.
97. Меркулов В. Отчего люди не летают? — Наука и жизнь, 1975, № 6.
98. Жуковский Н. Е. О парении птиц (см. 95д, т. 5, с. 6—40).
99. Жуковский Н. Е. Элементарная теория гироскопов (см. 95д, т. 1, с. 275—286).
100. Прандтль Л. Эффект Магнуса и ветряной корабль.— УФН, 1925, т. 5, с. 1.
101. Шулейкин В. В. Очерки по физике моря.— М.: изд-во АН СССР, 1962.
102. Горелик Г. С. Колебания и волны.— М.: Физматгиз, 1959.
103. Стасенко А. Волны на воде и заморские гости Н. Рериха.— Квант, 1972, № 9.
104. Соскин С. Капиллярные волны в струе.— Квант, 1976, № 10.
105. Попов И. В. Загадки речного русла.— Л.: Гидрометеиздат, 1977.
106. Жуковский Н. Е. О движении воды на повороте реки (см. 95д, т. 4, с. 193—233).
107. Алексеева Л. Вихри, которые делают погоду.— Квант, 1977, № 8.
108. Хргиан А. Х. Физика атмосферы.— М.: ИЛ, 1958.
109. Асламазов Л. Снежные заносы.— Квант, 1971, № 6.
110. Жуковский Н. Е. О снежных заносах и заилении рек (см. 95д, т. 3, с. 451—477).
111. Жуковский Н. Е. Основы теории вихрей.— Квант, 1971, № 4.
112. Вуд Р. Вихревые кольца.— Квант, 1976, № 12.
113. Майер Г. Липкая струя.— Квант, 1977, № 11.
114. Покровский Г. И. Гидродинамические механизмы.— М.: Знание, 1972.
115. Асламазов Л. Г. От скрипки до ганновского генератора (см. Зд, с. 59—74).
116. Ланге В. К механике буерного спорта.— Квант, 1975, № 11.
117. Кравков С. В. Глаз и его работа.— М.— Л.: изд-во АН СССР, 1950.
118. Фрайзер А., Мах У. Миражи, УФН, 1978, т. 124, с. 333.
119. Вуд Р. Искусственные миражи.— Квант, 1971, № 10.
120. Сборник задач по общему курсу физики. Оптика.— М.: Наука, 1977.
121. Виленкин А. Калейдоскопы.— Квант, 1972, № 8.
122. Хейфец С. Блеск в природе, или почему у кошки глаза светятся.— Квант, 1971, № 9.
123. Майер В. Отверстие-линза.— Квант, 1972, № 8.
124. Кравцов В., Сербин И. Уголко-вые отражатели.— Квант, 1978, № 11.
125. Нуссенцевейг Х. Теория радуги.— УФН, 1978, т. 125, с. 527.
126. Броунов П. Атмосферная оптика.— М.: ГИЗ, 1924.
127. Головей М. Отражательные поляризаторы.— Квант, 1975, № 11.
128. Хвостиков И. Очерки по физике земной атмосферы.— УФН, 1938, т. 19, с. 49, 145.
129. Шулейкин В. О происхождении окраски морей и озер.— УФН, 1923, т. 3, с. 404.
130. Хвостиков И. Теория рассеяния света и ее применение к вопросам прозрачности атмосферы и туманов.— УФН, 1940, т. 24, с. 165.
131. Арабаджи В. Дифракционная окраска насекомых.— Квант, 1975, № 2.
132. Косоуров Г. Шарик вместо линзы.— Квант, 1970, № 9.
133. Смородинский Я. А., Сорока

Л. М. Успехи голографии.— М.: Знание, 1970.

134. Жуковский Н. Е. Динамика аэропланов в элементарном изложении (см. 95д, т. 5, с. 340—405).

135. Косоуров Г. Оранжевое небо.— Квант, 1970, № 11.

136. Косоуров Г. Не верь глазам своим.— Квант, 1970, № 10.

137. Валюс Н. А. Стереоскопия.— М.: изд-во АН СССР, 1962.

138. Валюс Н. А. Растровые оптические приборы.— М.: Машиностроение, 1966.

139. Вистинь Л. К., Чистяков И. Г. Жидкие кристаллы.— М.: Знание, 1975.

140. Квант, 1976, № 1, с. 57.

141. Зильберман Г. Е. Электричество и магнетизм.— М.: Наука, 1970.

142. Собрание трудов академика А. Н. Крылова.— М.— Л.: изд-во АН СССР, 1936—1959, т. 1, ч. 2.

143. Смородинский Я. Закон Ома.— Квант, 1971, № 4.

144. Васильев А. М. Электронная теория проводимости и термоэлектрический эффект. В сб. Физика и техника.— М.: Знание, 1977.

145. Френкель Я. И. На заре новой физики.— Л.: Наука, 1970.

146. Эйнштейн А. К столетию со дня рождения лорда Кельвина. Собр. соч. М.: Наука, 1967, т. 4, с. 63—66.

147. Кротова Н. А. О склеивании и прилипании.— М.: изд-во АН СССР, 1960.

148. Собрание трудов академика А. Н. Крылова.— М.— Л.: изд-во АН СССР, 1936—1959, т. II.

149. Баракан Н. Влияние метеорологических факторов на распространение радиоволн.— УФН, 1940, т. 24, с. 398.

150. Вавилов С. Природа северных сияний.— УФН, 1918, т. 1, с. 233.

151. Акасофу С. Полярные сияния.— УФН, 1966, т. 89, с. 669.

152. О'Брайен Б. Явления, связанные с полярными сияниями.— УФН, 1966, т. 89, с. 681.

153. Калашников С. Г. Электричество.— М.: Наука, 1970.

154. Симпсон Дж. Молния.— УФН, 1930, т. 10, с. 757.

155. Симпсон Дж. Молния.— М.— Л.: ГТТИ, 1932.

156. Бак М., Николаевская Н. Молния и ее физическая природа.— УФН, 1939, т. 22, с. 294.

157. Базамен Э. М., Горин Б. Н., Левитов В. И. Физические и инженерные основы молниезащиты.— Л.: Метеонздат, 1978.

158. Капица П. Л. Эксперимент, теория, практика.— М.: Наука, 1977.

159. Стаханов И. П. Физическая природа шаровой молнии.— М.: Атомиздат, 1979.

160. Смирнов Б. Об анализе природы шаровой молнии.— УФН, 1975, т. 116, с. 731.

161. Клеи и технология склеивания. Сб. статей под ред. Кардашова Д. А.— М.: Машиностроение, 1960.

162. Квант, 1975, № 11, с. 42.

163. Жуковский Н. Е. О влиянии давления на насыщенные водой пески (см. 95д, т. 7, с. 34—42).

164. Инденбом В. Л., Никитенко В. И., Струнин Б. М. Теория дислокаций и дислокационная физика.— Природа, 1974, № 5—6.

165. Косевич А. М. Физические механизмы пластичности кристаллов (см. Зд, с. 75—111).

166. Эрден-Груз Т. Химические источники энергии.— М.: Мир, 1974.

167. Коткин Г. Всплывающий воздушный пузырек и закон Архимеда.— Квант, 1976, № 1.

168. Булат В. Л. Оптические явления в природе.— М.: Просвещение, 1974.

169. Лаговский В. «Большая ложка» природы.— Наука и жизнь, 1978, № 4.

170. Бабенко В. Костры среди деревьев.— Вокруг света, 1976, № 10.

171. Чириков К. Тайны маленького диска.— Юный техник, 1977, № 9.

172. Юрковский И. М. Вожделение автомобиля в сложных дорожных условиях.— М.: изд-во ДОСААФ, 1975.

173. Майер В. В. Простые опыты с ультразвуком.— М.: Наука, 1978.

174. Кок У. Звуковые и световые волны.— М.: Мир, 1966.

175. Куликов К. А., Сидоренков Н. С. Планета Земля.— М.: Наука, 1977.

176. Доброславский А. Фокус с шарми.— Юный техник, 1979, № 10, с. 59.

177. Заверотов В., Викторчик А. Возвратись, бумеранг!— ЮТ для умелых рук, 1976, № 7.

178. Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах.— М.: Мир, 1979.

179. Кондратьев К. Я. Сумерки.— Л.: Гидрометеонздат, 1976.

Предметный указатель

Адгезия 7.24
Адиабатические процессы 3.16, 3.18—3.23, 3.32, 3.46, 3.47, 4.76
Акваланг 3.7, 3.9
Аквапланирование 4.44, 4.120
Акулы 4.51
Акустика помещения 1.26, 1.27
Антенна 6.28
Антикорона 5.79
Антифриз 3.51
Артиллерия 1.29, 1.65, 1.69, 1.76, 2.52
Арфа 1.8
Архимеда закон 4.7, 4.9, 4.11
Атомная бомба 3.24, 3.27, 3.97, 6.36, 7.17

Бабочки 5.94
Балет на льду 2.54
Баллистическое движение 2.49, 2.52
Банджо 1.8
Барабан 1.3
Барашки 3.29
Барометр 3.3
Бейсбол 2.2, 2.4, 2.9, 2.12, 2.13, 2.66, 4.39, 4.40
Белок 7.9
Бернулли закон 1.54, 3.34, 4.19—4.41, 4.44
Бильярд 2.27
Биоэлектричество 6.2
Бишопа кольцо 5.82
Блики 5.49
«Блины» на воде 2.40
Бойля-Мариотта закон 3.6
«Большая Берта» 2.52
Брокенское видение 5.79
Бронтиды 1.36
Броуновское движение 1.67
Брюстера угол 5.19
Бумеранг 2.55
Бутылки 1.48, 1.57, 2.44
Бэра закон 2.53

Ванна 3.78, 4.67, 4.73, 5.3, 6.14
Велосипед 2.26, 2.29, 2.31, 3.16, 5.27
— одноколенный 2.61
Вентилятор 4.27
Венцы 5.80, 5.81, 5.83
Веревочный телефон 1.9
Вес 2.16
«Вечный двигатель» 6.24
Взрывы 1.29, 3.III, 3.112
Викинги 5.56
Вйна закон 3.97
Вихревая трубка 4.76
Влажность 3.3, 3.90
Водоискательство 7.5
Водопад 2.65

Воздушный змей 4.99, 6.39
Воздушный шар 3.5, 7.12
Волноводы акустические 1.25
Волны на воде 4.41—4.60, 4.115
— приливные 4.56
— рэлеевские 1.31, 1.34, 7.8
— снежные 7.6
— ударные 1.73, 1.74, 1.76, 4.56, 4.58
Волчки 2.69, 2.73, 5.118
Времена года 3.81
Вспучивание дорог 3.106
Вспышки на Солнце 7.14
Вулканы 5.82, 6.37
Высота 2.8, 3.1, 3.2, 7.14

Галерея шепотов 1.31
Гало 5.43, 5.46
Гальвани опыт 6.2
Гейдингера фигура 5.57
Гейзеры 3.66
Гелий 1.21
Гидравлический скачок 4.58
Гироскопы 2.69—2.73
Голубые дужки сетчатки 5.120
Голубые горы 5.86
Гольф 2.6, 4.36, 4.96
Гольфстрим 4.62
Гоночные автомобили 1.1, 1.65, 2.42, 4.30, 4.79, 4.90
Горение 3.111, 3.112
Горчица 4.126
Горы 2.78, 3.22, 3.60, 5.7
Гравитация 2.74, 2.79, 7.1
Граммофон 1.60, 1.64
Грампластинки 1.4
Грибы 3.24
Гроза 3.41, 3.86
Гром 1.38, 1.74
Громкоговорители 1.60, 1.62, 1.64
Грязь 3.113, 5.87

Давление барометрическое 4.13
— гидростатическое 4.12, 4.13, 4.130
— излучения 5.104
— осмотическое 3.103—3.107
— отрицательное 3.103
Дельфины 4.51
Декомпрессия 3.9
Детекторный приемник 6.26
Деформация сдвига 1.5, 1.6, 4.126, 7.11
Джоулево тепло 6.1
Дзюдо 2.48
Диабло 2.70
Дисперсия радиоволн 6.31
— света 5.13, 5.16, 5.32—5.34, 5.58—5.63, 5.79, 5.84—5.93, 5.129
Дифракция звука 1.37, 1.40, 1.42, 1.43
— света 5.95—5.98, 5.105
Дифференциал автомобиля 2.41
Диффузия 3.92, 4.16, 4.131
Дождь 2.1, 5.31, 6.43
Долина смерти 3.21

Доплера эффект 1.65, 1.66
Дуги 5.46, 5.120
Духовка 3.56
Дым 3.35—3.37, 4.103, 5.89, 5.90
— заводских труб 3.37
— сигареты 3.36, 5.89
Дымка атмосферная 5.78, 5.86
Дыхательная трубка 4.2

Елочные гирлянды 5.63
— шарик 5.141

Жалюзи 5.105
Желатин 4.124, 4.126
Жидкие кристаллы 5.93
Жидкий «канат» 4.125
Жидкости неньютоновские 4.122—4.131
— упругие 4.122, 4.123, 4.129
Жук-плавунец 4.45
Жук-щелкун 2.15

Заборы 4.92, 6.10
Загар 5.109
Задержка зрительного восприятия 5.117, 5.122
Закат 5.16, 5.58, 5.60—5.62, 5.100
Залив Фанди 4.57
Замерзание 3.11; 3.39, 3.40, 3.42, 3.44—3.51
Занос автомобиля 2.37
Затмение 5.25, 5.99
Звезды 5.66, 5.97, 5.102, 5.106, 5.119, 7.3
«Зеленый луч» 5.16
Землетрясение 1.45, 6.38, 7.8
Зеркало 5.12, 5.15, 5.74
Зодиакальный свет 5.76
Зрение 5.115—5.141
Зыбучие пески 4.130

Излучение абсолютно черного тела 3.73, 5.106
Инверсионный след самолета 3.32
Индукция магнитная 6.21—6.23
Интерференция волн на воде 4.41, 4.42, 4.44—4.47, 4.59
— звука 1.24—1.26
— света 5.34, 5.52, 5.59, 5.74, 5.79, 5.91—5.101, 5.115
Инфразвук 1.45
Инфракрасный свет 7.16
Ио-ио 2.47
Ионосфера 6.30

Кавитация 1.46, 1.48, 4.105
Кадило 2.58
Каменная кладка 3.107
Камера-обскуры 5.24
Камин 3.34
Камни 2.40, 3.105, 4.7
Канатоходец 2.43

Капиллярные волны 4.45
— явления 3.38, 3.100—3.107, 3.110
Капли 3.65, 3.109, 4.108, 4.113, 4.121, 5.28, 5.32—5.41
Каратэ 2.10
Карбюратор 3.53
Карта 2.78, 5.72
— облачная 5.72
Кастриуля-скороварка 2.17
Качка корабля 2.60
Каяк 2.35
Кельвина капельница 6.8
Кельты 2.72
Кетчуп 4.126
Кинетическая теория газа 3.94
Кипение воды 1.12, 3.61, 3.62
Клей 7.24
Клейкая лента 6.11, 7.10
Когерентный свет 5.115
Колодцы 3.4
Колокол 2.63
Комбинационные тона 1.64
Конвекция 3.44, 3.56, 3.59, 3.66, 3.70, 3.79, 3.84—3.89, 3.93, 3.96, 4.71, 4.98, 4.101
Конденсация 3.17, 3.22—3.24, 3.26—3.32, 4.101
Коньки 3.46
Корабли 2.60, 4.9, 4.37, 4.46
Коронная вспышка 5.47
Коррозия 7.22
Космические лучи 7.14
Космология 7.3
Костры 3.35, 4.72
Косяки рыбы 4.82
Кофе 1.22, 3.91, 4.70, 4.101
Кофейник 3.67
Кошка 2.45, 5.30
Краевые волны 4.47
Краски 4.126
Креветки 3.89
Крем для бритья 4.126
Кристаллы 3.98, 5.93
— дихроичные 5.56
— жидкие 5.93
Кровяное давление 4.3
Крошки 6.17
Кукуруза 7.13
Культивация почвы 3.101
Кундта трубка 1.47

Лавины 1.6, 3.47
Лазер 5.17, 5.104, 5.115
Лампа накаливания 3.72, 6.6
— шахтерская 3.112
Лассо 2.32
Левитация 4.21, 4.22, 5.104, 6.21, 7.1, 7.2
Лед 1.19, 2.25, 2.37, 3.38, 3.43, 3.46, 3.50, 3.54, 3.104, 5.42, 5.43, 5.45
Ледник 3.58
«Летающая тарелка» 4.34
Легучая мышь 1.66, 2.4, 2.13, 2.66
Лимонад 1.13, 3.19

Линии электропередачи 6.50
Листья 4.102, 5.25, 5.28
Ловица дуга 5.46
«Логово ветра» 3.8
Ложные солнца 5.42
Луговая радуга 5.41
Лук спортивный 2.67
Луна 2.74, 2.76, 2.77, 4.52—4.54, 5.13, 5.18, 5.37, 5.69, 5.84, 5.134, 5.136, 7.2
«Лучи будды» 5.135
«Лучи смерти» 3.76
Лыжи 2.46, 2.59, 3.45, 4.95, 5.65
Лэнда эффект 5.128

Магнетизм 6.19—6.24
Майонез 4.126
Маргарин 4.126
Масло 4.78, 4.101, 4.108, 4.125, 5.91
Маха полосы 5.127
Маятник 2.44, 2.56, 2.58, 2.61—2.64, 4.90
Меандры 4.64
Мел 1.1
Микроволны 6.5
Мираж 5.7—5.11, 5.14
Молниеотвод 6.40
Молния 1.38, 5.47, 6.32—6.48
— четочная 6.34
— шаровая 5.107, 6.35
Молоко 4.70, 4.110, 4.113, 5.88
Молотки 2.11
Момент инерции 2.33, 2.37—2.39, 2.42, 2.74
Монеты 4.78, 5.4
Морозные узоры 5.51
Мосты 1.34, 2.57, 4.84
Мощность 1.62, 2.15
Муаровые узоры 5.142
Музыка 1.3, 1.4, 1.8, 1.10, 1.23, 1.26, 1.51, 1.52, 1.54
Мыло 4.117, 5.91, 5.113
Мяч упругий 2.18, 2.28
— пляжный 4.20

Насекомые 2.15, 3.88, 4.28
Насосы 3.16
Нервы 6.2
Неустойчивость
— *Кельвина* — *Гельмгольца* 4.85
— *Рэлея* — *Тэйлора* 4.15, 4.18
Нимбы 5.26
НЛО 7.1

Облака 3.23—3.29, 3.32, 4.100, 5.70, 5.71, 5.73, 7.4
— перламутровые 5.73
— серебристые 7.4
Облачные карты 5.72
Обратная связь акустическая 1.41, 1.56
Огни св. Эльма 6.46
Одежда 1.16, 3.79, 5.22, 6.44
Ожог солнечный 5.109

Озера 4.102, 4.109, 5.67, 5.101
Ольберса парадокс 7.3
Оптическая активность 5.54
Орбитальное движение 2.75, 2.76, 2.79
Отбеливатели 5.103
Отверстия оптика 5.23—5.25
Отражение звука 1.27, 1.130, 1.31, 1.74
— света 5.2, 5.6, 5.12, 5.15, 5.17, 5.19—5.22, 5.26, 5.27, 5.30, 5.32, 5.42, 5.47, 5.91, 5.141
Очки 5.49, 5.112, 5.117
— защитные 5.1, 5.65
— солнечные 5.49, 5.112, 5.117

Панамский канал 4.4, 4.5
Паращют 4.90
Парение в струе *см.* Левитация
— птиц 4.98
Парники 3.83
Парус 4.33
Пение 1.51, 1.52
Переохлаждение 3.39
Перец 4.117
Перламутровые облака 5.73
Песочные замки 6.17
Песчаные дюны 1.6, 4.102, 4.106
— складки 4.104
Пещеры 3.8
Пирог 3.2
Пленки пластиковые 5.52, 6.18
— тонкие 4.109—4.112, 4.114, 4.115, 4.119, 5.91, 5.92
Плотины 2.40, 4.1
Пляжный мяч 4.20
Поглощение звука 1.15
— излучения 3.38, 3.71, 3.75, 3.76, 3.79—3.84, 3.91, 3.93, 3.95, 6.5
Подводная лодка 1039, 3.7, 4.10
Подъемная сила крыла 2.55, 4.31, 4.94
Полет 4.31, 4.32, 4.35, 4.77, 4.97, 4.98
Полирование 7.23
Поляризация 5.19, 5.36, 5.48—5.57
— света неба 5.50, 5.55—5.57
Полярное сияние 1.75, 6.30
«Пояс Венеры» 5.62
Преломление волн на воде 4.48
— звука 1.28, 1.29, 1.33, 1.35, 1.38, 1.39, 1.73
— света 5.1, 5.3—5.11, 5.13, 5.16—5.18, 5.32, 5.42, 5.46, 5.51, 5.91, 5.92, 5.99, 5.100, 5.102, 5.104
Прессессия 2.26, 2.69
«Призраки» в окнах 5.6
Приливы 4.52—4.57
Проводимость акустическая 1.20, 1.71, 1.72
Прожектор 5.75, 5.137
Противосияние 5.76
Пруд 3.44
Прыгающие бобы 2.7
Прыжки 2.8
Птицы 1.37, 4.77, 4.97, 4.98, 5.9

Пуассона пятно 5.98
Пузыри в жидкости 3.44, 4.81, 6.20
— вибрация 1.12, 1.13
— зарождение 1.13, 1.46, 1.48, 3.33
— мыльные 3.108, 3.109
Пульверизатор 4.25
Пуля 2.49
Пуркинье опыты 5.122, 5.124, 5.126
Пурпурный луч 5.58, 5.60
Пустыня 4.102
Пучность волны 1.2, 1.44
Пчелы 5.55
Пылевые вихри 4.71
Пыль 3.111
Пьющая птичка 3.64

Радиатор отопительный 3.68, 3.70
Радиация 7.14, 7.15
Радио 1.64, 6.25, 6.26, 6.28, 6.29
Радуга 5.32—5.41, 5.44
— луговая 5.41
— туманная 5.44
Разряд 5.86, 6.32—6.49
Ракеты 1.69
Раковины морские 1.49
Рассеяния теория
— *Ми* 5.78—5.90
— *Рэлея* 1.30, 5.58, 5.59
Расширение тепловое 3.110—3.115
Резиновая лента 1.11, 3.13
Резонанс акустический 1.1, 1.2, 1.44—1.59
— механический 2.56—2.68
Реки 2.53, 4.64
Рентгеновские лучи 5.127, 7.16
Роса 5.26, 5.41
Рупор 1.60
Рупор-мегафон 1.63
Рыбы 4.12, 4.82, 4.111, 5.1, 5.5
Рэлеевская струя 4.113

Сады 3.95
Самолет 1.24, 1.73, 3.1, 4.31, 4.32, 4.37, 4.94, 6.27, 6.42, 7.14
Санта-Ана 3.18
Сахар 4.78, 5.108, 6.12
Свет Анд 6.48
Светляки 5.110
Свечи 3.110
Свинец 3.69, 7.20
Свист 1.56—1.59, 1.61
Сдвига деформация 1.5, 1.6, 4.126, 7.11
Сейши 4.55
Серебристые облака 7.4
Серфинг 4.49—4.51
Сетки 4.87, 5.105
Селиконовая замазка 4.127, 4.128
«Синяя Луна» 5.84
Система отсчета вращающаяся 2.52—2.54, 4.61, 4.65—4.67
Сифоны 4.105, 4.107, 4.129
Скрипка 1.10
Скрытая теплота перехода 3.22, 3.40, 3.43, 3.52, 3.54—3.62, 3.64, 3.68, 3.93
Следы на песке 7.11

Слух бинауральный 1.70, 1.72
Смачивание 3.100, 3.102
Смерч 1.33, 1.45, 4.68, 4.69, 5.107
Смычок 1.7, 1.10
Снег 1.14, 1.15, 3.45, 3.48—3.50, 3.96, 3.99, 4.92, 4.93, 6.10
Снежная слепота 5.139
Согласование акустических импедансов 1.60, 1.62
Сок древесный 3.103
Соленая вода 4.4, 4.5, 4.16—4.18
Солнечный ожог 5.109
Соляное кольцо 3.63
Соударения 2.10—2.13, 2.16
Спидометр 6.23
Спутники 2.75
Спутный след 4.44—4.46, 4.75, 4.77—4.82
Старца 4.64
Стекло ветровое 4.28, 5.53, 5.77
Стробоскоп 5.116, 5.118, 5.131
Струна 1.8—1.11
Стулья 2.14
Сухой док 4.9

Телевидение 5.116, 5.118, 5.132, 6.25, 6.27
Теневые полосы 5.99, 5.100
Тени 1.76, 5.23, 5.25, 5.87, 5.124, 5.125, 5.127
Тепловой удар 3.90
Теплопроводность 3.42, 3.45, 3.48, 3.49, 3.59, 3.69, 3.78, 3.80, 3.81, 3.84, 3.91, 3.93, 3.96, 3.112
Термометр 3.12
Течения океанские 4.61, 4.62, 6.4
Тиксотропия 4.126
Тормоза автомобиля 2.19
Торнадо 1.33, 1.45, 4.68, 4.69, 5.107
Трение 2.19—2.22, 2.79, 4.54, 4.76, 4.106, 7.19
Трещины 3.113, 3.114, 7.21
Трубка вихревая 4.76
— дыхательная 4.2
— гофрированная 1.54
— Кундта 1.47
Трубы 1.44, 1.46, 1.54, 3.11, 3.70
— печные 2.51, 3.34
Туманная радуга 5.44
Туманный ревун 1.42
Туннель 3.6
Триболюминесценция 5.108

Угорь электрический 6.4
Удар тепловой 3.90
— электрический 6.1, 6.3, 6.47
Ударные волны 1.73, 1.74, 1.76, 4.56, 4.58
Узоры морозные 5.51
— муаровые 5.142
Уличные фонари 5.63, 5.122
Ультразвук 1.66
Ультрафиолетовый свет 5.103, 5.113, 7.16
Унитаз 4.107

Упругие жидкости 4.122, 4.123, 4.129
Ускорение 2.21

Ухабы дорожные 2.59

Фата-моргана 5.8
Фильтрация 6.1
Флаги 4.29
Флюоресценция 5.113, 5.114, 5.131
Фольга алюминиевая 3.71
Фонари уличные 5.63, 5.122
Форма для пирога 3.75
Фосфены 5.121
Фосфоресценция 5.131
Фотохимия 5.110—5.112

Хладни фигуры 1.7
Хлопья рисовые 1.18
— «Чирю» 3.100
«Хождение» по огню
Холодильник 3.74
Хула-хуп 2.30

Цвет 3.92, 5.126, 5.128—5.131
— неба 5.58—5.62, 5.68
Целлофан 5.52
Центра масс движение 2.7, 2.8, 2.14

Чайки в стакане 4.63
Чайки 1.37
Часы 2.64, 3.4
— песочные 2.16, 4.6
Человек-невидимка 5.2
Черенковское излучение 7.15
«Черный свет» см. Ультрафиолетовый свет
Чинук 3.18

Шакал 4.27
Шампанское 3.6, 3.19
Шампунь 4.123
Шарик елочный 5.141
— теннисный 2.18
Шепот 1.43, 1.50
Шины автомобильные 2.20, 2.36, 2.38, 3.49, 4.120
Шланг 4.8
Шум 1.68

Экмана спираль 4.61
Электрический ток 5.121, 6.1, 6.32
— удар 6.1, 6.3, 6.47
Электростатика 6.7—6.18
Энтропия 3.116
Эхо 1.30—1.32, 1.34
Эхо-локатор 1.39, 1.66

Юбана 3.61

Яйцо 2.71, 4.23, 4.124, 7.9

Содержание

Предисловие редактора перевода 6

От автора 9

Благодарности 10

1. Прячься под подушку! Слышишь ли во сне? Кто-то там крадется в гулкой тишине! 11

2. Морж рассуждает о классической механике 29

3. Тепловые фантазии и прочие удовольствия 51

4. Буря в стакане воды 81

5. Она повсюду является в цвете 115

6. Электрический злодей и волшебное колечко 150

7. И под конец обо всем понемногу 164

Краткие ответы 172

Литература 261

Дополнительная литература 292

Предметный указатель 295

Научно-популярное издание

Джирл Уокер

Физический фейерверк

Заведующий редакцией В. С. Власенко
Научный редактор А. Н. Кондрашова
Мл. научный редактор М. А. Харузина
Художник Н. Е. Анисимова
Художественный редактор Н. М. Иванов
Технический редактор Т. А. Максимова
Корректор Т. П. Пашковская

ИБ № 6305

Подписано к печати 6.08.87. Сдано в набор 27.06.88. Формат 84×108¹/₁₆. Печать офсетная. Бумага офсетная № 1. Гарнитура литературная. Объем 9,50 бум. л. Усл. печ. л. 31,92. Усл. кр.-отт. 65,40. Уч.-изд. л. 30,06. Изд. № 9/5703. Тираж 100 000 экз. Зак. 553. Цена 2 р. 20 к.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР» В/О «Совэкспорткнига» Государственного комитета СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, 129820, ГСП, Москва, И-110, 1-й Рижский пер., 2.

Можайский полиграфкомбинат В/О «Совэкспорткнига», Государственного комитета СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли, 143200, г. Можайск, ул. Мира, 93.