

М. Е. ТУЛЬЧИНСКИЙ



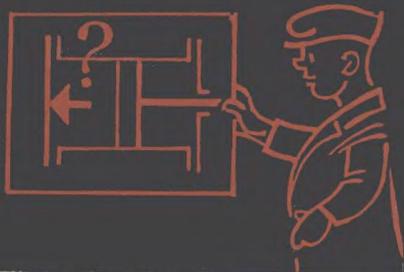
**ЗАНИМАТЕЛЬНЫЕ**



**ЗАДАЧИ-  
-ПАРАДОКСЫ**



**И СОФИЗМЫ**



**ПО ФИЗИКЕ**



БИБЛИОТЕКА ШКОЛЬНИКА

●  
М. Е. ТУЛЬЧИНСКИЙ

# ЗАНИМАТЕЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ- ПАРАДОКСЫ И СОФИЗМЫ ПО ФИЗИКЕ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПРОСВЕЩЕНИЕ»  
Москва. 1971



**Т 82 Тульчинский М. Е.**  
Занимательные задачи-парадоксы и софизмы по физике. М., «Просвещение», 1971.

160 с. с илл. (Б-ка школьника)

Книга содержит занимательные задачи-парадоксы и софизмы, подобранные в соответствии с программой курса физики средней школы.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В связи с массовым участием школьников в физических олимпиадах стали распространяться занимательные задачи-парадоксы и задачи-софизмы. Цель предлагаемой книги: привлечь внимание учащихся к новому и интересному виду физических задач (парадоксам и софизмам), помочь им углубить понимание отдельных сложных вопросов курса физики средней школы, развить логическое физическое мышление, дать занимательный материал для самостоятельной внеклассной работы.

Чтобы облегчить пользование задачами, включенными в книгу, автор систематизировал их в соответствии с программой курса физики средней школы.

Материалом для составления задач-парадоксов послужили фундаментальные законы физики и методические приемы их изложения в ряде учебников и учебных пособий, оригинальные работы классиков физики, описания технических конструкций и устройств, решения обычных школьных задач. Материалом для составления задач-софизмов послужили ошибки учащихся. В своих ответах на вопросы учителя они допускают тонкие, подчас замаскированные ошибки (не учитывают всех данных задачи, неверно применяют физические формулы или законы и др.), разбор которых часто превращается в интересную и поучительную дискуссию. Составляя задачи-софизмы, автор следовал по пути, намеченному еще А. В. Цингером в его известных задачах-диалогах, также построенных на ошибках учащихся.

В ряде случаев автор брал хорошо известную занимательную физическую задачу и переделывал ее в задачу-парадокс (или софизм). При этом использовался прием сопоставления либо нескольких решений задачи, либо одного из решений с опытом, либо одного из решений с так называемым «здравым смыслом», и во всех случаях обнаруживалось противоречие, которое требовалось разрешить.

В отдельных задачах-софизмах автор умышленно направляет читателя на ошибочное заключение, приводит к противоре-

чию и предлагает отыскать ошибку в суждениях. Отыскание ошибок в рассуждениях способствует выработке способности к дифференциации близких по сходству словесных раздражителей, более тонкому восприятию и углубленному пониманию связи и взаимной обусловленности физических явлений.

Обильный материал для составления задач-софизмов дает рассмотрение проектов вечных двигателей. «История исканий вечного двигателя в высшей степени интересна для механики, потому что она тесно переплетена с историей установления основных законов динамики»<sup>1</sup>.

В книге задачи-парадоксы отмечены знаком  $\circ$ , а задачи-софизмы знаком  $\bullet$ . Это облегчит работу над задачами, так как в задаче-софизме обязательно допущена какая-нибудь физическая ошибка, которую требуется отыскать.

Учитывая различную степень подготовленности читателей, автор поместил в сборник и сложные, и относительно простые задачи, связанные с типичными ошибками, которые допускают учащиеся. Небольшое число задач, выходящих за рамки программы средней школы, отмечено специальным знаком\*.

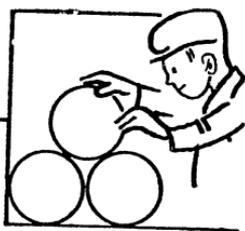
В работе автор использовал следующую литературу:

1. Волжин В. А. Физические парадоксы и софизмы. СПб., 1898.
2. Коган Б. Ю. Сто задач по физике. М., «Наука», 1965.
3. Гампсон-Шефер. Парадоксы природы. Одесса, 1910.
4. Перельман Я. И. Занимательная физика, кн. 1—2. М.—Л., ГИТТЛ, 1947.
5. Тульчинский М. Е. Сборник качественных задач по физике, изд. 3. М., «Просвещение», 1965.

*Автор*

---

<sup>1</sup> В. Л. Кирпичев. Беседы о механике. М.—Л., ГИТТЛ, 1951, стр. 287.



## 1. КИНЕМАТИКА

### ● 1. Всегда ли верно правило параллелограмма?

Груз  $P$  поднимается при помощи двух неподвижных блоков (рис. 1). Пусть скорости точек  $A$  и  $B$  равны  $v$ , необходимо определить скорость  $u$ .

Решение. Из чертежа находим:  $u = 2v \cos \alpha$ .

Но при малом угле  $\alpha$  (блоки расположены близко друг от друга) должно быть  $u \approx v$ , тогда как полученная формула дает

$$u = 2v.$$

Как разрешить это противоречие?

### ● 2. Как рассчитать среднюю скорость?

Из пункта  $A$  в пункт  $B$  автодрезина двигалась равномерно со скоростью  $20 \text{ км/ч}$ , а из пункта  $B$  в пункт  $A$  — также равномерно со скоростью  $30 \text{ км/ч}$ . Определить среднюю скорость движения туда и обратно.

Решение. Согласно правилу нахождения среднего арифметического значения находим:

$$v_{\text{ср}} = \frac{v_1 + v_2}{2} = \frac{20 \frac{\text{км}}{\text{ч}} + 30 \frac{\text{км}}{\text{ч}}}{2} = 25 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

С другой стороны, согласно формуле определения средней скорости  $v_{\text{ср}} = \frac{S}{t}$  имеем:

$$\begin{aligned} v_{\text{ср}} &= \frac{2l}{t_1 + t_2} = \frac{2l}{\frac{l}{v_1} + \frac{l}{v_2}} = \frac{2v_1 v_2}{v_1 + v_2} = \\ &= \frac{2 \cdot 20 \frac{\text{км}}{\text{ч}} \cdot 30 \frac{\text{км}}{\text{ч}}}{50 \frac{\text{км}}{\text{ч}}} = 24 \frac{\text{км}}{\text{ч}}. \end{aligned}$$

Как объяснить эти противоречащие друг другу ответы?

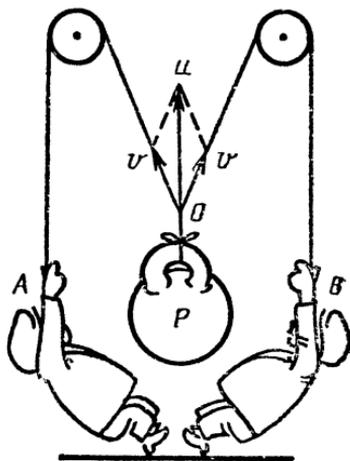


Рис. 1.

● 3. Неоднозначные ответы.

В момент, когда вагон троллейбуса имеет скорость  $10 \text{ м/сек}$ , водитель включает тормоз, и вагон движется равнозамедленно до остановки. При каком ускорении он пройдет путь  $8 \text{ м}$  за  $2 \text{ сек}$ ?

Решение. В соответствии с формулой  $s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$  получаем:  $a = -6 \text{ м/сек}^2$ .

В соответствии с формулой  $a = \frac{v - v_0}{t}$  имеем:  $a = -5 \text{ м/сек}^2$ .

Пользуясь же формулой  $a = \frac{v^2 - v_0^2}{2s}$ , получаем:  $a = -6,25 \text{ м/сек}^2$ .

Как объяснить эти противоречащие друг другу ответы?

● 4. Может ли это быть?

Материальная точка на пути в  $1 \text{ м}$  изменяет свою скорость от  $1 \text{ мм/сек}$  до  $2 \text{ мм/сек}$ , двигаясь со средним ускорением  $10 \text{ км/сек}^2$ . Определить время движения.

Решение. Время определится по формуле средней скорости:  $v_{\text{ср}} = \frac{s}{t}$ , но  $v_{\text{ср}} = \frac{v_1 + v_2}{2}$ . Следовательно,  $t = \frac{s}{v_{\text{ср}}} = \frac{2s}{v_1 + v_2}$ .

Таким образом,  $t = \frac{2\text{м}}{0,001 \frac{\text{м}}{\text{сек}} + 0,002 \frac{\text{м}}{\text{сек}}} = \frac{2}{3} \cdot 10^{-3} \text{ сек}$ .

С другой стороны, согласно формуле  $a_{\text{ср}} = \frac{v_2 - v_1}{t}$  имеем:

$$t = \frac{v_2 - v_1}{a_{\text{ср}}}, \text{ т. е. } t = \frac{0,002 \frac{\text{м}}{\text{сек}} - 0,001 \frac{\text{м}}{\text{сек}}}{10000 \frac{\text{м}}{\text{сек}^2}} = 10^{-7} \text{ сек}.$$

Как разрешить получившееся противоречие в ответах?

● 5. Когда подводит «здравый смысл».

Тело, двигаясь равноускоренно из состояния покоя, проходит первый километр с ускорением  $a_1$ , а второй — с ускорением  $a_2$ . При этом на первом километре его скорость возрастает на  $8 \text{ м/сек}$ , а на втором — на  $4 \text{ м/сек}$ . Что больше:  $a_1$  или  $a_2$ ?

Решение. По формуле  $v^2 - v_0^2 = 2as$  находим:

$$a_1 = \frac{8^2 \frac{\text{м}^2}{\text{сек}^2} - 0}{2 \cdot 1000 \text{ м}} = 0,032 \frac{\text{м}}{\text{сек}^2}$$

$$\text{и } a_2 = \frac{12^2 \frac{\text{м}^2}{\text{сек}^2} - 8^2 \frac{\text{м}^2}{\text{сек}^2}}{2 \cdot 1000 \text{ м}} = 0,04 \frac{\text{м}}{\text{сек}^2}.$$

Следовательно,  $a_2 > a_1$ .

Но ведь согласно формуле  $a = \frac{v - v_0}{t}$ , чем больше приращение скорости, тем больше и ускорение. Следовательно, на первом километре должно быть большее ускорение, чем на втором. Но это противоречит расчету. В чем ошибка рассуждений?

### ● 6. Противоречит ли физика алгебре?

Для равнопеременного движения при  $v_0 = 0$  имеем:  $v = at$  и  $v = \sqrt{2as}$ . Если  $v_0 \neq 0$ , то  $v = v_0 + at$ . Подставляя вместо  $at$  величину  $\sqrt{2as}$ , имеем:  $v = v_0 + \sqrt{2as}$ .

Но известна другая формула:  $v^2 = v_0^2 + 2as$ . Из алгебры известно, что при  $x^2 = a^2 + b^2$  величина  $x \neq a + b$ . Где допущена ошибка, вследствие чего возникло противоречие физики и алгебры?

### ○ 7. Когда время «не подчиняется» скорости.

Камень брошен вертикально вверх и движется в пустоте. С какими начальными скоростями его нужно бросать, чтобы он оказался на высоте 29,4 м через 6 сек и 3 сек?

Решение. Воспользовавшись формулой  $H = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$ , получаем при  $t = 6$  сек значение начальной скорости, равным  $v_{06} = 34,3$  м/сек, а при  $t = 3$  сек — равным 24,5 м/сек. Получилось противоречие: чтобы подняться на одну и ту же высоту при большей начальной скорости, требуется большее (!) время. Как разрешить его?

## 2. ЗАКОНЫ НЬЮТОНА

### ● 8. Почему покоится брусок?

На лежащий на столе брусок поставлена гиря в 1 кг. Брусок сохраняет свое состояние покоя, хотя на него действует сила тяжести. Не противоречит ли это первому закону Ньютона?

### ○ 9. Выполняется ли закон инерции?

Висящий на нити в каюте быстроходного судна груз почему-то отклонился в сторону, хотя на него ничто не действовало. Как объяснить этот опыт, находящийся в противоречии с первым законом динамики Ньютона?

### ● 10. Что значит пропорциональность величин?

Две величины  $A$  и  $B$  называются пропорциональными друг другу, если отношение их есть величина постоянная. Иначе: если

$A = kb$ , где  $k$  — величина постоянная, то  $A$  и  $B$  пропорциональны друг другу.

Согласно второму закону Ньютона сила пропорциональна массе  $m$  движущейся материальной точки и ускорению ее движения  $a$ , т. е.  $F = k_1 m$  и  $F = k_2 a$ , где  $k_1$  и  $k_2$  — постоянные множители.

Перемножив написанные уравнения, получим:  $F^2 = k_1 k_2 m a$ ; а полагая  $\sqrt{k_1 k_2} = k'$ , имеем:  $F = k' \sqrt{m a}$ .

Разделив почленно те же уравнения, получим:  $1 = \frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{m}{a}$ , а полагая  $\frac{k_1}{k_2} = k''$ , имеем:  $a = k'' m$ .

Полученные уравнения находятся в явном противоречии со вторым законом Ньютона:  $F = k m a$ . В чем ошибка рассуждений?

### ● 11. Натяжение нити.

Если к одному концу гибкой нерастяжимой нити, неподвижно закрепленной другим своим концом, приложить силу  $F$ , то натяжение в каждой точке нити станет равным  $F$ . Но нить состоит из бесконечного множества точек. Следовательно, сила, приложенная ко всей нити, равна бесконечно большой величине. Но этого быть не может! В чем ошибка рассуждений?

### ● 12. Разрыв нити.

Разрыв нити происходит в той ее точке, где сопротивление разрыву минимально. Следовательно, однородная нить не может быть разорвана никаким грузом, так как в ней не существует минимума сопротивления разрыву. Но ведь опыт показывает, что любую нить можно разорвать. Как разрешить это противоречие?

### ○ 13. Ускорение свободного падения.

Согласно второму закону Ньютона ускорение пропорционально силе. Чем больше сила тяжести, тем больше должно быть ускорение свободного падения. Однако ускорение свободного падения для всех тел одинаково. Как разрешить это кажущееся противоречие?

### ○ 14. Изменится ли натяжение шнура?

Тело весом  $P$  скользит по горизонтальной поверхности под действием груза  $Q$  (рис. 2), прикрепленного к концу шнура, привязанного к телу и перекинутого через неподвижный блок. Какова сила натяжения шнура, если коэффициент трения скольжения  $k$ ? Трение в блоке не учитывать.

Решение. Согласно второму закону Ньютона движение тела  $P$  описывается уравнением

$$\frac{P}{g} a = T - kP,$$

где  $a$  — ускорение движения,  $T$  — сила натяжения шнура,  $g$  — ускорение силы тяжести.

Движение тела  $Q$  описывается уравнением

$$\frac{Q}{g} a = Q - T.$$

Решая эту систему уравнений, определяем ускорение

$$a = \frac{Q - kP}{P + Q} g$$

и натяжение шнура

$$T = \frac{P \cdot Q(k + 1)}{P + Q}.$$

Из написанной формулы видно, что она не изменится, если заменить  $P$  на  $Q$ , а  $Q$  на  $P$ . Физически это означает, что натяжение шнура не изменится, если поменять местами тела  $P$  и  $Q$ .

Как объяснить полученный парадоксальный результат с точки зрения «здравого смысла»?

○ 15. **Что лучше: тянуть или толкать?**

Когда тепловоз тянет состав, сцепка между вагонами натянута. Если же он толкает состав, то сцепка ослаблена и вагоны упираются друг в друга сжатыми буферами. На подъемах нередко сзади прицепляют второй тепловоз — «толкач». Если передний тепловоз стремится натянуть сцепку, а «толкач» ослабить ее и сжать буфера, то не мешают ли они друг другу? Разъясните кажущееся противоречие.

○ 16. **Смазка и трение.**

Смазывание трущихся поверхностей уменьшает трение.

Почему же труднее удерживать рукоятку топора сухой рукой, чем влажной?

○ 17. **Трение скольжения и качения.**

Трение при качении меньше, чем трение при скольжении. Почему же в зимнее время можно наблюдать, как у движущейся телеги колесо не вращается, а скользит по снегу?

○ 18. **Надо ли смазывать маслом железнодорожный рельс?**

Смазка уменьшает трение (сопротивление движению). Почему же не смазывают рельсы железнодорожного транспорта? Более того, наибольшая бесполезная трата энергии электровоза бывает именно во время гололедицы, после дождя и т. п. Объясните парадокс.

○ 19. **Больше осей — меньше трение.**

Чем больше осей имеет механизм, тем больше сила трения в его движущихся частях. Почему же устройство, изображен-

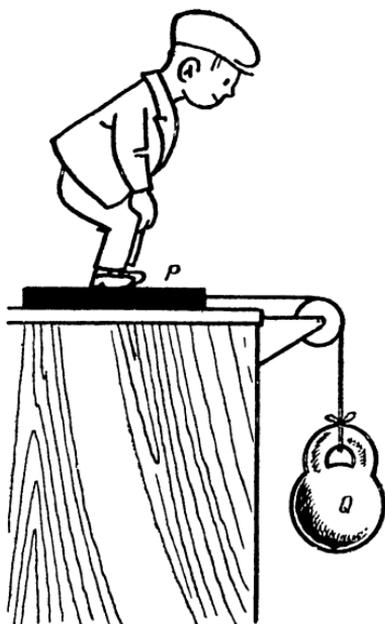


Рис. 2.



Рис. 3.

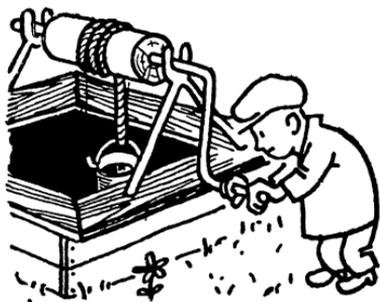


Рис. 4.

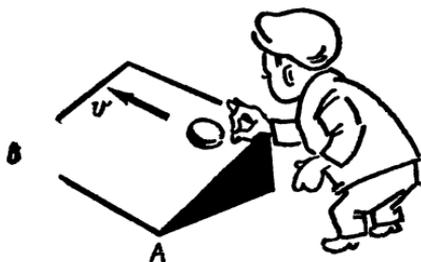


Рис. 5.

ное на рисунке 3, имеющее 5 осей (ось ворота опирается на две пары вращающихся дисков), обнаруживает меньшую силу трения, чем если бы ось ворота находилась в подшипниках скольжения (рис. 4)?

● 20. Как движется монета?

На наклонной плоскости лежит монета, удерживаемая силой трения (рис. 5). Как будет она двигаться, если сообщить ей скорость в направлении, параллельном  $AB$ ?

Решение. Сила трения будет удерживать монету на определенной высоте, и она будет двигаться горизонтально.

Прделаем соответствующий опыт и убедимся, что монета движется влево и вниз замедленно. При достаточной длине наклонной плоскости монета останавливается. В чем ошибка решения?

● 21. Равно ли действие противодействию?

Ученик утверждал, что III закон Ньютона несправедлив. Если бы действие было равно противодействию, никакого движения не могло бы существовать, потому что, какая бы сила ни была приложена к телу, она вызовет с его стороны равное ей сопротивление, с которым и уравновесится. В чем ошибка ученика?

● 22. Чья лодка быстрее?

К пристани причаливают две одинаковые лодки. Лодочники подтягиваются к берегу с помощью веревок. Противоположный конец первой веревки привязан к столбу на пристани, за противоположный конец второй веревки тянет матрос, стоящий на пристани. Все трое прилагают одинаковые усилия. Какая лодка причалит раньше?

**Решение.** Так как все матросы прилагают одинаковые силы и в первом случае веревку выбирает один матрос, а во втором — двое, то во втором случае лодка должна двигаться быстрее.

Но можно рассудить иначе. Так как все матросы прилагают одинаковые силы, то во втором случае лодку тянут матросы поочередно: когда веревку выбирает первый, то второй только держит ее, когда веревку выбирает второй, то ее удерживает первый. Если же они одновременно выбирают веревку, прилагая прежнюю силу, то каждый из них сообщает лодке импульс (скорость), равный половине того, который сообщался в первом случае. Таким образом, лодки причалят одновременно. В каком из решений допущена ошибка?

● **23. Какая машина крепче?**

При столкновении грузовика с легковой машиной повреждение получает главным образом легковая.

Но ведь согласно III закону Ньютона на обе машины должны действовать одинаковые силы, которые должны произвести одинаковые повреждения. Как объяснить это противоречие «теории» и опыта?

○ **24. «Нарушение» закона сохранения механического импульса (количества движения).**

Регулируя подачу топлива к двигателям ракеты, можно создать силу тяги, равную силе тяжести ракеты. В этом случае ракета повиснет над землей неподвижно (ветра нет).

Но ракета, выбрасывая продукты горения, сообщает им некоторый механический импульс, а сама противоположно направленного равного импульса не получает. Выходит, что закон сохранения механического импульса не выполняется. Но ведь это не так. Как разрешить это противоречие?

● **25. Как же должен катиться цилиндр: ускоренно или замедленно?**

По горизонтальной плоскости катится цилиндрический диск (рис. 6) в направлении, указанном стрелкой. Так как сила трения  $F$  направлена вправо, то скорость диска должна уменьшаться.

С другой стороны, момент этой силы относительно центра  $O$  направлен против часовой стрелки, и вследствие этого скорость вращения диска должна увеличиваться. Как объяснить полученное противоречие?

### **3. СТАТИКА**

● **26. Куда направить силу?**

Пусть имеются две силы  $P$  и  $Q$  (рис. 7), приложенные к одной точке  $O$  под углом  $\alpha$  друг к другу. Равнодействующая, по-

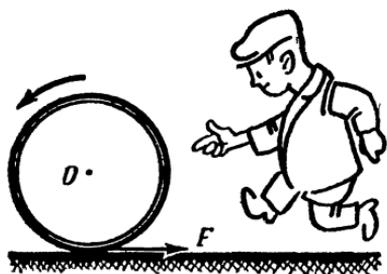


Рис. 6.

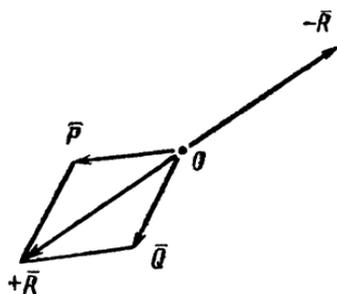


Рис. 7.

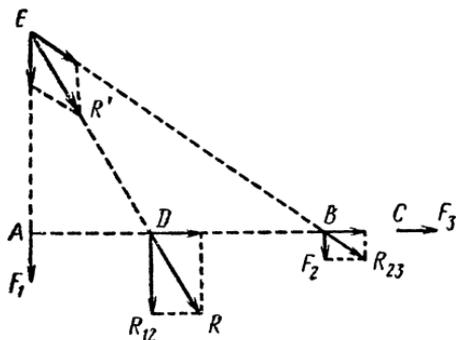


Рис. 8.

строенная по правилу параллелограмма сил, найдется из соотношения

$$R^2 = P^2 + Q^2 + 2PQ \cos \alpha,$$

откуда

$$R = \pm \sqrt{P^2 + Q^2 + 2PQ \cos \alpha},$$

т. е. согласно общепринятому правилу знаков  $\pm$  (правило Декарта) равнодействующая  $R$  может быть направлена или внутрь угла  $\alpha$  или вне его. Как разрешить это противоречие?

○ 27. Верен ли переместительный закон?

Требуется сложить три силы  $F_1, F_2, F_3$ , расположенные в одной плоскости и приложенные к трем точкам тела  $A, B, C$  (рис. 8). Сложив для этого силы  $F_1$  и  $F_2$ , получим их равнодействующую  $R_{12}$ , приложенную в точке  $D$ . Перенесем затем силу  $F_3$  вдоль ее линии действия в точку  $D$  и сложив здесь с силой  $R_{12}$ , найдем равнодействующую  $R$  сил  $F_1, F_2, F_3$ .

Однако можно было поступить иначе: сначала сложить силы  $F_2$  и  $F_3$ , а затем их равнодействующую  $R_{23}$  сложить с силой  $F_1$ . В этом случае получится равнодействующая  $R'$ , приложенная в точке  $E$ . Нет ли здесь противоречия?

● 28. Нарушится ли равновесие?

Рычаг  $AB$  уравновешен на оси  $C$  силами  $P_1$  и  $P_2$  (рис. 9). Если приложить силу  $Q$  вдоль рычага, то она не должна нарушить его равновесие. Но можно поступить иначе: графически сложить силы  $P_1$  и  $Q$ , получить равнодействующую  $R$ , а затем точки приложения ее и силы  $P_2$  перенести в точку  $O$  пересечения их направлений. Равнодействующая  $S$  этих сил пересекает точку  $D$  рычага. Перенесем

в нее точку приложения равнодействующей всех сил рычага  $S$ . Теперь необходимо следует вывод: равновесие рычага должно нарушиться. Как разрешить противоречие этого вывода с выводом, сделанным в начале текста задачи?

● 29. Покатится ли шар?

Тяжелый шар поставили на горизонтальный пол, чтобы он касался стены, наклоненной к полу под тупым углом (рис. 10). Разложим силу тяжести шара  $P$  на составляющие  $Q$  и  $T$ . Первая уравновешивается реакцией стены, а вторая, ничем не уравновешиваемая, должна покатить шар вправо. Однако шар остается в покое. В чем ошибка рассуждений?

● 30. Прогиб балки.

К доске, лежащей на опорах  $A$  и  $B$ , приложены силы  $F_1$  и  $F_2$  (рис. 11). Изменится ли стрела прогиба  $h$ , если заменить эти силы равнодействующей  $R$ ?

Решение. По смыслу самого понятия равнодействующая может заменить данную систему сил. Поэтому стрела прогиба не изменится.

С другой стороны, величина момента силы  $F$  относительно опоры  $A$  (или  $B$ ) зависит от точки ее приложения. Как разрешить это противоречие?

○ 31. Куда повернется пластинка?

К однородной круглой пластине, лежащей на горизонтальной плоскости, приложены две равные и противоположно направленные силы  $F_1$  и  $F_2$  (рис. 12). В каком направлении станет двигаться точка  $B$ ?

Решение. Так как силы  $F_1$  и  $F_2$  образуют пару сил, то

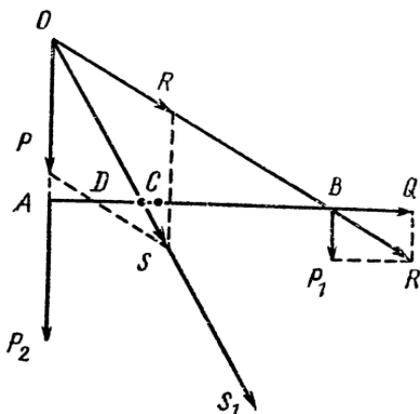


Рис. 9.

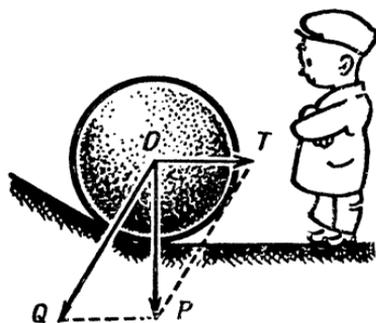


Рис. 10.

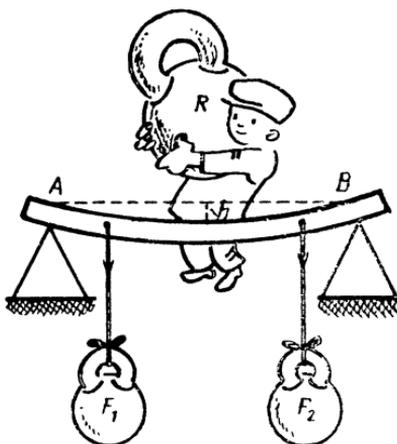


Рис. 11.

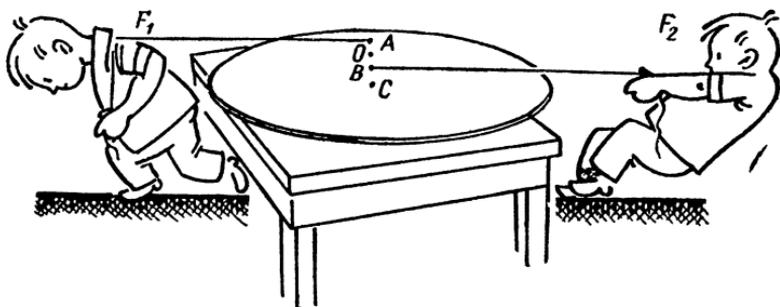


Рис. 12.

пластина будет поворачиваться вокруг центра вращения, которым является точка  $O$ , находящаяся посередине отрезка  $AB$ . Следовательно, точка  $B$  будет двигаться по направлению действия силы  $F_2$ .

Но опыт опровергает это решение. Пластика поворачивается вокруг центра тяжести  $C$ , и точка  $B$  движется противоположно направлению силы  $F_2$ . Как объяснить этот парадокс?

● 32. Полет ракеты.

Если на тело не действует внешняя сила, то центр тяжести тела остается неподвижным. Как же обстоит дело с ракетой? Ведь на ракету в космическом пространстве (действием поля тяготения пренебрегаем) внешние силы не действуют, а центр тяжести ракеты, по-видимому, передвигается. Как разрешить противоречие?

○ 33. Какими надо делать концы осей?

Обыкновенно принимается, что величина силы трения не зависит от размеров трущихся поверхностей. Почему же концы осей часовых механизмов и других точных машин делают очень тонкими (рис. 13)?

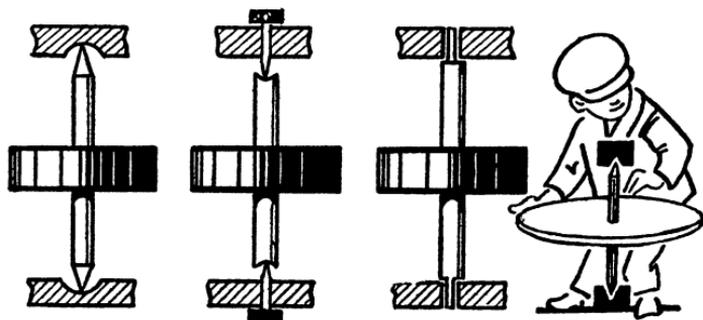


Рис. 13.

○ 34. Необычное поведение катушек.

Две катушки с нитками (рис. 14) тянут с одинаковой силой за нить в одном и том же направлении. Однако катушка *B* приближается к руке и нить наматывается (при этом катушка, вращаясь по ходу часовой стрелки, катится вправо), а катушка *A* удаляется от руки и нить разматывается (при этом катушка *A*, вращаясь против хода часовой стрелки, катится влево). Объясните странное поведение катушек.

○ 35. Куда должен двигаться паровоз?

На рисунке 15 изображен паровоз, движущийся влево. В том положении, которое показано на этом рисунке, шатун действует на колесо с некоторой силой, направленной вправо и проходящей выше точки *C* — точки соприкосновения колеса с рельсом. Но эта точка является мгновенным центром вращения колеса, и под действием

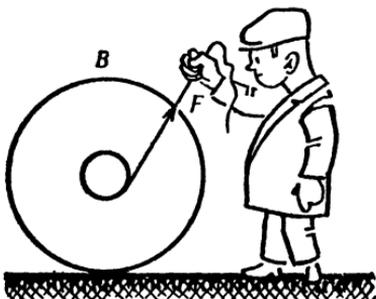
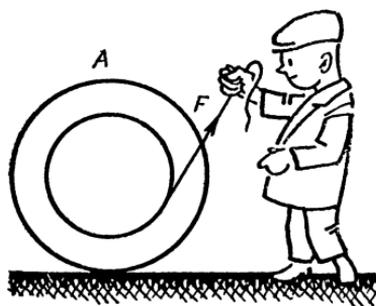


Рис. 14.

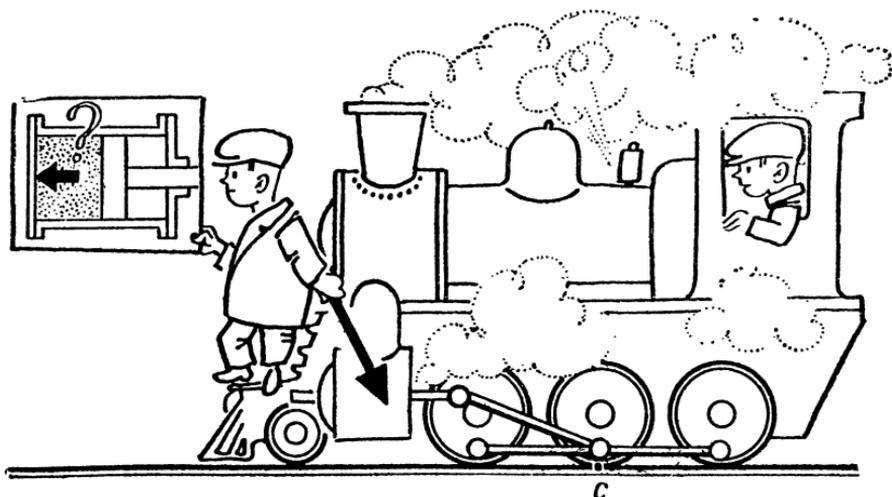


Рис. 15.

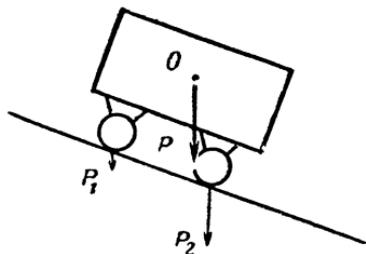


Рис. 16.

Решение. Задачу можно решать двумя способами, которые, казалось бы, приводят к разным ответам. Можно разложить силу тяжести вагона на две параллельные  $P_1$  и  $P_2$  (рис. 16), проходящие через линии соприкосновения одной и другой пар колес с рельсами. Сразу видно, что сила  $P_2$  больше.

Но можно поступить иначе — разложить вес вагона  $P$  на две составляющие — параллельную  $F$  и перпендикулярную к наклонной плоскости  $Q$  (рис. 17). Первая уравнивается противоположно направленной силой трения, а вторая разлагается на две равные силы нормального давления колес  $P_3$  и  $P_4$ . Объясните противоречие.

○ 37. Почему падает мальчик?

Металлический шарик переходит с песчаной дорожки на ледяную. В момент перехода скорость движения шарика не изменяется.

Мальчик бежит по земле, а потом ступает на лед, не меняя скорости. Часто случается, что ноги при этом скользят вперед и мальчик падает.

Получается так, что уменьшение коэффициента трения при переходе на лед увеличивает скорость движения ног (ноги уходят из-под вертикали, проходящей через центр тяжести, мальчик теряет равновесие и падает). Но увеличивать скорость может лишь какая-то сила. А сила трения при переходе мальчика на лед, наоборот, уменьшается. Как разрешить парадокс?

● 38. Вечный двигатель Чепера.

На рисунке 18 изображен один из типичных проектов вечного двигателя с откидывающимися грузами. На валу укреплено зубчатое колесо с характерной формой зубьев. К ободу колеса в нижней части зубьев шарнирно крепятся стержни с грузами на концах. Движение стержней ограничено одной или другой стороной двух соседних зубьев. По мысли изо-

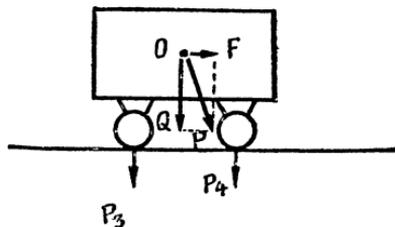


Рис. 17.



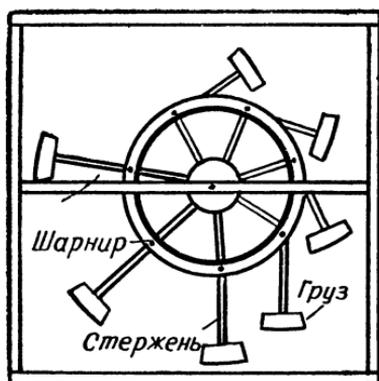


Рис. 19.

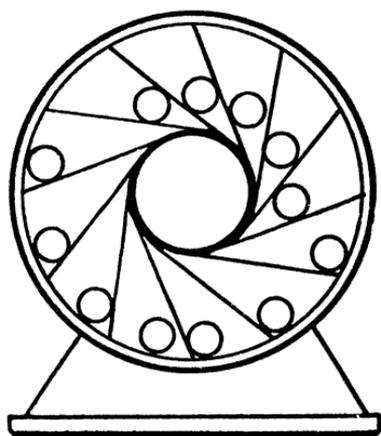


Рис. 20.

надето свободно вращающееся колесо (рис. 19). К его ободу прикреплены на шарнирах семь стержней, имеющих на концах грузы. Справа стержни с грузами прилегают к ободу колеса, а слева откидываются и являются продолжением спиц колеса. Таким образом грузы слева находятся значительно дальше от оси вращения колеса, чем грузы справа. На основании этого В. д'Оннекур считал, что равновесие колеса будет постоянно нарушенным и оно должно вращаться вечно, не требуя постороннего подталкивания. Вращение колеса против часовой стрелки будет поддерживаться непрерывными толчками откидывающихся грузов. Но... это предложение изобретателя оказалось неверным. Колесо, совершив несколько оборотов, останавливалось. Колесо вращалось до тех пор, пока не иссякла энергия, сообщенная ему в момент пуска механизма. В чем ошибка проекта?

● 40. Вечный двигатель Э. Сомерсета.

Англичанин маркиз Эдвард Сомерсет построил механизм, который должен был «вечно» двигаться. Это было колесо диаметром 14 футов (4,27 м), а приводилось

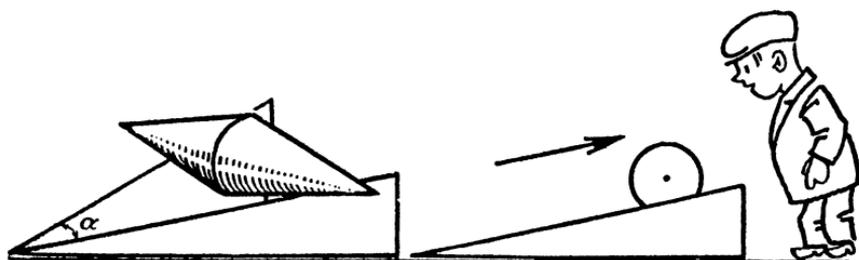


Рис. 21.

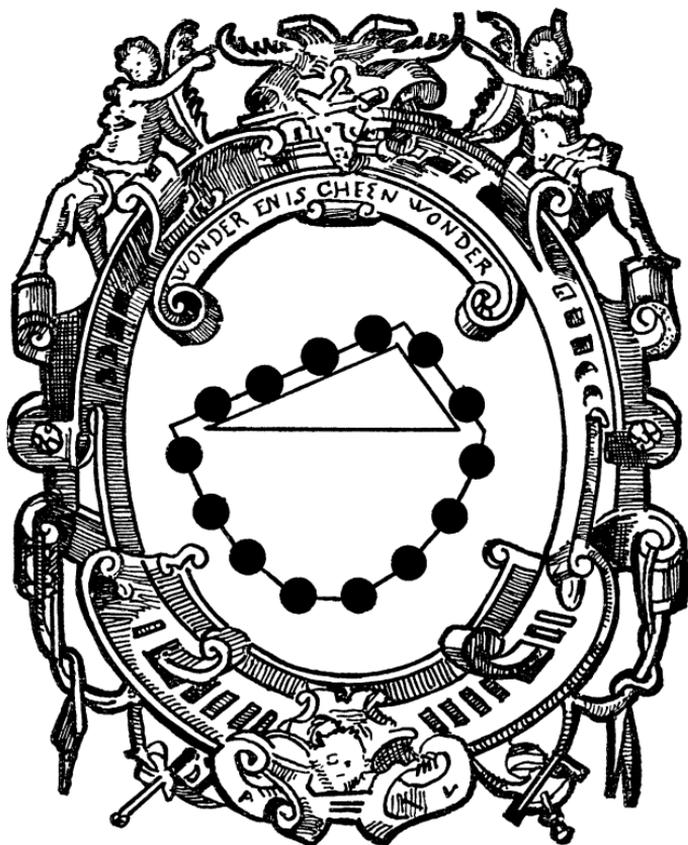


Рис. 22.

оно в движение 14 грузами, по 22 кг каждый (на рис. 20 изображено 12 грузов). Но, несмотря на то что этот «вечный двигатель» построил маркиз, успех все же не был обеспечен. Он также бездействовал, как и все предыдущие. В чем ошибка проекта?

○ 41. **Конус, катящийся вверх.**

Известен прибор для иллюстрации явления механического парадокса. Прибор состоит из двойного деревянного конуса и двух деревянных пластинок в форме прямоугольных трапеций, сходящихся под углом  $\alpha$  (рис. 21). Для каждого прибора существует свой угол  $\alpha_{\text{крит}}$ , зависящий от геометрических элементов пластин и конуса. Если раздвинуть пластины на угол, больший  $\alpha_{\text{крит}}$ , то двойной конус катится вверх от вершины двугранного угла. Объясните этот парадокс.

○ 42. **Чудо не есть чудо.**

На титульной странице трактата по статике известного голландского физика С. Стевина в лейденском издании 1586 г. име-

ется рисунок с надписью на фламандском языке: «Чудо не есть чудо». Эту надпись можно расшифровать следующим образом: смотри на этот рисунок, и ты обнаружишь здесь на первый взгляд чудо, а потом, после размышления, ты найдешь закон природы — не чудо.

На рисунке 22 представлена треугольная призма с горизонтальной нижней стороной и двумя другими, из которых одна вдвое длиннее другой. На призме равномерно распределены 14 тяжелых, равных по весу шаров. Так как нижнюю симметричную часть цепи можно не принимать во внимание, то отсюда следует, что четыре шара уравниваются двумя шарами. Как объяснить это «чудо»?

«Не будь этого,— пишет Стевин,— ряд шаров должен был бы (придя в движение) занимать то же положение, что и раньше. По той же причине восемь шаров левых должны были бы

быть более тяжелы, чем шесть правых, и, следовательно, эти восемь должны были бы опускаться вниз, а шесть — подниматься вверх, так что шары совершали бы непрерывное и вечное движение». Но вечное движение данного устройства Стевин считал невозможным. Как же объяснить парадокс?

● 43. Вечный двигатель К. Кайля.

Минный машинист из Прибалтики К. Кайль предложил следующий проект вечного двигателя. Свободно вращающееся на валу зубчатое колесо А (рис. 23) охвачено цепью, на-

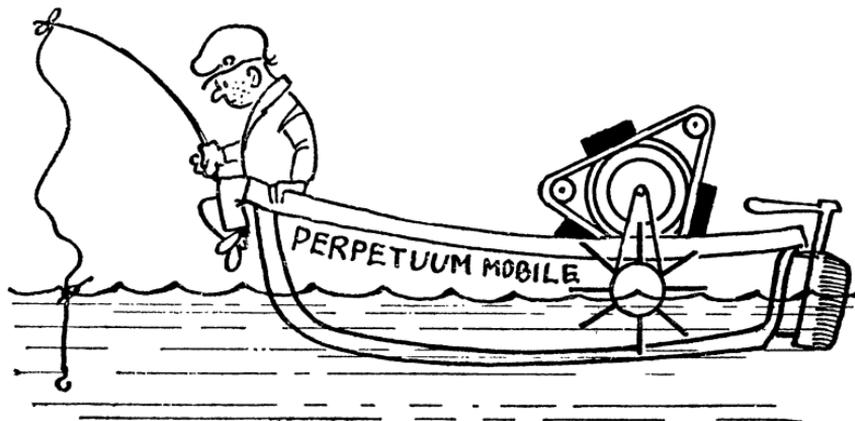
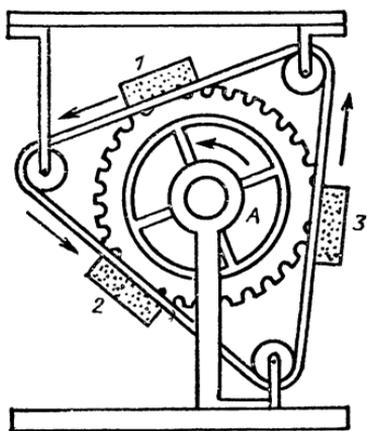


Рис. 23.

тянутой на трех роликах, расположенных в вершинах равностороннего треугольника. На цепи закреплены три равных груза 1, 2, 3, которые (по мысли автора) должны являться причиной вечного движения. Кайль предполагал, что грузы 1 и 2, стремясь передвинуться по направлению, указанному на рисунке стрелками, безусловно поднимут груз 3. Вследствие того что цепь представляет собой равносторонний треугольник, грузы 1 и 2 постоянно будут стремиться вниз, а груз 3 подниматься вверх.

Несмотря на кажущуюся убедительность доводов автора, это устройство не работало. В чем ошибка проекта?

● 44. Еще один проект вечного двигателя.

Сравнительно недавно (в 1915 г.) был создан оригинальный колесный вечный двигатель с перекачивающимися шариками. Изготовленная автором модель состояла из колеса около метра в диаметре и шести шариков (рис. 24). На колесе имелся спиральный канал, в котором всегда находилось 5 шариков. Шестой, провалившись в отверстие, имеющееся у края колеса, перекачивался по специальному изогнутому ходу под спиральным каналом к отверстию у центра. Отсюда он попадал в начало—«центр» спирального канала, а в это время другой шарик попадал в изогнутый канал. Сила тяжести шариков приложена к колесу несколько левее оси вращения колеса. Поэтому, перекачиваясь по спирали, как по наклонной плоскости, они должны, по мысли изобретателя, являться причиной вращения колеса. Почему изобретателя постигла неудача?

● 45. А цилиндры все-таки раскатываются!

Три одинаковых цилиндра расположены на горизонтальной площадке так, как изображено на рисунке 25. Сила тяжести  $P$  нижних двух проходит через центры вращения каждого, поэтому она не может вызвать вращения цилиндров. Вес верхнего цилиндра  $P$  разложим на направления  $O_1O$  и  $O_2O$ . Эти составляющие проходят через оси нижних цилиндров, поэтому они также не вызовут их вращений. Следовательно, даже при полном отсутствии трения цилиндры не должны раскатиться. Что, конечно, опровергается опытом. В чем софистика рассуждений?

○ 46. Сохранит ли равновесие велосипедист?

Корабль идет с постоянной скоростью  $v$ . По палубе от носа к корме движется велосипедист с такой же скоростью относительно корабля. Следовательно, относительно берега велосипедист остается неподвижным. В таком случае, как всякий неподвижный велосипедист на земле, он не сможет сохранить равновесие.

Но опыт опровергает этот вывод. Велосипедист и на испытательном стенде движется относительно «своей дороги», оставаясь неподвижным относительно земли, и сохраняет равновесие. Как объяснить «парадокс велосипедиста»?

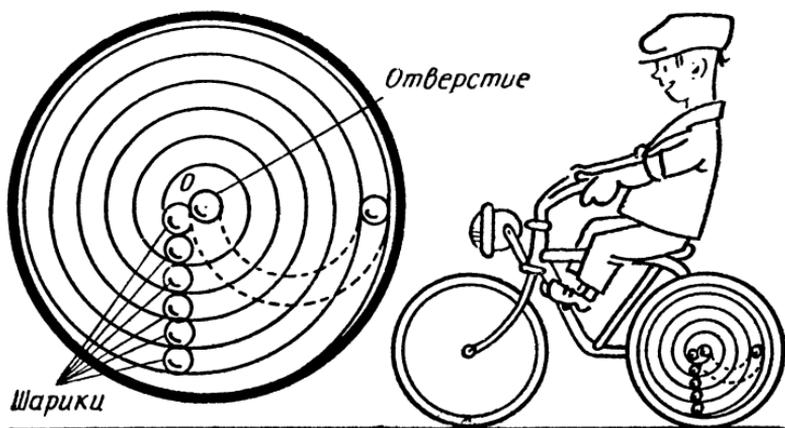


Рис. 24.

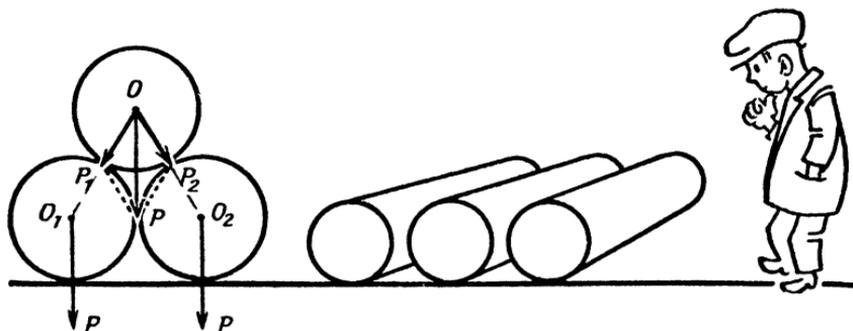


Рис. 25.

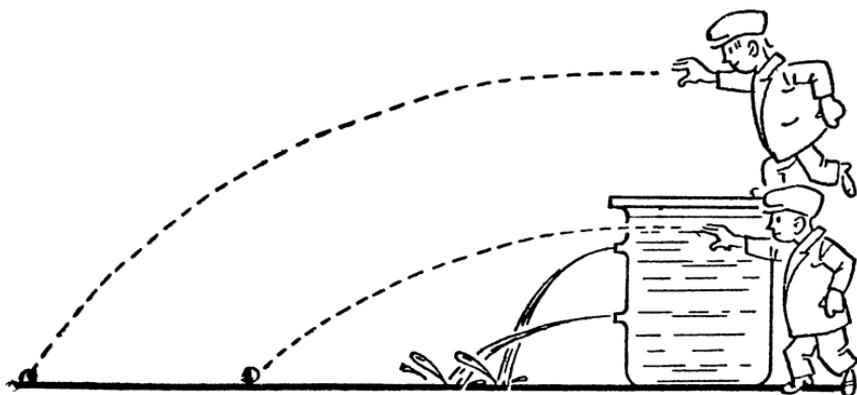


Рис. 26.

#### 4. ГИДРО- И АЭРОСТАТИКА

○ 47. Дальность полета струи.

Тело, брошенное горизонтально, имеет тем большую дальность полета, чем с большей высоты оно брошено (при прочих равных условиях). В известном опыте по давлению жидкости на стенки сосуда (рис. 26) дальность полета водяных струй не увеличивается с высотой, а уменьшается. Объясните это кажущееся противоречие.

○ 48. Опыт Паскаля.

Разрыв бочки в опыте Паскаля (рис. 27) представляет парадокс, так как единственная действующая здесь сила — тяжесть воды в трубке для этого, очевидно, недостаточна; для разрыва бочки требуется сила, значительно большая, чем вес бочки вместе с водой. Откуда же берется эта дополнительная огромная сила?

● 49. Еще раз об опыте Паскаля.

В известном опыте Паскаля (см. задачу № 48) давление в бочке с водой создается весом столба воды в трубке. Если удвоить силу, действующую на тело, то удвоится и давление. Следовательно, если вместо одной трубки с водой взять две (рис. 28), то давление воды на стенки бочки должно увеличиться вдвое.

Соберем установку, изображенную на рисунке 28. Манометр, показывающий



Рис. 27.

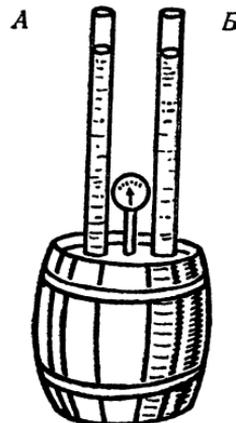


Рис. 28.

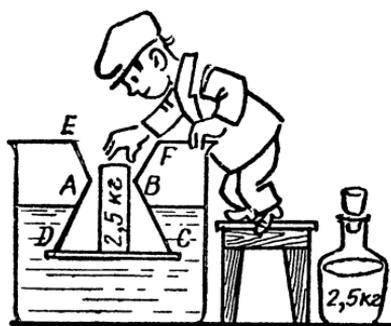


Рис. 29.

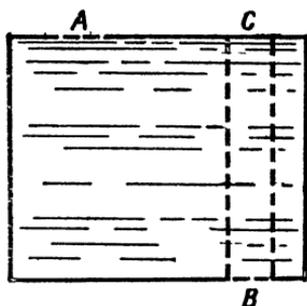


Рис. 30.



Рис. 31.

давление, производимое на жидкость, при замене одной трубки двумя не изменяет своих показаний. В чем ошибка рассуждений?

○ 50. Парадокс Паскаля.

Сосуд  $EADCBF$  с приставным дном  $CD$  опущен в резервуар с водой (рис. 29). Вода в объеме  $ABCD$  имеет массу  $2,5$  кг, значит, она весит  $24,5$  н. Если на дно  $CD$  поставить узкий цилиндр весом  $25$  н, то оно не отрывается, а если налить  $2,5$  кг воды, то оно отрывается. Объясните парадокс.

○ 51. Еще один парадокс Паскаля.

Закон Паскаля формулируется так: если на какую-либо часть поверхности жидкости, заключенной в закрытый со всех сторон сосуд, производится давление, то оно передается через жидкость во все стороны одинаково. В соответствии с этим давления на площадки  $A$  и  $B$  (рис. 30), находящиеся в верхнем и нижнем частях сосуда, должны быть одинаковы. Ибо если бы на одну из них давление было больше, чем на другую, то согласно закону Паскаля избыток давления целиком передался бы другой площадке и в итоге давления оказались бы равными.

Но, с другой стороны, известно, что давление в какой-либо точке тяжелой и спокойной жидкости равно весу столба жидкости, высота которого  $BC$  равна глубине погружения точки, а основание — единице. Следовательно, на площадку  $B$  жидкость будет производить давление, а на площадку  $A$  — не будет. Как разрешить эти два противоречащих друг другу вывода?

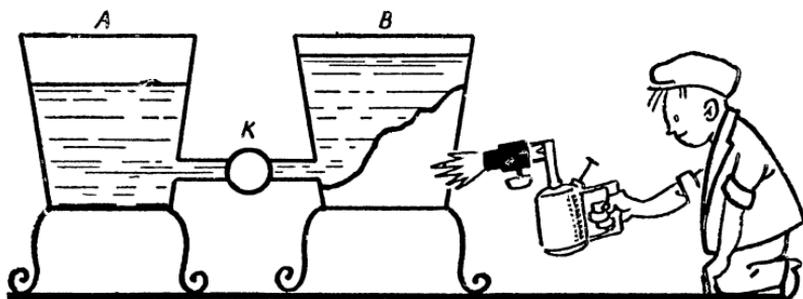


Рис. 32.

● 52. Вечный гидростатический двигатель.

В цилиндре, заполненном жидкостью, имеется поршень, форма которого изображена на рисунке 31. Слева на поршень действует некоторая сила. Так как справа площадь поршня больше, чем слева, то можно ожидать большую силу давления на воду. А раз так, то можно как будто получить и большую работу при некотором перемещении поршня влево. В чем ошибка таких рассуждений?

● 53. Закон сообщающихся сосудов.

В одинаковых сообщающихся сосудах *A* и *B* находится комнатная вода (рис. 32). Кран *K* закрыли и воду в сосуде *B* нагрели, вследствие чего ее уровень немного повысился. Станет ли вода переливаться из одного сосуда в другой, если открыть кран?

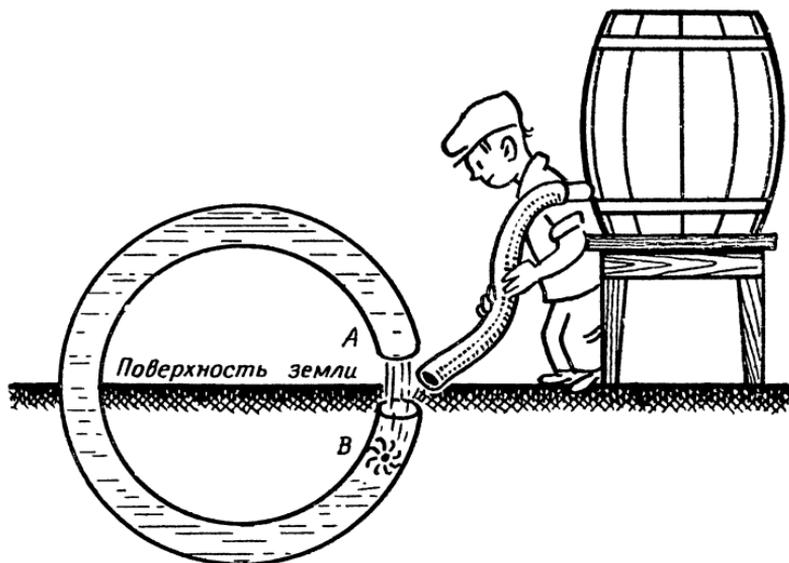


Рис. 33.

**Решение.** Один ученик сказал, что увеличение высоты столба жидкости в сосуде  $B$  вызовет увеличение давления на уровне соединительной трубки. Поэтому жидкость будет перетекать из сосуда  $B$  в сосуд  $A$ , если открыть кран  $K$ .

Другой ученик утверждал, что после нагревания воды в сосуде  $B$  давление в обоих сосудах не изменилось, так как не изменились вес воды и площадь основания дна сосуда.

Третий ученик доказывал, что давление воды в сосуде  $B$  на уровне соединительной трубки после ее нагревания уменьшится. И если открыть кран  $K$ , то вода будет перетекать из сосуда  $A$  в сосуд  $B$ . Это происходит потому, что сосуд  $B$  расширяется вверх, и увеличение высоты уровня воды в нем не будет обратно пропорционально уменьшению плотности, вызванному нагреванием воды. Кто же из учеников прав?

● **54. Вечный гидродинамический двигатель.**

Большая круглая железная труба, изогнутая в виде кольца с просветом между точками  $A$  и  $B$  (рис. 33), наполовину закапывается в землю и наполовину висит над землей. Мельничное колесо, состоящее из ряда лопаток, насаженных на ось, помещается внутри подземной части трубы в точке  $B$ . Если в эту трубу, в левую ее половину, возле точки  $B$  сразу вылить 2—3 бочки воды, то (по мнению автора проекта) эта вода с разгона помчится по трубе, дойдет до точки  $A$ , снова обрушится вниз и т. д., попутно приводя мельничное колесо в быстрое вращательное движение. Единственное, что якобы необходимо для дальнейшей бесперебойной работы мельницы,— это время от времени подливать в трубу воду для замены той, которая испарилась. В чем ошибка проекта? Как фактически стала бы двигаться вода в трубе?

○ **55. Что удерживает воду в стакане?**

Полный стакан с водой, взятой при температуре  $20^{\circ}\text{C}$ , накрывают листом бумаги и, придерживая лист, переворачивают стакан. Затем убирают руку, которая придерживала лист. Вода не выливается. Ее удерживает атмосферное давление.

Повторим тот же опыт без листа бумаги. Вода выливается из стакана. Но ведь атмосферное давление существовало и в этом случае, а результат получился другой. Как объяснить этот парадокс?

○ **56. Сколько весит барометрическая трубка?**

К чашке равноплечих весов подвешена тонкостенная цилиндрическая барометрическая трубка со ртутью (рис. 34). Конец трубки лишь на ничтожную глубину погружен в чашку со ртутью. Чтобы уравновесить весы, надо на другую чашку весов поместить груз, вес которого равен сумме весов трубки и ртутного столба в ней.

Но ведь ртуть в трубке (если пренебречь трением ртути о стенки) своим весом давит на ртуть в чашке, а не на трубку. Как разрешить это противоречие?

● 57. «Вечный» насос.

Был предложен следующий проект «вечного» насоса. На берегу реки ставится железный бак с краном  $A$  и трубой  $B$  (шлангом), опущенным в реку (рис. 35). Для того чтобы привести устройство в действие, надо через кран  $A$  выкачать из бака воздух и наполнить его водой. Если затем отключить воздушный насос и открыть кран  $A$ , то вода (по мнению изобретателя) в силу своей тяжести потечет из крана, а атмосферное давление по трубке  $B$  будет поставлять в бак все новые и новые количества воды. В чем ошибка проекта?

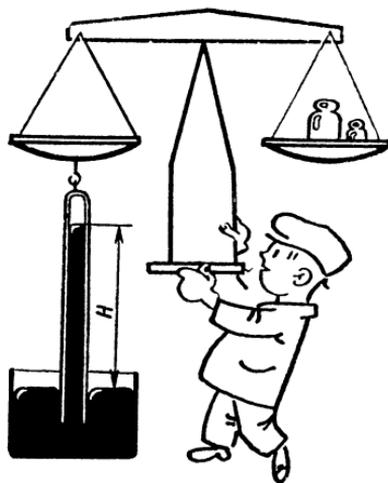


Рис. 34.

● 58. Еще один проект «вечного» насоса.

Сосуд, имеющий форму, изображенную на рисунке 36, заполнен водой. Радиус отверстия  $A$  равен радиусу трубки  $B$ . Что произойдет, если вынуть пробку  $A$ ? Явлениями капиллярности пренебречь.

Решение. Под действием веса жидкость будет вытекать из отверстия  $A$ . Одновременно в расширенную часть  $C$  будут поступать через трубку  $B$  новые количества жидкости.

Опыт опровергает это решение. В чем ошибка рассуждений?

○ 59. Почему не текла вода по трубе?

Резиновый шланг, внутренний диаметр которого 15—20 мм, намотан на барабан диаметром 300 мм (рис. 37). Один конец шланга опущен в ведро, а другой поднят над барабаном примерно на 1 м. В шланге воды нет. На нем нет ни кранов, ни зажимов. Если вставить воронку в верхний конец шланга и начать наливать в нее воду из водопровода, то вода из нижнего конца шланга не польется. А ведь давление воздуха у верхнего и нижнего концов шланга одинаковое. Как объяснить этот парадокс?

● 60. Одинаковы ли показания барометра в закрытом и открытом помещениях?

Один из учеников утверждал, что на открытом воздухе барометр покажет большее давление,

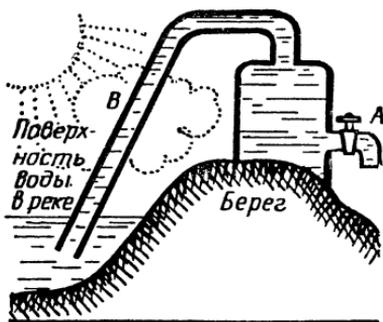


Рис. 35.

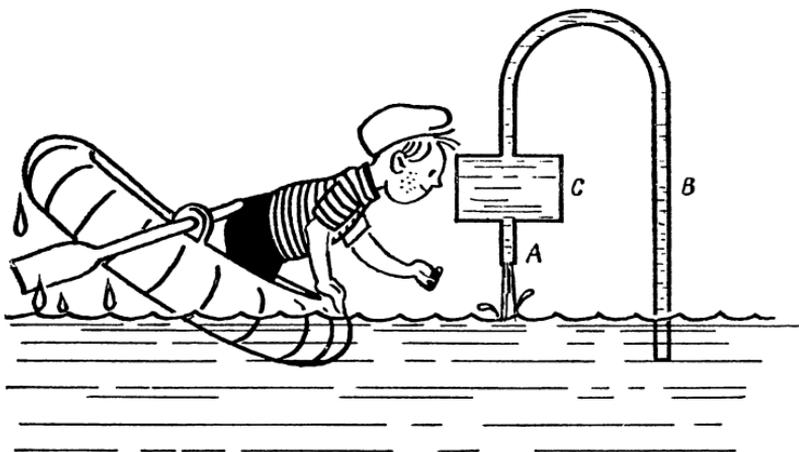


Рис. 36.

чем в помещении. Другой считал, что показания барометра будут одинаковы. Когда они заметили показания барометра в физическом кабинете на четвертом этаже и во дворе школы, то давление во дворе оказалось больше, чем в кабинете. Значит ли это, что первый ученик был прав?

● 61. Фонтан Герона.

Физик древности Герон Александрийский предложил оригинальную конструкцию фонтана (рис. 38). Вначале сосуд *A* наполняют водой и некоторое количество воды наливают в сосуд *C*. Получится ли вечный круговорот воды в системе: сосуд *C*, труб-

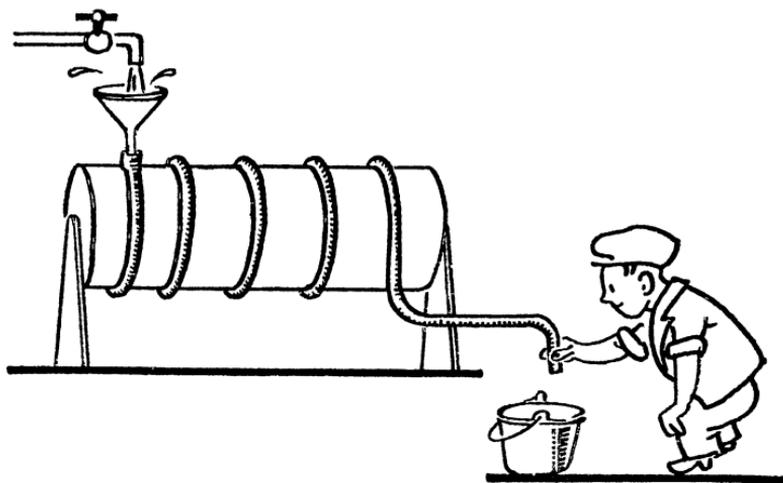


Рис. 37.

ка 1, сосуд В, трубка 2, сосуд А, трубка 3, струя 4, сосуд С и т. д.?

Так как фонтан является действующей системой (в чем легко убедиться на опыте, соорудив его из консервных банок), то не нарушается ли закон сохранения энергии: вода в струе 4 поднята на более высокий уровень, чем она была в сосуде С?

○ 62. Почему не сжимается резина?

При открытом кране (рис. 39) через трубку В накачивают резиновый шар С. Он раздувается, и резина растягивается. Закрывают кран и отсоединяют насос. Однако воздух из трубки В не выходит, хотя его и должна выталкивать, сжимаясь, упругая резиновая оболочка шара. Объясните парадокс.

● 63. Давление воды на дно сосуда.

В сосуде с водой плавает стакан, в котором находится камень. Как изменится уровень воды в сосуде, если из стакана вынуть камень и опустить его в сосуд?

Решение. При перенесении камня в сосуд общий вес воды, камня и стакана не меняется. Площадь дна сосуда тоже не меняется. Следовательно, давление системы трех тел на дно сосуда не должно измениться. Но давление столба воды на дно сосуда  $p = \rho gh$ , где  $\rho$  — плотность воды,  $g$  — ускорение силы тяжести,  $h$  — высота столба. Следовательно, уровень воды в сосуде не должен измениться.

Прделаем соответствующий опыт и убедимся, что уровень воды в сосуде понизится. В чем ошибочность решения?

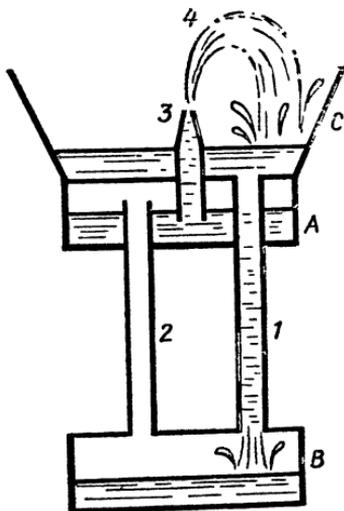


Рис. 38.

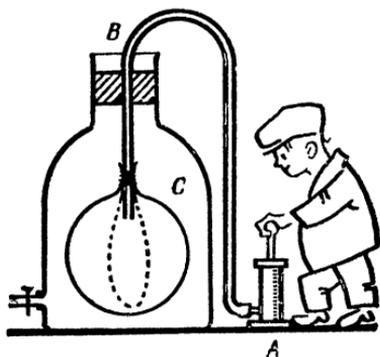


Рис. 39.

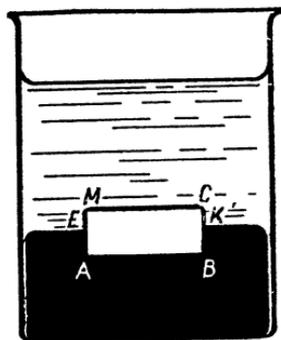


Рис. 40.

● 64. Как рассчитать выталкивающую силу?

В сосуде со ртутью плавает чугунный цилиндр с достаточно широким основанием, а сверху налита вода (рис. 40). Определить выталкивающую силу, действующую на цилиндр.

Решение. На нижнюю часть цилиндра действует выталкивающая сила, равная весу ртути в объеме  $ABKE$ . На верхнюю часть действует выталкивающая сила, равная весу воды в объеме  $EКСМ$ . Следовательно, сила, которая выталкивает цилиндр, равна весу ртути в объеме  $ABKE$  плюс вес воды в объеме  $EКСМ$ .

С другой стороны, вода оказывает на ртуть некоторое давление, которое передается на нижнее основание цилиндра  $AB$ . Следовательно, выталкивающая сила, действующая на нижнюю часть цилиндра  $AB$ , больше веса ртути в объеме  $ABKE$ . Наряду с этой силой, с которой вода действует на верхнюю часть цилиндра, будет не выталкивающей, а погружающей. Следовательно, сила, которая выталкивает цилиндр, равна разности сил давления на верхнее и нижнее его основания. Однако расчет показывает, что выталкивающая сила равна весу ртути в объеме  $ABKE$  плюс вес воды в объеме  $EКСМ$ . Какое же из решений является научно более строгим?

○ 65. Положение центра тяжести плавающего бруска.

В сосуде со ртутью плавает чугунный брусок. Изменится ли положение центра тяжести бруска по отношению к уровню ртути, если в сосуд налить воды (см. задачу № 64)?

Решение. Вода давит на брусок сверху и с боков. Силы давления на брусок с боков уравниваются, а сила давления на брусок сверху должна понизить положение центра тяжести бруска по отношению к уровню ртути.

Проделаем соответствующий опыт и обнаружим, что брусок в ртути не опускается, а немного всплывает. В чем ошибочность представленного выше решения?

○ 66. Когда тело находится в устойчивом равновесии?

Известно положение о том, что равновесие тела тем более устойчиво, чем ниже расположен его центр тяжести. На рисунке 41 показаны два положения плавающей льдины. Положение  $b$  несомненно является более устойчивым, но центр тяжести льдины находится выше, чем в положении  $a$ . Как разрешить это противоречие?

○ 67. Как совершился переход энергии?

Кусок дерева, помещенный на дно сосуда с водой, всплывая, приобрел кинетическую энергию. Согласно закону сохранения энергии не может возникнуть «из ничего». Какое же тело передало энергию куску дерева?

○ 68. Нарушается ли закон сохранения энергии?

Обычно считают, что сифоном можно переливать жидкость из верхнего сосуда в нижний. Если в большой сосуд с водой поместить два сосуда  $A$  и  $B$ , причем в первом находится керосин,

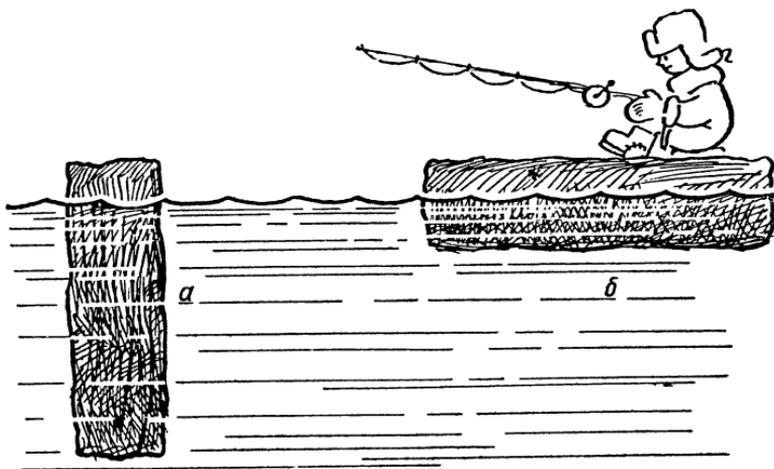


Рис. 41.

а во втором — вода (рис. 42), и соединить их трубкой, то керосин будет переливаться из нижнего сосуда *A* в верхний сосуд *B*.

Таким образом, керосин, всплывая, увеличивает свою потенциальную энергию по отношению к Земле. Не противоречит ли этот опыт закону сохранения энергии?

○ 69. Земные и лунные ареометры.

Двое учащихся поспорили. Один сказал, что космонавтам придется изменить шкалу (увеличить деления в 6 раз) земного ареометра, когда им придется пользоваться на Луне, так как сила тяжести на ней в 6 раз меньше, чем на Земле.

Другой доказывал, что земными ареометрами можно пользоваться на любой планете, ибо если в некоторое число раз изменяется вес самого ареометра, то во столько же раз изменяется и вес вытесненной им воды. Кто же из них прав?

● 70. Почему опрокинулась кювета?

Кювета с водой стоит на бруске (рис. 43). На воде плавает коробочка с гирей. Кювета находится в равновесии.

Если вынуть гирию из коробочки и поставить на дно кюветы под тем местом, где плавала коробочка, то равновесие нарушится (рис. 44), хотя вес левой части кюветы как будто бы не изменился. Объясните ошибку рассуждений.

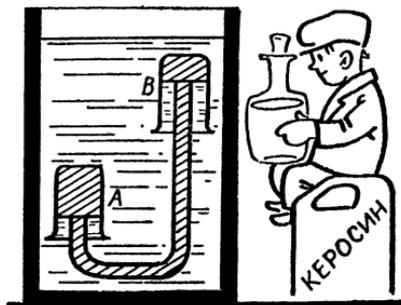


Рис. 42.



Рис. 43.

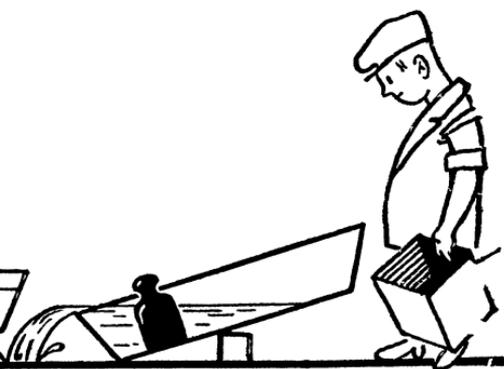


Рис. 44.

● 71. Какой необходим груз?

Если в установке, изображенной на рисунке 45, пережечь нить  $AB$ , то тело  $P$ , имеющее объем  $100 \text{ см}^3$ , целиком погружается в воду и остается висеть на нити  $ACB$ . При этом равновесие весов нарушается. На какую чашку весов и какой добавочный груз необходимо положить, чтобы восстановить равновесие?

Решение. В соответствии с законом Архимеда тело  $P$ , погруженное в воду, будет выталкиваться вверх с силой  $0,98 \text{ н}$ . Поэтому на правую чашку весов будет действовать вес штатива и вес тела  $P$ , уменьшенный на вес вытесненной им воды.

Следовательно, для восстановления равновесия весов необходимо на правую чашку поставить гирю массой  $100 \text{ г}$ .

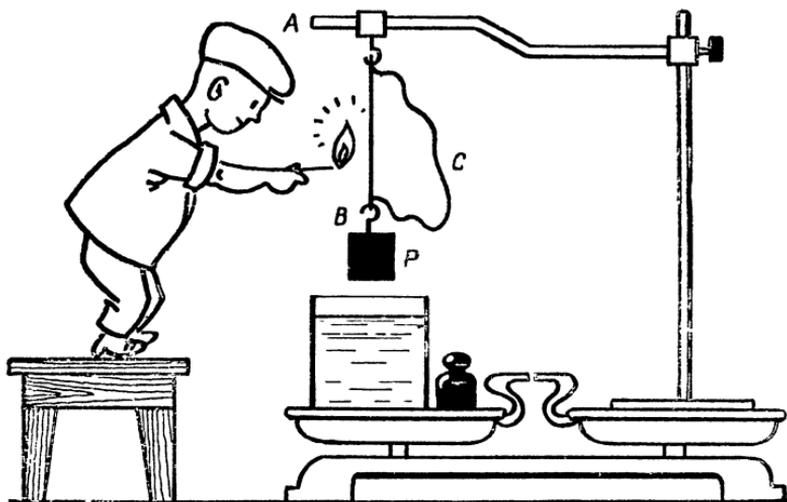


Рис. 45.

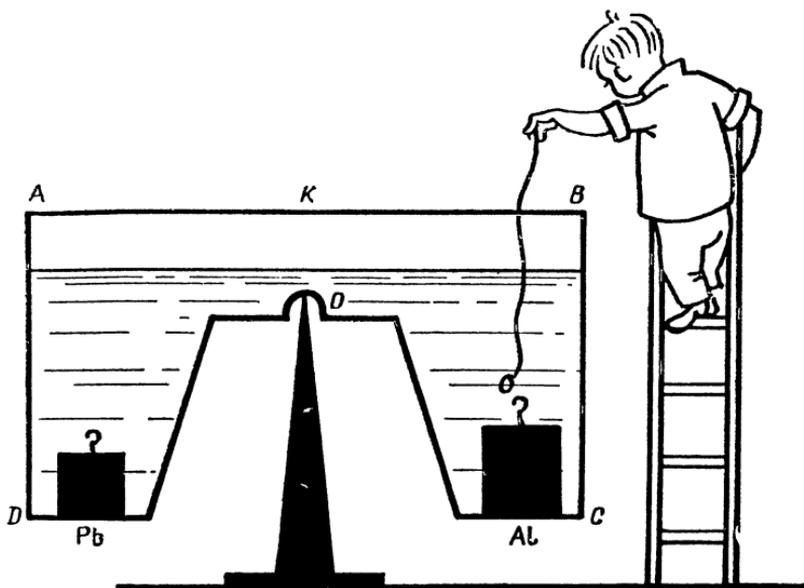


Рис. 46.

Однако опыт показывает, что на правую чашку весов необходимо поставить гиру массой 200 г. В чем ошибка решения?

● 72. Какая часть сосуда тяжелее?

Симметричный относительно вертикальной плоскости  $OK$  сосуд  $ABCD$  (рис. 46) наполнен водой и опирается о ребро неподвижной призмы. В правую часть сосуда опустили кусок алюминия массой 0,5 кг, а в левую — кусок свинца массой 0,4 кг. Какая часть сосуда перетянет?



Рис. 47.

Рис. 48.



Рис. 49.

Решение. Сосуд представляет собой сложный равноплечий рычаг. Так как вес куска алюминия больше, чем свинца, то перетянет правая сторона сосуда, где лежит кусок алюминия.

Опыт, однако, опровергает это заключение. В чем ошибка решения?

○ 73. Капризный поплавок.

В высокий стеклянный цилиндрический сосуд помещают песочные часы, наливают воды до самого верха и закрывают крышкой (рис. 47). Часы всплывают под самую крышку. Затем цилиндр переворачивают. Часы не всплывают (рис. 48), хотя они окружены водой и выталкивающая сила больше веса часов. Через определенный промежуток времени, когда некоторое количество песка высыплется в нижнее отделение, часы начнут медленно всплывать. Таким образом, перетекание песка из верхнего отделения часов в нижнее влияет на его плавучесть. Но ведь часы герметически закрыты и вес их от перетекания песка не изменяется. Как объяснить этот парадокс?

● 74. Как избежать перегрузки?

Взлет космического корабля с Земли происходит с ускорением, в несколько раз превышающим ускорение силы тяжести. Поэтому находящийся в корабле космонавт подвергается действию

перегрузки (силы, прижимающей человека к опоре).

Чтобы избежать перегрузки, предлагают помещать космонавта в камеру с водой (плотность воды примерно равна плотности человеческого тела). Авторы проекта считали, что человек, находясь в воде, становится невесомым и, следовательно, совершенно избавляется от действия как естественной, так и искусственной тяжести (перегрузки). В чем состоит ошибка такого заключения?

● 75. Простой проект вечного двигателя.

Рассмотрим один из проектов вечного двигателя. В вырез стенки  $AB$  бака с жидкостью вставлен вал (рис. 49), ось которого  $O$  лежит в плоскости стенки  $AB$ .

Вал закрывает собой весь вырез, так что жидкость не выливается; вал может вращаться на своей оси. На половину вала, погруженную в жидкость, по закону Архимеда действует подъемная сила, которая, по мысли изобретателя, должна вызвать вращение вала против часовой стрелки. Это вращение должно было бы продолжаться вечно. В чем ошибка проекта?

● 76. Вечный двигатель Леонарда.

Швейцарец Г. Леонард в 1865 г. предложил следующий проект вечного двигателя. Бесконечная цепь из жестких поплавков проходит правой половиной сквозь сосуд  $B$  с водой (рис. 50). По мысли автора, поплавки, стремясь всплыть, будут вращать колесо  $C$ , через которое эта цепь переброшена, против движения часовой стрелки. В чем ошибка проекта?

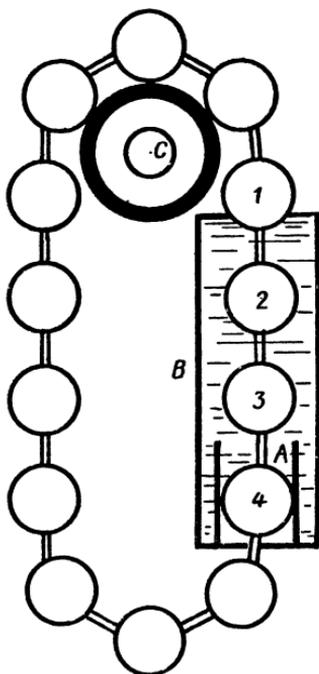


Рис 50.

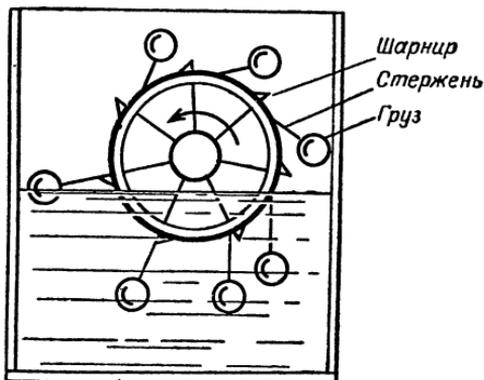


Рис. 51.

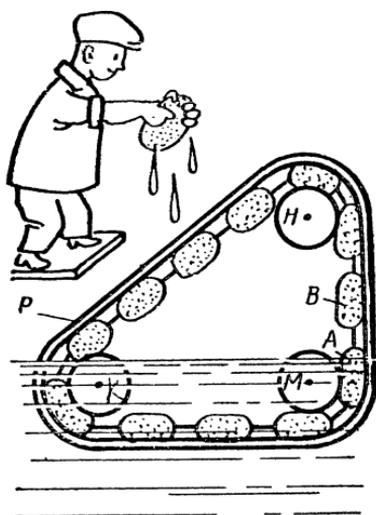


Рис. 52.

### ● 77. Вечный двигатель времен Леонардо да Винчи.

В XV в. был предложен проект вечного двигателя, основанный на законе Архимеда<sup>1</sup>. В проекте этого вечного двигателя имеется колесо с семью откидывающимися на шарнирах грузами (рис. 51). Изобретатель погрузил одну треть колеса в воду, обоснованно предполагая, что вес этой части колеса и грузов уменьшится по известному закону Архимеда и колесо придет во вращение. В чем ошибка проекта?

### ● 78. Вечный двигатель В. Конгрева.

Английский артиллерист и инженер Вильям Конгрев сконструировал вечный двигатель, состоящий из трехгранной призмы с роликами  $K$ ,  $M$ ,  $H$  на углах и губками, натянутыми вокруг призмы (рис. 52). Все это частично погружено в воду. Изобретатель полагал, что вес губки  $A$  увеличится за счет впитавшейся воды. Вследствие этого нарушится равновесие и лента с губками передвинется. Затем впитает воду губка  $B$ , ставшая на место губки  $A$ , лента снова повернется, и так бесконечно. Чтобы увеличить разницу между весом губок, вышедшей из воды над роликом  $K$  и погружающейся в воду у ролика  $M$  (т. е. более надежно обеспечить движение), автор предусмотрел выжимание воды из губок над роликом  $K$  посредством грузов  $P$ ,

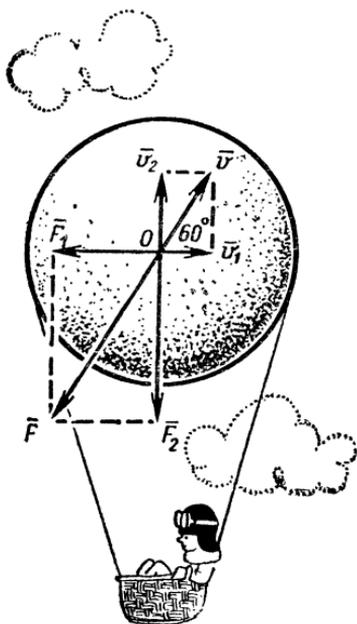


Рис. 53.

<sup>1</sup> Чертеж проекта был обнаружен в записях и набросках знаменитого итальянского художника и ученого Леонардо да Винчи. Достоверно известно, что он не занимался изобретательством вечного двигателя. По-видимому, этот чертеж попал к нему на заключение от какого-либо итальянского изобретателя.

прикрепленных к губкам. Но... двигатель не работал. В чем ошибка проекта?

● 79. Сила сопротивления воздуха.

Шар движется в воздухе, имея в данный момент скорость  $v$  (рис. 53). Так как сила сопротивления воздуха пропорциональна квадрату скорости, то ее можно представить в виде  $F = kv^2$ , где  $k$  — коэффициент пропорциональности.

С другой стороны, разложив скорость  $v$  на горизонтальную и вертикальную составляющие, получим:  $v_1 = v \cos 60^\circ$  и  $v_2 = v \sin 60^\circ$ . Следовательно,  $F_1 = kv_1^2 = kv^2 \cos^2 60^\circ$  и  $F_2 = kv_2^2 = kv^2 \sin^2 60^\circ$ , где  $F_1$  и  $F_2$  — силы сопротивления, вызванные составляющими  $v_1$  и  $v_2$ . Таким образом, полная сила сопротивления равна:

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \sqrt{(kv^2 \cos^2 60^\circ)^2 + (kv^2 \sin^2 60^\circ)^2} = kv^2 \sqrt{\frac{5}{8}},$$

что не совпадает с выражением  $F = kv^2$ . Как разрешить это противоречие?

○ 80. Падают ли облака?

Все тела падают на землю. Облака состоят из мелких капелек воды. Значит, облака должны падать на землю.

Однако никому не удавалось наблюдать, чтобы облако, опускаясь, когда-нибудь достигло земли. Как разрешить этот парадокс?

○ 81. Как надо стрелять из летящего самолета.

При испытании реактивного снаряда, установленного в хвосте самолета для его защиты от нападения сзади, был обнаружен удивительный парадокс. При выпуске снаряда он сначала удалялся от самолета, а затем разворачивался и догонял самолет. Как можно объяснить это явление?

## 5. РАБОТА И ЭНЕРГИЯ

○ 82. Как совершить работу в 1 дж?

Груз весом 1 н поднимают на высоту 1 м. При этом может быть совершена работа, равная 1 дж или большая, чем 1 дж. Когда это возможно? Нет ли здесь противоречия?

● 83. Как совершить работу меньше 1 дж?

Будет ли совершена работа меньше 1 дж, если камень весом 1 н поднимать на высоту 1 м в воде?

Решение. Так как на камень в воде действует выталкивающая сила, то для его поднятия надо прилагать силу, меньшую, чем 1 н. Следовательно, и работа будет совершена меньшая, чем 1 дж.

Но представим себе, что каким-то образом удалена вода после того, как камень поднят. Тогда камень весом 1 н, поднятый

на высоту 1 м, обладал бы потенциальной энергией в 1 дж. Выходит, что либо затраченная на поднятие камня энергия меньше, чем полученная (что противоречит закону сохранения энергии), либо при его подъеме все-таки совершена работа в 1 дж (но это противоречит вышеприведенному решению). Как разрешить эти противоречия?

○ 84. Всегда ли работа равна нулю, если сила перпендикулярна перемещению?

Неподвижный блок изменяет направление движения веревки на  $90^\circ$ .

Известно, что если сила перпендикулярна направлению пути, то она работы не совершает. Вместе с тем, перемещая груз с помощью блока, человек выполняет работу, хотя прилагает силу, перпендикулярную направлению движения груза. Объясните кажущееся противоречие.

● 85. И нуль и не нуль!

Если в космическом пространстве на тело действует постоянная сила, то совершается работа, равная скалярному произведению вектора силы на вектор перемещения тела. Если постоянная сила действует на тело, находящееся в среде, оказывающей сопротивление движению тела, и при этом тело движется равномерно, то работа должна быть равна нулю, так как к телу приложены две взаимно уравновешивающиеся силы, которые можно мысленно отбросить и считать, что на тело никакая сила не действует. Но этот вывод противоречит многочисленным примерам из повседневной практики. Как разрешить это противоречие?

○ 86. Как будет прыгать шарик?

Если уронить стальной шарик на морскую гальку, то он несколько раз подскочит. Иногда один из подскоков бывает выше предыдущего (но не выше той высоты, с которой шарик уронили). Нет ли здесь противоречия с законом сохранения энергии?

● 87. Как правильно рассчитать кинетическую энергию?

Камень массы  $m$  движется вместе с поездом со скоростью  $v_1$ . Какой кинетической энергией относительно Земли будет обладать камень, если его бросить по направлению движения поезда со скоростью  $v_2$  относительно поезда?

Решение. Находясь в поезде, камень относительно Земли обладал кинетической энергией  $\frac{mv_1^2}{2}$ . После того как его бросили,

он относительно поезда стал обладать энергией  $\frac{mv_2^2}{2}$ . Следова-

тельно, относительно Земли его энергия равна  $\frac{mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2}$ .

Но, с другой стороны, скорость камня после броска относительно Земли равна  $v_1 + v_2$ . Следовательно, его кинетическая

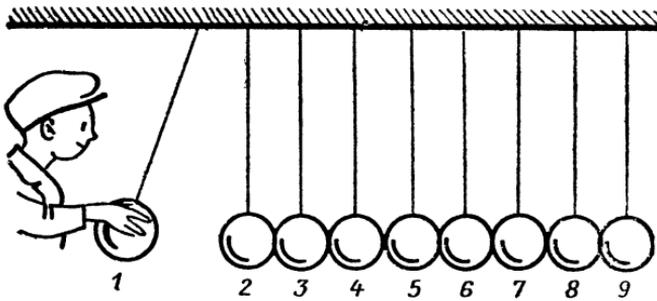


Рис. 54.

энергия будет  $\frac{m(v_1 + v_2)^2}{2}$ , т. е.  $\frac{mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} + mv_1v_2$ . Как разрешить противоречие полученных результатов?

● 88. Могут ли две положительные величины в сумме дать нуль?

Поезд идет со скоростью  $v$ . С площадки заднего вагона человек бросает камень в направлении, противоположном движению поезда, со скоростью  $v$  относительно поезда. Абсолютная скорость камня (относительно Земли) стала равной нулю, и, следовательно, стала равной нулю и его кинетическая энергия относительно Земли. Таким образом, камень, который двигался вместе с поездом, до того как был брошен, обладал некоторой энергией. Человек, бросая камень, совершил работу и также затратил энергию. А в результате полная энергия камня равна нулю. Как разрешить противоречие: две положительные величины (кинетические энергии), складываясь, дают нуль?

● 89. Удар шаров.

Несколько одинаковых стальных или костяных шаров подвешены на нитях, прикрепленных к одной доске (рис. 54). Шары в начальном положении касаются друг друга, и нити параллельны между собой. Что произойдет, если крайний левый шар № 1 отвести и отпустить? Удар считать центральным и идеально упругим.

Решение. Согласно закону сохранения энергии потенциальная энергия поднятого шара № 1 превратится сначала в кинетическую, затем в потенциальную упругой деформации шаров и снова в кинетическую энергию последнего (или последних) шара № 9. А эта энергия расходуется на его поднятие. При этом, если будет поднят один шар № 9, то на ту высоту, с которой упал шар № 1. Если (а это также возможно) отскочат шары № 8 и № 9, то на высоту, вдвое меньшую, чем та, с которой упал шар № 1.

Проделаем опыт и убедимся, что решение неверно. Во всех случаях отскакивает только один шар № 9 и поднимается на ту высоту, с которой падал шар № 1. В чем ошибка решения?

○ 90. Выполняется ли закон инерции на транспорте?

При торможении вагона троллейбуса, поезда, автобуса и т. п. наблюдается следующее явление: пассажиры сначала наклоняются вперед, а затем после остановки вагона резко (толчком) отклоняются назад. А ведь согласно закону инерции они должны были бы только наклониться вперед так, например, как это происходит с пассажирами, едущими в телеге или лодке при их резкой остановке. Как объяснить это кажущееся нарушение закона инерции в вагоне поезда и др.?

● 91. Чем выше, тем теплее?

На второй этаж подняли вязанку дров. При этом дрова приобрели некоторую потенциальную энергию. Затем их сожгли в топке. Так как энергия исчезнуть не может, а в результате сжигания дров получается теплота, то выходит, что потенциальная энергия должна превратиться в тепловую. Таким образом, чем выше этажом сжигать дрова, тем в комнате будет теплее. В чем ошибка рассуждений и в какой вид энергии превратится потенциальная энергия вязанки дров, поднятой на второй этаж?

## 6. ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ И ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ

○ 92. Парадоксально, но факт.

В движущемся железнодорожном вагоне во всякий момент движения есть точки неподвижные и точки, движущиеся в сторону, обратную движению вагона. Какие это точки?

○ 93. Скорость относительного движения.

Наблюдатель  $A$  жестко связан с телом  $T$  и движется вместе с ним, имея численно постоянную скорость  $v_A$  (рис. 55). Тело  $B$  также движется с численно постоянной скоростью  $v_B$ , большей  $v_A$  и направленной в ту же сторону. Каким будет представляться движение тела  $B$  наблюдателю  $A$ ?

Решение. Один ученик ответил: согласно правилу сложения векторов скорости наблюдатель  $A$  увидит тело  $B$  удаляющимся от него со скоростью  $v_B - v_A$ .

Другой ему возразил: представленное решение справедливо, если векторы  $\vec{v}_A$  и  $\vec{v}_B$  направлены по одной прямой в одном и том же направлении. Если же эти векторы не лежат на одной прямой, то задача не может быть решена однозначно. Кто из учащихся прав?

● 94. Как направлена линейная скорость?

Нить  $AB$  приводит в движение стержень  $OA$ , который может вращаться вокруг точки  $O$  (рис. 56). Дана скорость  $v$  точки  $B$  и угол  $\alpha$ . Определить скорость точки  $A$ .

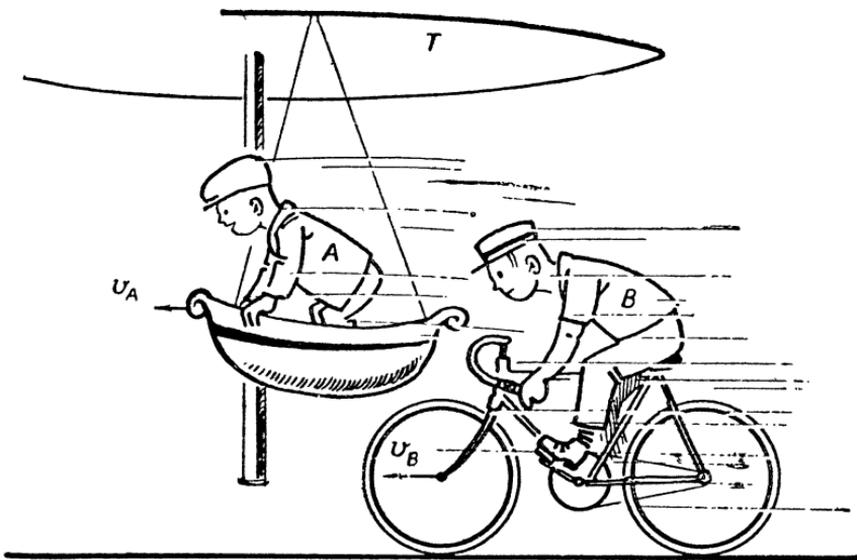


Рис. 55.

Решение. Перенесем вектор  $\vec{v}$  из точки  $B$  в точку  $A$  и, разложив его здесь на составляющие  $\vec{v}_1$  и  $\vec{v}_2$ , найдем искомую скорость  $v_1 = v \cos \alpha$ .

С другой стороны, обозначив неизвестную скорость точки  $A$  буквой  $\vec{w}$ , разложим ее на составляющие  $\vec{w}_1$  и  $\vec{w}_2$  (рис. 57) так, чтобы первая была направлена по линии  $AB$  и равна  $\vec{v}$  (это

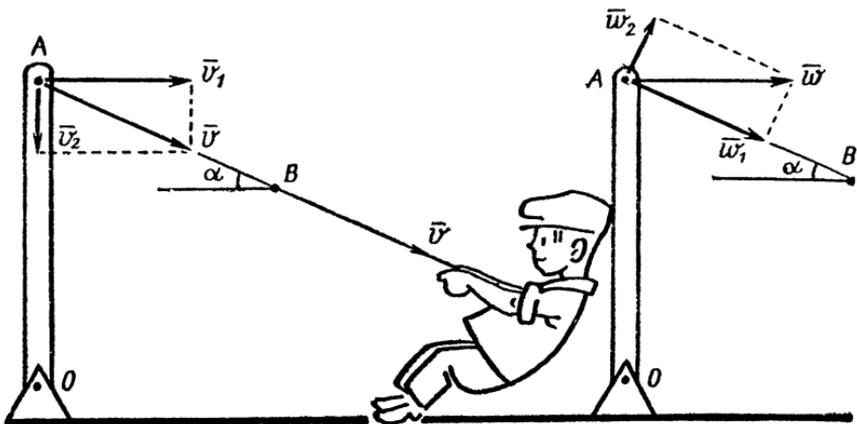


Рис. 56.

Рис. 57.

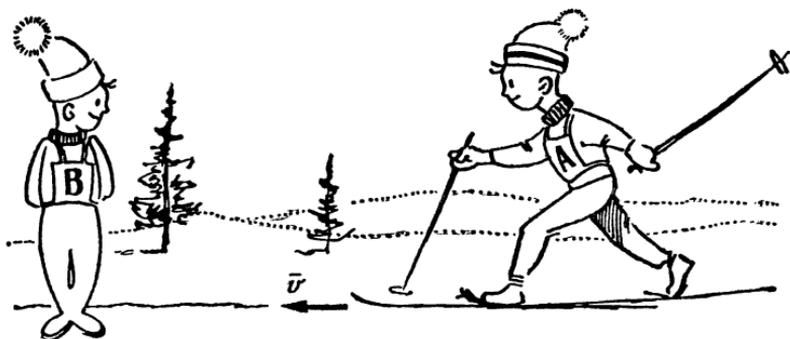


Рис. 58.

можно сделать при условии, что нить нерастяжима). Итак,  $\omega_1 = v$ , тогда  $\omega = \frac{v}{\cos \alpha}$ . Какое же из решений правильное?

● 95. Вопреки «здравому смыслу».

Если наблюдатель  $A$  приближается по прямой линии к наблюдателю  $B$  с некоторой скоростью  $v$  (рис. 58), то, с точки зрения наблюдателя  $A$ , сам наблюдатель  $B$  приближается к нему с такой же скоростью.

Круглая горизонтальная платформа вращается вокруг своей оси  $O$  (рис. 59) с некоторой угловой скоростью  $\omega$ . На платформе стоит наблюдатель  $A$ , а на земле — наблюдатель  $B$ , причем  $OB = 2AO$ . В момент, когда наблюдатель  $A$  занимает положение, указанное на рисунке, он движется на наблюдателя  $B$  со скоростью  $v = 5$  м/сек. С какой скоростью и в каком направлении

движется в этот момент наблюдатель  $B$  относительно наблюдателя  $A$ ?

Решение. С точки зрения «здорового смысла», «очевидно», что скорость точки  $B$  численно равна скорости точки  $A$  и направлена по линии, их соединяющей, в направлении от  $B$  к  $A$ .

С другой стороны, согласно условию скорость наблюдателя  $A$  относительно наблюдателя  $B$  равна  $v = \omega \cdot AO$ . С точки зрения наблю-

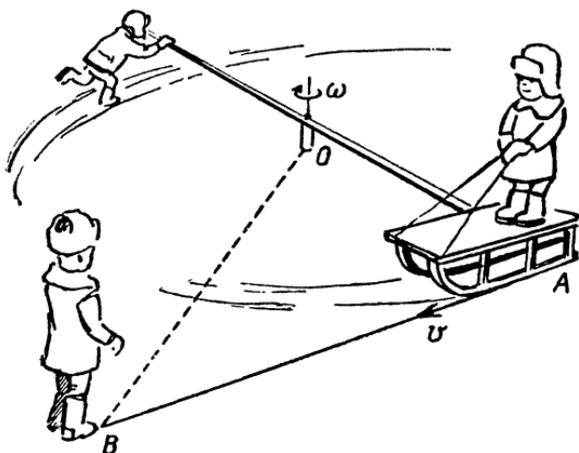


Рис. 59.

дателя  $A$ , все окружающее пространство вращается вокруг оси  $O$  с угловой скоростью  $\omega_1$ , равной  $\omega$ , но направленной в противоположную сторону. Поэтому скорость наблюдателя  $B$  относительно наблюдателя  $A$  равна  $v_1 = \omega_1 \cdot OB = \omega \cdot 2AO$ . Таким образом,  $v_1 = 2v = 10 \text{ м/сек}$ . И как всякая линейная скорость,  $v_1$  направлена перпендикулярно линии  $OB$ , но не по прямой  $BA$ . В чем логическая ошибка решения согласно «здравому смыслу»?

○ 96. Где же центростремительная сила?

Шарик без трения соскальзывает по внутренней поверхности сферической чашки (рис. 60). При этом на него действуют сила тяжести  $P$  и реакция опоры  $Q$ . Каковы бы ни были эти силы, их равнодействующая  $F$ , вообще говоря, не направлена вдоль радиуса к точке  $O$  — центру окружности обращения шарика.

Но ведь шарик описывает окружность. Значит, есть центростремительная сила. Но ею не является ни одна из сил, изображенных на рисунке, ни их равнодействующая. Где же центростремительная сила? Как разрешить парадокс?

○ 97. Центростремительная сила.

Если  $m$  — масса материальной точки,  $r$  — радиус окружности, по которой она движется,  $v$  и  $\omega$  — линейная и угловая скорости ее, то центростремительная сила, удерживающая точку на окружности обращения, может быть выражена двумя формулами:

$$F = m\omega^2 r \quad (1) \quad \text{и} \quad F = \frac{mv^2}{r}. \quad (2)$$

Как же может быть, чтобы одна и та же величина была одновременно и прямо пропорциональна и обратно пропорциональна радиусу?

● 98\*. Центробежная сила.

Центробежная сила инерции обратно пропорциональна радиусу окружности, по которой движется материальная точка. Следовательно, при достаточно малом радиусе эта сила может достигнуть произвольно большой величины. Почему же частицы, лежащие вблизи полюса Земли, не отрываются и не улетают в космическое пространство?

○ 99. Шарик на вращающемся желобе.

Желоб  $AB$  образует угол  $45^\circ$  с горизонтом и вращается вокруг вертикальной оси  $AO$  (рис. 61), проходящей через нижний конец желоба, со скоростью  $30 \text{ об/мин}$ . В каком месте следует по-

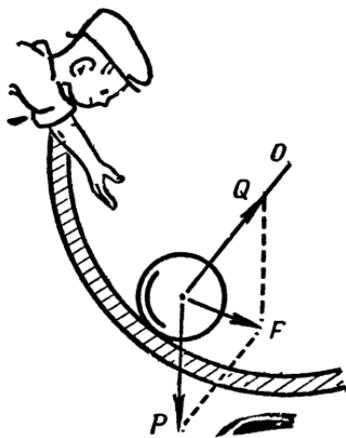


Рис. 60.

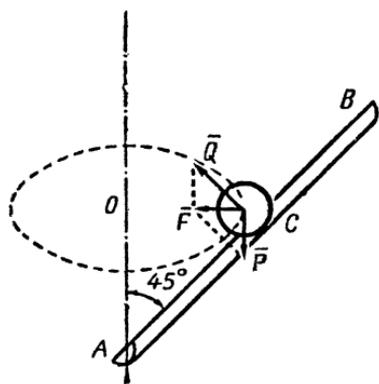


Рис. 61.

местить шарик на желобе, чтобы он оставался неподвижным относительно желоба? Трение не учитывать.

Решение. Шарик будет обращаться вокруг оси  $OA$ , оставаясь неподвижным относительно желоба, если равнодействующая  $F$  силы тяжести  $P$  и реакции желоба  $Q$  будет равна  $m\omega^2 r$ . При  $\alpha = 45^\circ$   $F = P$ , следовательно, уравнение второго закона Ньютона примет вид:

$$m \omega^2 r = mg, \text{ или } r = \frac{g}{\omega^2}.$$

Так как  $\omega = 2\pi n$ , то  $r = \frac{g}{4\pi^2 n^2}$ . Тогда  $AC = \frac{g\sqrt{2}}{4\pi^2 n^2}$ .

Из полученного решения вытекает, что при увеличении частоты вращения желоба шар должен опуститься по желобу ближе к точке  $A$ . Но опыт показывает противоположное. В этом легко убедиться, насадив на металлический прут картофелину и начав вращать прут. При увеличении скорости вращения прута картофелина удаляется от точки, в которой рука держит прут. Как объяснить этот парадокс?

○ 100\*. **Центробежный эффект.**

На оси центробежной машины укреплен доска, на которой установлен стеклянный цилиндрический сосуд с водой. Ко дну сосуда прикреплен нить, на другом конце которой привязан пробковый шарик (рис. 62). Другой, такого же радиуса металлический шарик подвешен на нити, закрепленной в крышке сосуда. Как расположатся шарики при вращении доски?

Решение. Вследствие инерции оба шарика, двигаясь по касательной к окружности обращения, отклонятся от оси центробежной машины.

Опыт показывает другое: металлический шарик действительно отклоняется от оси, а пробковый, наоборот, приближается к ней. Как объяснить этот парадокс?

○ 101. **Вопреки очевидности.**

Паровая реактивная турбина (рис. 63) укреплен на оси, которая нижним заостренным концом упирается в подпятник на тарелке. Тарелка в свою очередь может свободно вращаться вокруг вертикальной оси; на ней находится кольцеобразный желобок с сухим спиртом для нагревания турбинки. При нагревании турбинка начнет вращаться по направлению часовой стрелки, если смотреть сверху. Между турбинкой и тарелкой действует толь-

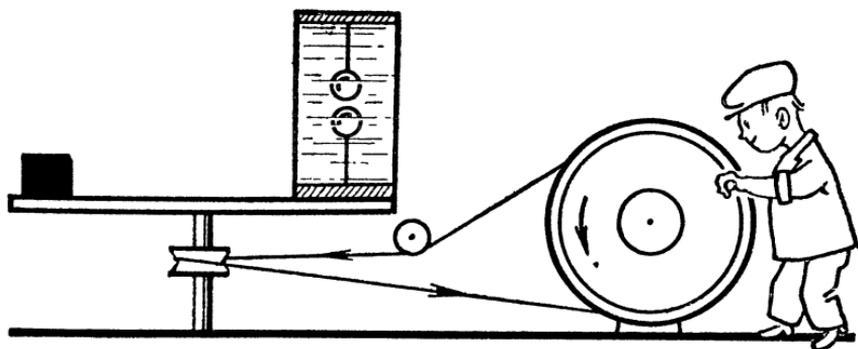


Рис. 62.

ко небольшая сила трения, которая должна замедлять вращение турбинки и приводить тарелку во вращение в том же направлении. Однако опыт показывает, что тарелка вращается в противоположную сторону. Как объяснить наблюдаемый парадокс.

○ 102\*. Какой раньше скатится?

Два цилиндра *A* и *B* во всем сходны, кроме высоты (следовательно, имеют различные массы). Если их поместить на одинаковую высоту на наклонную плоскость (рис. 64), то они скатываются к основанию за одно и то же время.

Но ведь моменты инерции у цилиндров разные. Значит, должны быть разными и угловые скорости и время скатывания. Как объяснить этот парадокс?

○ 103. Потенциальная энергия поднятого тела.

Во многих учебниках для средней школы говорится, что потенциальная энергия тела, поднятого над Землей, пропорциональна высоте подъема. Если же для выражения силы тяжести воспользоваться формулой закона тяготения Ньютона, то изменение потенциальной энергии оказывается зави-

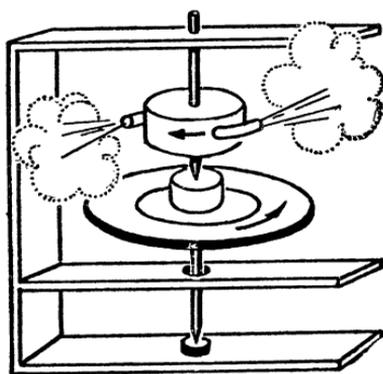


Рис. 63.

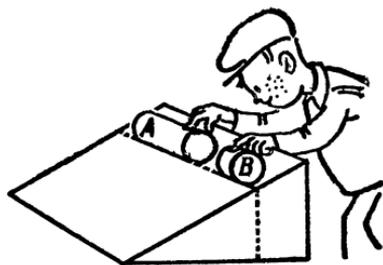


Рис. 64.

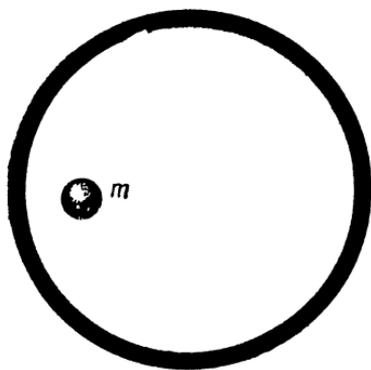


Рис. 65.

сящим от разности  $\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r}\right)$ , где  $R$  — радиус Земли, а  $r$  — расстояние от центра Земли до данного тела. Как согласовать эти результаты?

○ 104. Задача Ньютона.

Шарик массы  $m$  находится внутри тонкостенного полого шара вблизи от его оболочки (рис. 65). Как будет действовать гравитационное поле оболочки на шарик?

Решение. «Здравый смысл» подсказывает: так как гравитационная сила обратно пропорциональна квадрату расстояния, то шарик силь-

нее будет притягиваться к ближней части оболочки, т. е. влево.

С другой стороны, на шарик слева действует меньшая масса оболочки, чем справа. Поэтому на шарик будет действовать сила, направленная вправо. Каков же правильный ответ?

● 105. Почему Земля не тор?

Эллипсоидальная форма Земли объясняется обыкновенно действием центробежной силы инерции на огненно-жидкое тело, каким была Земля при своем образовании. Известен также опыт вращения жидкости в сосуде, при котором ее поверхность принимает форму параболоида вращения, а при большой скорости вращения вдоль оси образуется полость. Почему же жидкая Земля, вращаясь, не приняла форму кольцеобразного тела?

○ 106. Период обращения искусственного спутника.

Искусственный спутник движется вокруг планеты  $A$  с некоторым периодом обращения  $T$ . Каков будет этот период, если спутник будет обращаться вокруг другой планеты  $B$ , имеющей такую же плотность, как планета  $A$ , но вдвое больший радиус? В обоих случаях спутник движется по круговой орбите вблизи поверхности планеты. Трением атмосферы пренебречь.

Решение. Согласно второму закону Ньютона

$$\frac{mv^2}{R} = \gamma \frac{Mm}{R^2},$$

где  $m$  — масса спутника,  $M$  — масса планеты,  $\gamma$  — гравитационная постоянная,  $R$  — радиус планеты,  $v$  — скорость спутника. Но

$M = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho$ , где  $\rho$  — плотность планеты. Значит,

$$\frac{mv^2}{R} = \gamma \cdot \frac{4}{3} \pi R^3 \rho \frac{m}{R^2}.$$

Откуда

$$v = 2R \sqrt{\frac{\pi \gamma \rho}{3}}.$$

Так как  $T = \frac{2\pi R}{v}$ , то  $T = \sqrt{\frac{3\pi}{\gamma \rho}} = \text{const.}$  Таким образом,

период обращения спутника не зависит от радиуса планеты, т. е. не зависит от расстояния его до центра планеты.

Но ведь согласно третьему закону Кеплера период обращения спутника зависит от радиуса его круговой орбиты:

$T = k\sqrt{r^3}$ , где  $k$  — коэффициент пропорциональности. Как же

согласовать эти два внешне противоречащих друг другу заключения?

○ **107. Почему Луна не спутник Солнца?**

Притяжение Луны Солнцем примерно в два раза больше, чем притяжение ее Землей. Почему же Луна — спутник Земли, а не самостоятельная планета?

○ **108. Антиподы.**

Земля шарообразна. Как же наши антиподы ходят «вниз головой» и не ощущают никаких неприятностей?

○ **109. Невесомость и морские приливы.**

Земной шар можно рассматривать как гигантский космический корабль, движущийся вокруг Солнца. Поэтому все предметы на поверхности Земли должны быть «невесомы» по отношению к гравитационным силам Солнца, Луны и других небесных тел. Но ведь известно, что морские приливы вызывает именно притяжение Луны. Как разрешить это противоречие?

● **110. Планетная система.**

Неподвижные Солнце и планета, взаимно притягиваясь, через некоторый промежуток времени упали бы друг на друга. Но планета движется и не падает на Солнце. Сила притяжения планеты Солнцем сказывается в том, что планета обращается вокруг Солнца. А Солнце, притягиваясь к планете, должно было бы приближаться к ней (вследствие движения планеты Солнце должно было бы приближаться к планете по спирали). Но ведь этого нет. Солнечная система устойчива. В чем ошибка приведенных рассуждений?

○ **111. Из пушки на Луну.**

В фантастическом рассказе Ж. Верна о ядре с пассажирами, брошенном с Земли на Луну, рассказывается, что на участке пути, на котором притяжение Луны равно притяжению Земли, все предметы внутри ядра потеряли вес, всякий предмет, не падая, оставался в воздухе там, где был помещен.

Докажите парадоксальную истину, что такое явление должно было бы наблюдаться на всем протяжении пути.

● **112. Как движется предмет в космическом корабле?**

Космонавт, находящийся во вращающемся вокруг своей продольной оси корабле, выпускает из рук какой-нибудь предмет. Будет ли он «падать», т. е. двигаться к служащей «полом» стенке корабля?

Решение. Как только предмет будет выпущен из рук, он перестанет давить на опору, предмет будет вести себя как невесомый и к стенке двигаться не будет.

С другой стороны, во вращающейся системе координат на все предметы действует центробежная сила инерции. Поэтому она заставит предмет «падать», пока он не достигнет стенки. Какое же решение верное?

● **113\*. Проявление закона сохранения энергии в космическом корабле.**

В космическом корабле, вращающемся с достаточной скоростью вокруг своей продольной оси, создан искусственный вес. Космонавт «поднимается» по лестнице от оболочки корабля к центру (к оси вращения). Для этого ему приходится совершать некоторую работу и расходовать энергию. В какой другой вид она при этом превращается? А может, она исчезает бесследно?

## **7. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ. ЗВУК**

○ **114. Через неравномерное движение к равномерному.**

Возвратно-поступательное движение поршня в двигателях внутреннего сгорания является неравномерным.

Автомобиль движется равномерно. Как объяснить этот парадокс?

○ **115. Когда камертон звучит сильнее?**

Звук, издаваемый камертоном, весьма слаб: чтобы явственно расслышать его, надо поднести камертон к самому уху. Если же ножку камертона приложить к столу, то звук становится слышимым по всей комнате.

Явление это как будто противоречит закону сохранения энергии: незначительная энергия колебаний ножек камертона оказывается достаточной для приведения в сильные колебания частиц стола, обладающего огромной массой по сравнению с массой самого камертона. Объясните парадокс?

○ **116. Был ли удар упругим?**

С некоторой высоты на массивное стальное тело *A*, имеющее форму, изображенную на рисунке 66, падает упругий стальной цилиндр *B*. Опыт проводят дважды: в первом случае цилиндр *B* ударяет в невысокий стерженек *C*, во втором — в широкое основание тела *A*. Хотя массы соударяющихся тел в обоих случаях одинаковы, результат опыта различный. В первом случае цилиндр *B* отскакивает вертикально вверх, во втором это явление не происходит. Как объяснить этот парадокс?

○ 117. Нарушается ли закон сохранения механического импульса?

Когда колеблется струна, скорость ее все время меняется. Механический импульс (количество движения) струны вследствие этого тоже меняется. В моменты остановок струны он превращается в нуль, а в положении равновесия струны, когда скорости частиц ее наибольшие, механический импульс максимален. Как же согласовать это появление и исчезновение механического импульса с законом его сохранения?

● 118. Почему не получилась октава?

Если привести в колебание натянутую струну  $AB$  (рис. 67), то слышен определенный тон. Прикоснемся к середине струны в точке  $M$  птичьим перышком и приведем ее в звучание. Тогда слышен новый тон, на октаву выше первого. Поместим перышко на расстоянии  $\frac{2}{3}$  длины струны в точку  $C$  и приведем в колебание участок струны  $CB$ . Слышен определенный тон. Укоротим этот отрезок струны вдвое, поместив перышко в точку  $K$ , и заставим звучать отрезок струны  $KB$  ( $\frac{1}{3}$  длины всей струны). Мы вправе ожидать удвоение частоты звука. Однако слышен прежний тон. В чем ошибка рассуждений?

● 119. Может ли органная труба разогреться до свечения?

Существование узлов смещения при образовании поперечных стоячих волн объясняется так: частицы струны, например, должны одновременно совершать колебания, обусловленные прямой и отраженной волной; в узлах два

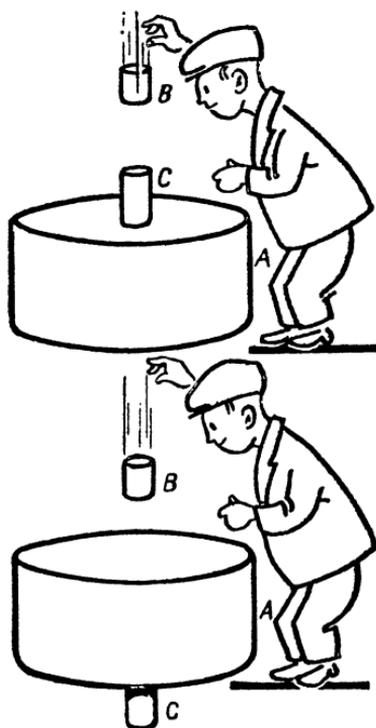


Рис. 66.

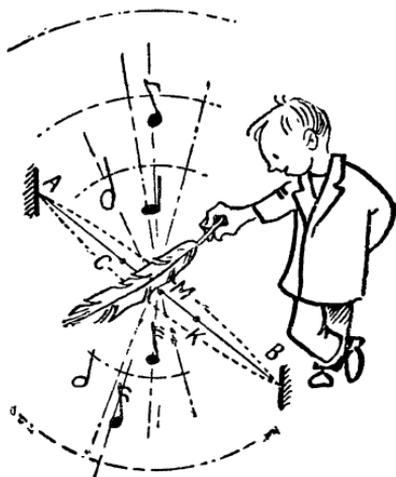


Рис. 67.

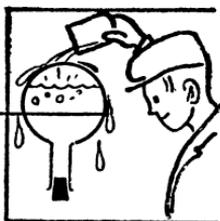
прямо противоположных колебательных движения, складываясь, взаимно уничтожаются.

Но механическая энергия этих колебательных движений на основании закона сохранения энергии не может исчезнуть бесследно, она должна перейти во внутреннюю энергию, подобно тому как это имеет место при столкновении двух движущихся тел.

Таким образом, энергия колебания струны или воздуха в органной трубе может служить непрерывным источником тепла и в узлах должна бы возникнуть, вообще говоря, очень высокая температура. Но этого не наблюдается. В чем ошибка рассуждений?

### ○ 120. Животные и ультразвук.

Чем выше частота звуковых колебаний, тем быстрее они затухают с расстоянием. Вопреки этому именно ультразвуковые волны являются главным средством общения и локации у ряда животных (летучих мышей, дельфинов, морских свинок). Объясните этот парадокс.



## 8. ТЕПЛОТА И РАБОТА

○ 121. Почему не расплавился искусственный спутник Земли?

Запуск искусственных спутников Земли показал, что температура воздуха на высоте 1000 км достигает нескольких тысяч градусов. Почему же не расплавился спутник, двигаясь на указанной высоте? (Температура плавления железа  $1520^{\circ}\text{C}$ .)

○ 122. Когда человеку холодно?

Нормальная температура тела человека равна  $36,6^{\circ}\text{C}$ . Однако ему не холодно, когда температура воздуха  $25^{\circ}\text{C}$ , и очень жарко, когда она равна  $36^{\circ}\text{C}$ . В воде же, наоборот, при  $36^{\circ}\text{C}$  человек чувствует себя нормально, а при  $25^{\circ}\text{C}$  ему холодно. Как объяснить этот парадокс?

● 123. Работа за счет холода.

Закон сохранения энергии можно формулировать так: для того чтобы произвести некоторую работу, необходимо затратить соответствующее количество энергии. В герметически закупоренной чугунной бомбе находится вода. Отнимем от нее некоторое количество теплоты и охладим воду до  $0^{\circ}\text{C}$ . Образовавшийся при этом лед, занимая объем больший, чем вода, разрывает бомбу.

Точно так же может производить работу металлический стержень, сокращаясь при своем охлаждении.

Как же согласовать с этими опытами вышеприведенную формулировку закона сохранения энергии?

○ 124. Почему не выполняется закон?

Две барометрические трубки (рис. 68) одинаковой емкости, из которых откачан воздух, погружают в сосуд  $A$  со ртутью и открывают краны. Ртуть заходит в обе трубки и заполняет их до высоты  $H$ . При этом в обеих трубках совершается одинаковая работа  $A = \rho \Delta V$ , где  $\rho$  равно половине атмосферного давления,  $\rho$  есть среднее давление столбика ртути в трубке на уровне ртути в сосуде  $A$ . Величина  $\Delta V$  есть объем заполненной ртутью части трубки.

Из чертежа ясно, что потенциальная энергия поднятой на высоту  $h_2$  ртути, занимающей шаровую полость  $B$ , больше, чем

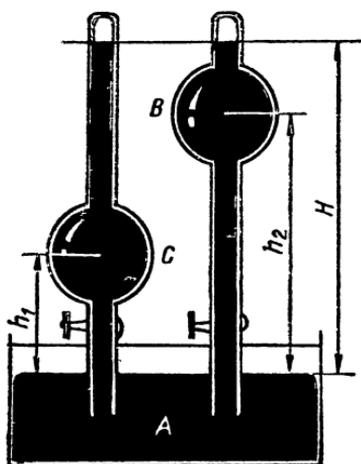


Рис. 68.

потенциальная энергия ртути в полости  $C$ , поднятой на высоту  $h_1$ . Как разрешить возникшее противоречие с законом сохранения энергии?

○ 125. Свеча и уголь.

Почему, если сильно дуть на тлеющий уголь, то он разгорается сильнее, а свеча при этом условии гасится?

## 9. ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ

● 126. Как изменится диаметр?

Как изменяется внутренний диаметр однородного металлического кольца при его нагревании?

Решение. Так как при нагревании металла все его линейные раз-

меры возрастают, то должна увеличиться толщина кольца, т. е. внутренний диаметр кольца при его нагревании должен уменьшиться.

Однако известный опыт Гравезанда с кольцом и шариком опровергает приведенное «решение». Где допущена ошибка?

○ 127. Куда «исчезла» энергия?

Сжатая спиральная пружина обладает большей энергией, чем несжатая. Если растворить пружину в сжатом состоянии в кислоте, то ее потенциальная энергия исчезнет. Но ведь энергия исчезнуть бесследно не может! Как разъяснить парадокс?

## 10. КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ГАЗОВ

● 128. Почему не двигалась тележка?

Сосуд, имеющий форму усеченного конуса, установлен на тележке (рис. 69) и заполнен газом. Так как площади  $AB$  и  $CD$  различны, то будут различны и силы давления на них газа. Но тогда тележка должна двигаться влево. Однако этого не наблюдается. В чем ошибка рассуждений?

○ 129. Изотермический процесс.

При изотермическом сжатии идеального газа его температура не изменяется, а следовательно, не изменяется и кинетическая энергия его молекул.

Так как между молекулами идеального газа нет сил притяжения и отталкивания, то при сжатии не изменилась и потенциальная энергия.

Но ведь сжатый газ приобретает способность совершить

некоторую работу, т. е. обладает дополнительной энергией. Как разрешить это противоречие?

● 130. Почему сохраняется температура газа?

По кинетической теории газов температура пропорциональна средней кинетической энергии движения его частиц. Молекулы газа при своем движении сталкиваются друг с другом и со стенками сосуда и в силу неидеальной упругости теряют при ударе часть своей скорости, так что с течением времени температура газа должна уменьшаться. Сосуд же, содержащий газ, от ударов частиц должен нагреваться. Но этого на практике не происходит. В чем ошибка рассуждений?

● 131. Зависит ли конечное состояние газа от порядка выполнения процессов?

Пусть в цилиндре, закрытом поршнем (рис. 70), содержится газ, характеризуемый параметрами:  $p_0$ ,  $V_0$ ,  $t_0^\circ$ , где  $t_0^\circ = 0^\circ\text{C}$ . Нагреем газ на  $t^\circ$ , тогда его объем по закону Гей-Люссака будет равен  $V_1 = V_0(1 + \gamma t^\circ)$ , давление по-прежнему  $p_0$ . Создадим дополнительное давление на газ  $p_1$  так, чтобы довести его до прежнего объема  $V_0$ . По закону Бойля — Мариотта имеем:

$$p_0 V_0 (1 + \gamma t^\circ) = (p_0 + p_1) V_0,$$

откуда

$$p_1 = p_0 \gamma t^\circ.$$

Охладим теперь газ на  $t^\circ$ , тогда он приобретет прежнюю температуру  $t_0^\circ = 0^\circ\text{C}$ , но объем его станет  $V_2 = V_0(1 - \gamma t^\circ)$ , давление  $(p_0 + p_1)$ . Чтобы довести газ до прежнего объема, придется снять с поршня некоторое давление  $p_2$ . Теперь объем газа  $V_0$ , давление  $(p_0 + p_1 - p_2)$ , и, следовательно, по закону Бойля — Мариотта

$$(p_0 + p_1) V_0 (1 - \gamma t^\circ) = (p_0 + p_1 - p_2) V_0,$$

откуда

$$p_2 = p_0 \gamma t^\circ + p_1 \gamma t^\circ,$$

или, принимая в расчет, что  $p_1 = p_0 \gamma t^\circ$ , получим:

$$p_2 = p_1 (1 + \gamma t^\circ).$$

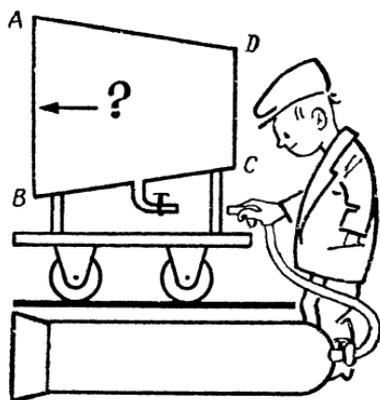


Рис. 69.

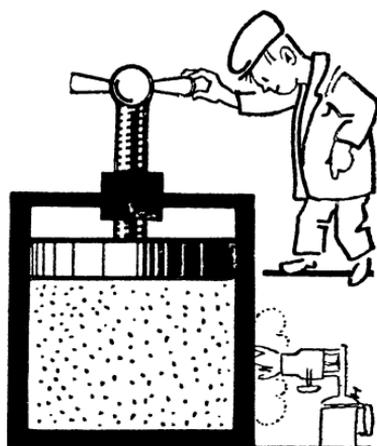


Рис. 70.

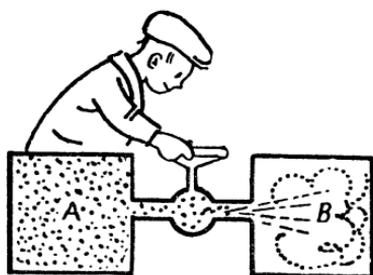


Рис. 71.

Так как  $t^{\circ} \neq 0$ , то  $p_2 \neq p_1$ .

С другой стороны, проследив те изменения, которым мы подвергали газ, убеждаемся, что его конечный объем и температура такие же, как и в начале, поэтому и его давление ( $p_0 + p_1 - p_2$ ) должно быть равно прежнему  $p_0$ , т. е. должно быть  $p_0 + p_1 - p_2 = p_0$ , откуда  $p_2 = p_1$ .

Где в рассуждениях была допущена ошибка?

○ 132. Температура газа.

При резком расширении большинство газов охлаждается (этот эффект используют для сжижения газов). Пусть в сосудах *A* и *B*, соединенных краном (рис. 71), содержится идеальный газ (*A*) и вакуум (*B*). Открываем кран. Газ врывается в сосуд *B* и... не охлаждается. Как объяснить этот парадокс?

○ 133. Откуда появилось добавочное давление?

Резервуар *A* (рис. 72) содержит воздух под давлением больше 1 ат и при температуре окружающей среды. Давление сжатого газа измеряется высотой ртутного столба в манометре. Открыв кран *B*, выпустили из резервуара столько газа, что ртутный столб в манометре понизился до высоты, соответствующей нормальному

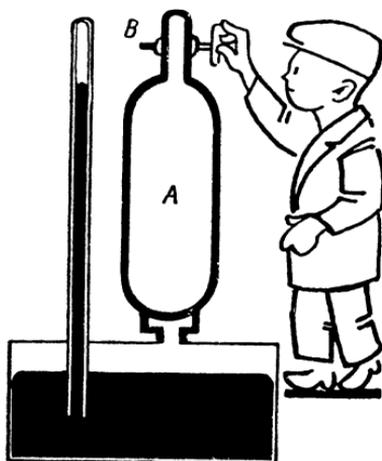


Рис. 72.

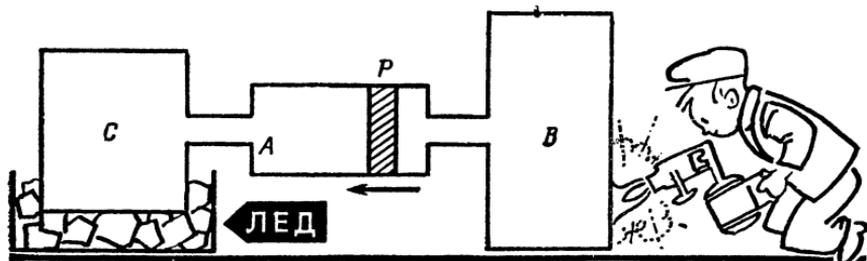


Рис. 73.

давлению. Спустя некоторое время было замечено, что ртуть в манометре снова несколько поднялась. Объясните парадокс.

● 134. **Неравные объемы равны.**

Цилиндр  $A$ , снабженный поршнем  $P$  (рис. 73), соединяет два неравных по емкости сосуда  $B$  и  $C$ , содержащие один и тот же газ при температуре  $0^\circ\text{C}$ . Пусть начальные объемы газов в сосудах (включая части цилиндра)  $V_{0B}$  и  $V_{0C}$ . Нагреем сосуд  $B$  на  $t^\circ\text{C}$ , а  $C$  охладим тоже на  $t^\circ\text{C}$ . Тогда поршень  $P$  передвинется на некоторое расстояние по направлению стрелки.

Рассуждение первое.

Определим увеличение объема газа в сосуде  $B$ . Согласно закону Гей-Люссака  $\Delta V_1 \Delta V_{0B} \gamma t^\circ$ . Соответственно уменьшение объема газа во втором сосуде составляет  $\Delta V_2 = -V_{0C} \gamma t^\circ$ . Но так как сосуд  $B$ , цилиндр  $A$  и сосуд  $C$  представляют собой единый замкнутый резервуар, то увеличение объема одной его части равно уменьшению объема другой, т. е.  $\Delta V_1 = \Delta V_2$ , или  $V_{0B} \gamma t^\circ = V_{0C} \gamma t^\circ$ . Следовательно,  $V_{0B} = V_{0C}$ . Но мы вначале предположили неравенство  $V_{0B} \neq V_{0C}$ . Как разрешить противоречие?

Рассуждение второе.

Как бы ни менялись объемы газов в сосудах  $B$  и  $C$ , общий объем

$$V_B + V_A + V_C = \text{const.}$$

Пусть до изменения температуры суммарный объем был, включая и объем цилиндра,  $V_{0B} + V_{0C}$ , а после нагревания стал  $V_1 + V_2$ . Тогда  $V_{0B} + V_{0C} = V_1 + V_2$ .

$$\begin{aligned} \text{Но } V_1 + V_2 &= V_{0B} \frac{T_1}{T_0} + V_{0C} \frac{T_2}{T_0} = V_{0B} \frac{T_0 + t^\circ}{T_0} + V_{0C} \frac{T_0 - t^\circ}{T_0} = \\ &= V_{0B} + V_{0C} + \frac{t^\circ}{T_0} (V_{0B} - V_{0C}). \end{aligned}$$

$$\text{Итак, } V_{0B} + V_{0C} = V_{0B} + V_{0C} + \frac{t^\circ}{T_0} (V_{0B} - V_{0C}),$$

$$\text{или } \frac{t^\circ}{T_0} (V_{0B} - V_{0C}) = 0.$$

Следовательно,  $V_{0B} = V_{0C}$ , что также противоречит первоначально сделанному предположению о неравенстве объемов газов в сосудах. В чем ошибки обоих рассуждений?

## 11. МОЛЕКУЛЯРНЫЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТИ

○ 135. **Опыт Плато.**

Опыт Плато (шаровая капля одной жидкости плавает внутри другой жидкости, имеющей такую же плотность) иногда объясняют так: сила тяжести капли уравнивается архиме-

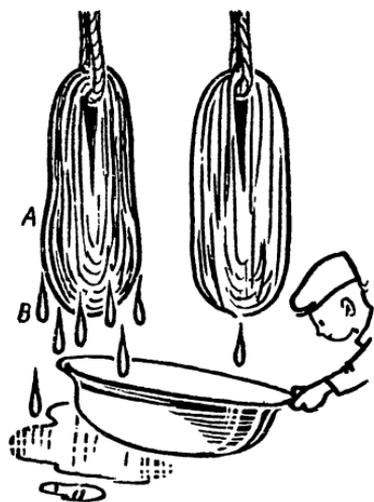


Рис. 74.

довой силой, и поэтому капля принимает форму шара.

Если большую каплю воды поместить на горизонтальную парафиновую пластинку, то сила тяжести капли будет также уравниваться реакцией опоры. Однако капля примет приплюснутую форму. Как объяснить этот парадокс?

○ 136. **Шерстяные нитки.**

Хлопчатобумажный и шерстяной мотки ниток намочили в воде и повесили сушиться (рис. 74). Почему через некоторое время (минут десять) в шерстяном мотке почти вся вода оказалась собранной в его нижней части *АВ*, в то время как в хлопчатобумажном она была распределена более или менее равномерно по всему мотку?

○ 137. **Вода и ртуть.**

При смачивании жидкостью твердого тела сила притяжения между молекулами жидкости и твердого тела больше, чем сила притяжения между молекулами самой жидкости. Вода смачивает стекло, а ртуть его не смачивает. Почему же для отрывания стеклянной пластинки от поверхности ртути требуется приложить большую силу, чем для отрывания ее от поверхности воды?

○ 138. **Почему не действует закон Архимеда?**

Известен следующий опыт: деревянный брусок, покрытый слоем парафина, кладут на дно стеклянного стакана, придерживают вязальной спицей и наполняют стакан водой. Если убрать спицу, брусок не всплывает. Не выполняется закон Архимеда. Как же так, ведь дерево погружено в воду и на него должна действовать архимедова сила?

○ 139. **Почему прочны мыльные пузыри?**

На вопрос, у какой воды больше коэффициент поверхностного натяжения — у чистой или у мыльной, двое учащихса ответили по-разному.

Первый сказал, что у мыльной воды больше коэффициент поверхностного натяжения потому, что у мыльной воды получают такие прочные, большие пузыри, каких из чистой воды получить нельзя.

Второй доказывал, что у мыльной воды меньше коэффициент поверхностного натяжения потому, что кусочки бумаги, плавающие на поверхности чистой воды, разбегаются, если посреди них капнуть мыльную воду. Кто из учеников прав?

● 140. Самый простой вечный двигатель.

Если S-образную пластинку из картона, пропитанную парафином, натереть мылом в местах А—А (рис. 75) и положить на воду, то она начинает вертеться против хода часовой стрелки. Получили ли мы вечный двигатель?

● 141. Вечный двигатель Синклера.

Сифонно-капиллярный вечный двигатель предложил Синклер в XVIII в. Изобретатель предполагал, что вода из верхнего сосуда А, перелившись по сифону С в нижний В (рис. 76), будет возвращаться снова в верхний по другим трубкам D очень малого диаметра, так называемым капиллярным трубкам. Однако ожидаемого передвижения воды по ним не происходило. В чем ошибка автора проекта?

● 142. Проект капиллярного вечного двигателя.

На рисунке 77 изображен проект вечного двигателя. Капилляр, в котором вода может подниматься на высоту  $H$ , изгибается на высоте  $H_1$  ( $H_1 < H$ ), и верхний его конец развертывается в широкую воронку. Силы поверхностного натяжения должны поднять жидкость на высоту  $H_1$  и ввести ее в воронку. В широкой части воронки жидкость отрывается и скатывается вниз. Падающие капли вращают водяное колесо, и вечное движение осуществлено. В чем ошибка проекта?

○ 143. Еще раз о капилляре?

Из Г-образного капилляра (рис. 77) вода не вытекает. Почему же стекает по тряпке вода с подоконника (рис. 78)?

○ 144. Что удерживает воду в трубке?

Капиллярный подъем воды в трубке А (рис. 79) равен  $H$ . Диаметр шейки трубки В равен диаметру капилляра А.

Силы поверхностного натяжения в сосуде В удерживают лишь



Рис. 75.

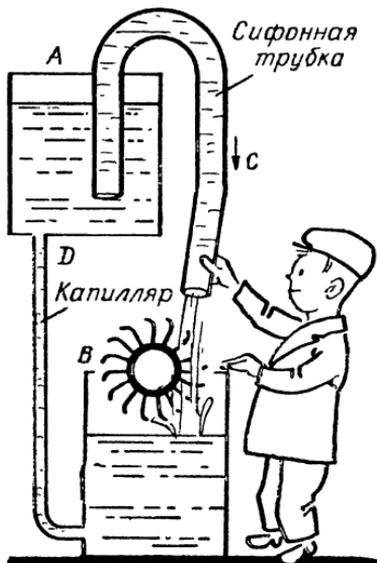


Рис. 76.

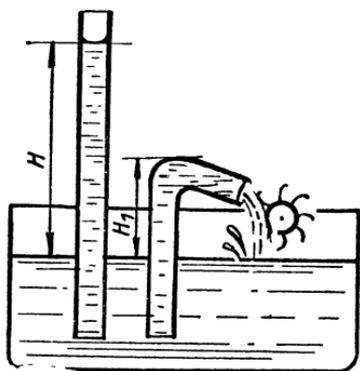


Рис. 77.

столбик жидкости, вес которого равен весу столбика жидкости в сосуде *A*.

Однако в сосуде *B* удерживается столб жидкости высотой *H*, вес которого во много раз больше веса столбика жидкости в сосуде *A*. Объясните этот парадокс.

## 12. ИЗМЕНЕНИЕ АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА

### ○ 145. Радиатор и паропровод.

Радиатор и паропровод сделаны из металла. Однако практически конденсация пара в основном происходит в радиаторах, а не в паропроводе, подводящем пар к радиатору. Объясните парадокс.

### ● 146. Почему тает мороженое?

Мороженое быстрее тает, если его разминать ложечкой. Справедливо ли предположение, что мороженое тает быстрее потому, что здесь совершается работа и расходуется механическая энергия?

### ○ 147. Сахар и хлеб.

Если вы окунете кусочек хлеба в горячий чай, то рискнете ли, не подув на него, отправить себе в рот? А если окунуть кусок сахара, нужно ли на него дуть прежде, чем взять в рот? Объясните парадокс.

### ○ 148. Почему соль плавит лед?

Для скорейшего таяния снега на тротуарах его посыпают солью. С другой стороны, для получения низких температур снег смешивают с солью в от-

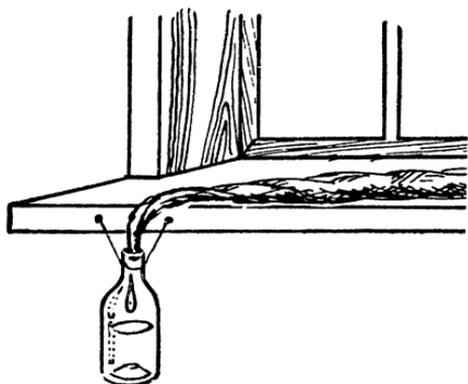


Рис. 78.

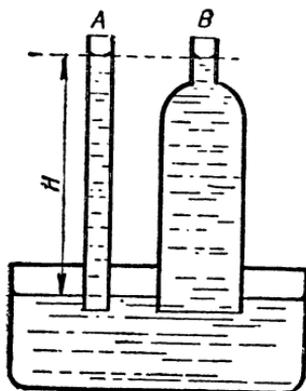


Рис. 79.

ношении 2 весовые части к 1 весовой части. Таким образом, один раз соль дает эффект, аналогичный нагреванию, другой раз — охлаждению. Нет ли здесь противоречия?

○ **149. Почему не замерзают капельки воды?**

Вода в сосуде при нормальном атмосферном давлении замерзает при  $0^{\circ}\text{C}$ . Если ли же воду разбрызгать на маленькие капельки, то она может быть переохлаждена до  $-40^{\circ}\text{C}$ . Как объяснить этот парадокс?

○ **150. Когда следует «дохнуть», когда «дунуть»?**

Почему, если дохнуть себе на руку, получается ощущение тепла, а если дунуть, то ощущение прохлады?

○ **151. Приятно ли купаться во время дождя?**

Каждому, кто купался во время дождя, известно курьезное чувство сухости под водой, когда не хочется вылезать из воды, чтобы не намочиться. Объясните парадокс.

○ **152. Почему испаряется жидкость?**

Один из основных законов термодинамики гласит: переход теплоты сам собой совершается только от более нагретого тела к менее нагретому. Поэтому из открытого сосуда с водой, имеющего температуру окружающего воздуха, испарение жидкости, требующее затраты некоторого количества теплоты и, следовательно, перехода его от воздуха к воде, не должно было бы происходить. Между тем известно, что при этих условиях вода все-таки испаряется. Как объяснить этот парадокс?

○ **153. Кипение достигается охлаждением.**

Чтобы жидкость кипела, необходимо довести ее температуру до точки кипения и сообщать ей теплоту парообразования.

Известен опыт: треть объема круглодонной колбы заполняют водой и доводят воду до кипения. Воду кипятят некоторое время. Затем закрывают колбу пробкой и переворачивают (рис. 80). Если теперь лить на колбу холодную воду, то вода в колбе снова закипает. Каждая новая порция холодной воды вызывает бурное закипание жидкости в колбе. Как объяснить этот парадокс: не теплота, а холод вызывают кипение жидкости?

○ **154. Бумага не горит.**

Известно, что бумага горит хорошо. А вот в бумажном стакане можно вскипятить воду, если внести его в пламя горящего примуса! Объясните парадокс.

○ **155. Почему изменились уровни?**

Два теплонепроницаемых сосуда наполнены жидкостью и соединены так, как показано на рисунке 81. Воздух из сосудов откачан, и над поверхностью жидкости находится ее насыщающий пар. Так как температура жидкости и пара в обоих сосудах одинакова (пар находится в термодинамическом равновесии со своей жидкостью), то должно быть одинаковым и давление пара над уровнями  $AA_1$  и  $BB_1$ . Таким образом, как будто нет условий

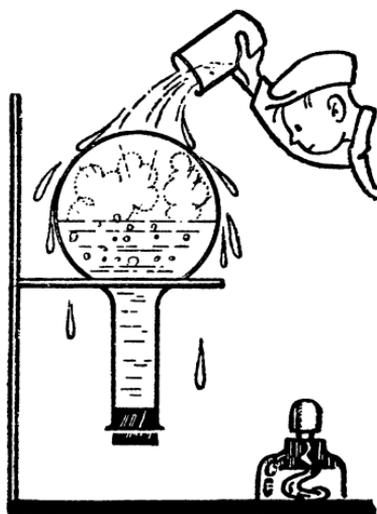


Рис. 80.

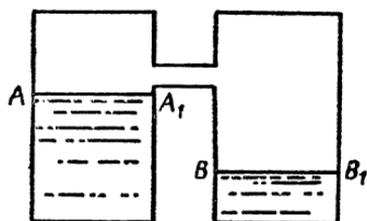


Рис. 81.

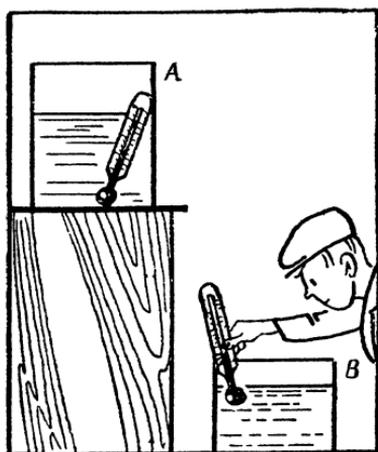


Рис. 82.

для испарения жидкости в одном сосуде и конденсации пара в другом. Однако через некоторое время уровни жидкостей в обоих сосудах становятся одинаковыми. Как объяснить парадокс?

○ 156\*. **Применим ли второй принцип термодинамики?**

В замкнутом пространстве помещены один выше другого два открытых сосуда *A* и *B* с одной и той же жидкостью (рис. 82). Если температуры жидкостей в начальный момент одинаковы, то вследствие испарения жидкости в верхнем сосуде *A* и конденсации паров в нижнем *B* жидкость в сосуде *B* будет нагреваться, а в сосуде *A* охлаждаться. Противоречит ли это второму началу термодинамики?

● 157. **Сжимать или охлаждать?**

Если понижать температуру ненасыщающего пара (а при этом будет уменьшаться давление), то можно его превратить в насыщающий, а затем и в жидкость.

Если уменьшать объем ненасыщающего пара (увеличивать давление), то его можно также превратить в насыщающий. Получается противоречие: с одной стороны, к насыщению и сжижению приводит повышение давления, с другой — понижение его. Как разрешить это противоречие?

○ 158. **Сухой и сырой воздух.**

Сырой воздух содержит больший процент молекул воды, чем сухой. Поэтому, казалось, сырой воздух должен иметь большую плотность, чем сухой.

Однако при увеличении абсолютной влажности перед дождем барометр «падает», показывая уменьшение давления, связанное

с уменьшением плотности воздуха. Как объяснить этот парадокс?

○ 159. Кто прав?

Ученик сказал в классе, что он измерил давление с помощью термометра. Товарищи поправили его, сказав, что термометром измеряют только температуру. Но ученик утверждал, что измерил давление! Прав ли он был?

○ 160. Где обмерзает стена?

Чем ниже температура, тем большее количество воды должно выпасть в виде росы (или изморози) из каждого кубического метра воздуха (при прочих равных условиях).

Температура воздуха зимой на улице ниже, чем в комнате. Однако в некоторых старых домах стены обмерзают со стороны комнаты, а не с улицы. Как объяснить этот парадокс?

○ 161. Почему не обмерзает трещина?

Если стекло имеет трещину, то зимой непосредственно около трещины оно не обмерзает, хотя вся остальная поверхность стекла обмерзает. Объясните парадокс.

### 13. ТЕПЛОВЫЕ МАШИНЫ

○ 162. Почему не плавится топка котла?

Почему не плавится топка парового котла, хотя температура в ней во время сгорания топлива выше, чем точка плавления металла, из которого она сделана?

○ 163. Как быстрее остановить автомобиль?

Каким способом шофер может быстрее остановить автомобиль?

Решение. Ответ неискушенного в шоферском искусстве человека гласит: надо сильнее нажать на тормоз. Но опыт показывает, что автомашина быстрее останавливается, если тормозить, не выключая двигателя, не отключая его (с помощью коробки скоростей) от ведущих колес. А при спуске с горы или на скользкой дороге выключать двигатель просто запрещается.

Тогда возникает противоречие опыта с «теорией». Ведь когда машина движется при включенном двигателе, тормозам придется не только прилагать силу, чтобы создать замедленное движение, но еще и противодействовать силе тяги двигателя. Как разрешить этот парадокс?

● 164\*. Вечный двигатель второго рода.

Путем теплообмена нельзя увеличить внутреннюю энергию горячего газа за счет уменьшения внутренней энергии холодного газа — в этом смысл второго начала термодинамики.

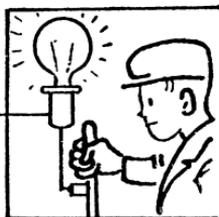
Но если дать возможность холодному газу расширяться, можно поднять какой-нибудь груз. После этого потенциальную энергию поднятого груза можно использовать для увеличения внут-

ренной энергии горячего газа (например, посредством его адиабатического сжатия). Выходит, все же можно передать часть внутренней энергии холодного газа горячему. В чем ошибка рассуждений?

● **165. Равна ли нулю работа газа?**

Если снова привести систему, описанную в задаче № 134, к температуре  $0^{\circ}\text{C}$ , то сосуд  $C$  при этом нагреется на  $t^{\circ}$ , а сосуд  $B$  охладится тоже на  $t^{\circ}$  и поршень передвинется в обратном направлении на величину, равную прежнему перемещению, т. е. придет в прежнее положение.

Теперь система находится в исходном состоянии. Следовательно, работа перемещения поршня равна нулю! Но ведь это не так. В чем ошибка рассуждений?



## 14. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

### ○ 166. Как взаимодействуют заряженные шары?

Два одноименно заряженных металлических шара на некотором небольшом расстоянии друг от друга взаимодействуют с меньшей силой, чем при разноименных зарядах. Нет ли здесь противоречия с законом Кулона?

### ○ 167. Притягиваются ли одноименные заряды?

Известен закон электростатики: два одноименно заряженных тела отталкиваются друг от друга. Если же взять два металлических шара, зарядить их одноименными зарядами, причем заряд одного из них много больше другого, то на небольшом расстоянии друг от друга они будут притягиваться. Как разрешить этот парадокс?

### ○ 168. «Нарушение» закона Кулона.

Если к заряженному шару поднести металлический проводник, то вследствие индукции на проводнике возникнут два заряда — ближе к шару заряд противоположного знака, дальше заряд того же знака, что и заряд шара. В результате возникнет сила притяжения проводника к шару.

Отрицательно заряженный шар  $A$  поместили вблизи металлического шара  $B$  (рис. 83). Однако шары не притянулись друг к другу. Как объяснить парадокс?

### ○ 169. Шары ведут себя по-разному.

Положительно заряженный шар, помещенный в любое из электрических полей, изображенных на рисунке 84, будет двигаться вправо.

Незаряженный шар в поле  $A$  будет двигаться вправо, в поле  $B$  будет неподвижен, в поле  $C$  — двигаться влево. Объясните парадокс.

### ● 170. В каком месте надо заземлять проводник?

Если в поле положительно заряженного проводника  $A$  находится изолированный проводник  $B$ , то на нем индуцируются заряды так, как это показано на рисунке 85. Если в точке  $K$  заземлить проводник, то он заряжается отрицательно, так как положительные заряды «уходят» в землю. Поэтому следует ожи-

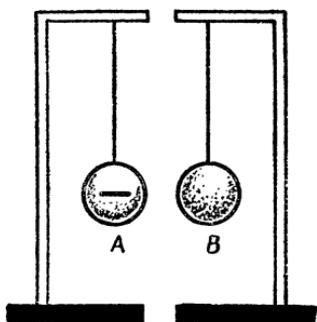


Рис. 83.

дать, что если заземлить проводник в точке  $C$ , то электроны уйдут в землю и проводник зарядится положительным зарядом. Опыт, однако, опровергает этот вывод. В обоих случаях проводник заряжается отрицательным зарядом. В чем ошибка рассуждений?

○ 171. Как стекает заряд?

Отрицательно заряженный шар  $A$  индуцировал заряды на незаряженном проводнике  $BC$  (рис. 86). Если после этого заземлить конец  $B$ , то отрицательные заряды на конце  $C$  исчезнут.

Но ведь не могли же электроны стекать в землю, приближаясь к отрицательно заряженному шару  $A$ , т. е. двигаясь против сил электрического поля. Как объяснить этот парадокс?

● 172. Можно ли индуцировать одноименные заряды?

Пусть к вертикально стоящему тонкому стержню поднесен сверху положительный заряд  $A$  (рис. 87). Тогда на верхнем конце будет индуцирован отрицательный заряд  $-q$ , а на нижнем — положительный  $+q$ . Если заряд  $A$  поднести снизу к стержню, то будет иметь место противоположное распределение зарядов.

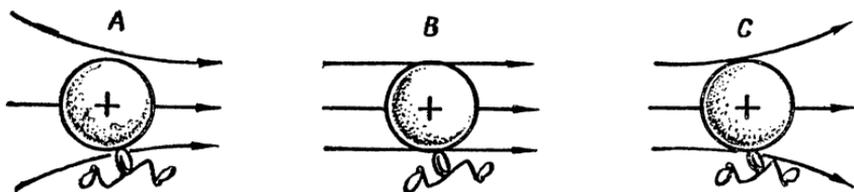


Рис. 84.

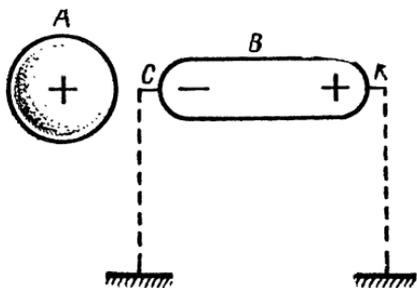


Рис. 85.

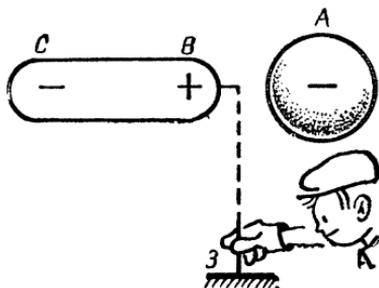


Рис. 86.

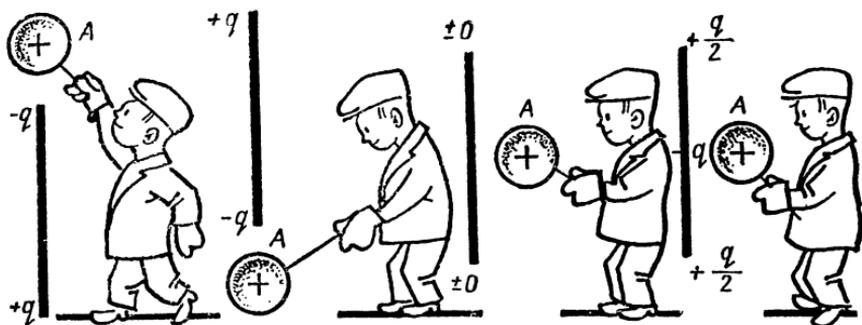


Рис. 87.

Но для того чтобы положительный заряд на конце стержня обратился в отрицательный или наоборот, необходимо, чтобы он перешел через нуль. Поэтому, когда заряд  $A$ , двигаясь от верхнего конца стержня к нижнему, находится против его середины, заряд стержня должен быть равен нулю.

С другой стороны, закон электростатической индукции и опыт подтверждают, что в этом случае середина стержня заряжается отрицательно, а концы его — положительно. В чем ошибка рассуждений?

○ 173. Вопреки Фарадею.

Фарадей экспериментально доказал, что на внутренней поверхности заряженного полого металлического проводника заряды отсутствуют.

Если внутри полого заряженного отрицательно металлического шара  $A$ , имеющего небольшое отверстие  $C$  (рис. 88), ввести проволоку, соединенную с другим металлическим шаром  $B$ , то этот шар зарядится также отрицательно. Нет ли здесь противоречия с опытом Фарадея?

○ 174. Как зарядится шар?

К незаряженному изолированному шару подносят заряженную эбонитовую палочку и касаются ею шара. Шар получает отрицательный заряд.

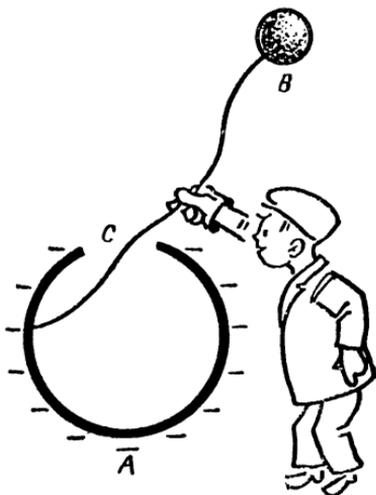


Рис. 88.

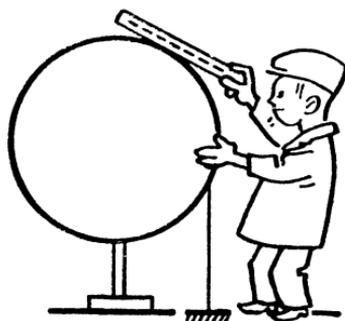


Рис. 89.

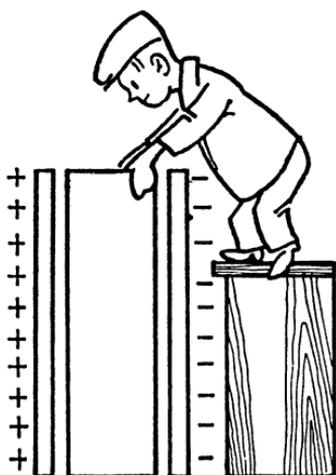


Рис. 90.

Пластины заряженного конденсатора притягиваются с силой  $F$ . Между его пластинами помещают пластину из диэлектрика (рис. 90). Сила взаимодействия остается равной  $F$ . Но ведь она должна была уменьшиться в  $\epsilon$  раз! В чем ошибка рассуждений?

● 176. Силовые линии или эквипотенциальные поверхности?

На рисунке 91 изображен «султан» для опытов по электростатике. При заряджении «султана» бумажные ленты располагаются по радиальным линиям. Таким образом, их расположение соответствует силовым линиям поля точечного заряда  $A$ .

С другой стороны, бумажные ленты можно рассматривать как проводники, а их поверхности как эквипотенциальные поверхности.

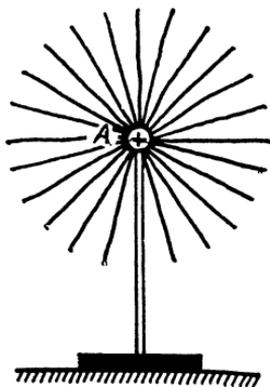


Рис. 91.

Если повторить опыт, но еще и прикоснуться к шару рукой — заземлить его (рис. 89), то после того, как убрать заземление, а затем и палочку, следует ожидать, что сообщенный шару отрицательный заряд уйдет в землю и шар не будет заряженным. Некоторые учащиеся считают, что так как эбонитовую палочку убирали после отключения земли, то на шаре останется некоторый отрицательный заряд.

Опыт показывает, что шар в этом случае заряжается положительным зарядом. Объясните парадокс.

● 175. Всегда ли применим закон Кулона?

Если между двумя точечными зарядами находится диэлектрик, то сила взаимодействия между ними уменьшается в  $\epsilon$  раз.

Выходит, что эквипотенциальные поверхности и силовые линии совпадают. Но ведь они должны быть взаимно перпендикулярны. Как разрешить это кажущееся противоречие?

● 177. Почему внутри проводника нет зарядов?

Представим себе наэлектризованный сплошной проводник (в частности, шар). Электрические заряды могут находиться в равновесии не только на поверхности проводника, но и внутри него (например, в центре однородно наэлектризованного шара). В случае неоднородно наэлектризованного сплош-

ного проводника заряды могут находиться в равновесии в целом ряде точек внутри него. Таким образом, известное положение теории и опыта о том, что статические заряды располагаются только на поверхности проводника, оказывается «неверным». В чем ошибка рассуждений?

● 178. Электрофор—вечный двигатель?

Одним и тем же зарядом, помещенным на изолированном проводнике, можно через влияние наэлектризовать бесчисленное количество проводников. Образованные заряды можно использовать для получения электрического тока, например, при замыкании их «на землю». Таким образом, из «ничего» без затраты энергии можно получить энергию электрического тока. В чем ошибка такого рассуждения?

○ 179. Может ли между разноименно заряженными проводниками не быть напряжения?

Один ученик утверждал, что всегда между проводниками, заряженными противоположными зарядами, имеется разность потенциалов. Другой ученик привел пример, опровергающий утверждение первого ученика. Кто же из них прав?

○ 180. Поле внутри проводника.

Поле внутри проводника отсутствует, значит, внутренние части проводника соответствуют бесконечно удаленным точкам. Однако если в поле внести два проводника, изолированных друг от друга, то, хотя поля внутри них и отсутствуют, потенциалы их не будут одинаковы. Какой же из потенциалов соответствует потенциалу бесконечно удаленной точки? Нет ли здесь противоречия?

○ 181. Что больше: 1 вольт или 1000 вольт?

Под действием электрического поля положительные заряды переходят с проводника, имеющего больший потенциал, на проводник, имеющий меньший потенциал.

Если металлический шарик, заряженный до потенциала  $+1$  в, внести внутрь сферической проводящей поверхности (рис. 92), заряженной до потенциала  $+1000$  в, и коснуться им этой поверхности,

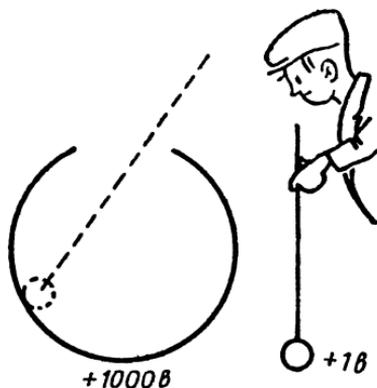


Рис. 92.

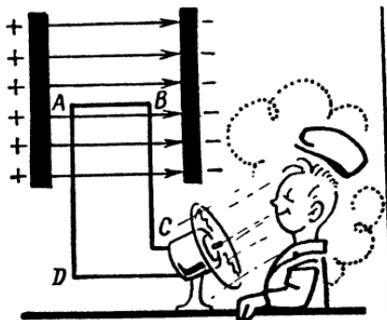


Рис. 93.

то заряды переходят с шарика на проводник. Но это противоречит ранее высказанному теоретическому положению. Как объяснить этот парадокс?

● 182. **Электростатический вечный двигатель.**

Между пластинами заряженного конденсатора располагают замкнутый проводник  $ABCD$  так, как показано на рисунке 93. Так как поле конденсатора сосредоточено между его обкладками, то на участке  $AB$  оно будет перемещать заряды и создавать ток от  $A$  к  $B$ , на других участках поле тока не создает. Следовательно, в цепи  $ABCD$  будет непрерывно поддерживаться ток указанного направления. В чем ошибка проекта?

○ 183. **Появляется ли энергия из ничего?**

Электрон ускоряется в электрическом поле плоского конденсатора. Следовательно, он приобретает кинетическую энергию.

Но если конденсатор изолирован, то его энергия ( $W = \frac{q^2}{2C}$ ) не изменяется. Откуда же взялась энергия у электрона?

● 184. **Куда «исчезла» энергия?**

Всякое однородное электрическое поле в вакууме обладает энергией  $W = \frac{E^2}{8\pi} V$ , где  $E$  — напряженность поля,  $V$  — объем.

Пусть суммарное поле состоит из двух взаимно уничтожающихся полей. Тогда каждое из них будет обладать некоторой положительной энергией. А все поле обладает суммой этих энергий.

С другой стороны, так как общая напряженность поля равна нулю (принцип суперпозиции), то равна нулю и его энергия. Как разрешить это противоречие?

○ 185. **Молния и батарея карманного фонарика.**

Шаровое облако радиусом 600 м заряжено до потенциала  $3 \cdot 10^6$  в. Считая, что в образовании молнии участвует лишь заряд, сосредоточенный на поверхности этого «проводника», можно оценить его величину:

$$q = C\varphi = 6 \cdot 10^4 \text{ см} \cdot \frac{1}{300} \cdot 3 \cdot 10^6 \text{ эл.-ст. ед.} = 6 \cdot 10^8 \text{ эл.-ст. ед.} = 0,2 \text{ к.}$$

Через поперечное сечение нити электрической лампы от карманного фонаря за 1 сек проходит заряд 0,28 к.

Почему же разряд молнии на землю, длящийся 0,2 сек, может произвести разрушение дерева, здания, причинить смерть человеку, а движение того же заряда в лампе протекает так мирно?

○ 186. **Как преобразовалась энергия?**

Воздушный конденсатор заряжается до некоторого потенциала и в заряженном состоянии заливается керосином, отчего энергия конденсатора уменьшается в  $\epsilon$  раз. Но ведь энергия бесследно исчезнуть не может! В какой вид она превращается?

● 187. Еще один электростатический вечный двигатель.

Как известно, сила взаимодействия между двумя электрическими зарядами меньше в воде, чем в воздухе. Казалось бы, этим можно воспользоваться для создания вечного двигателя следующим образом: взяв два разноименных заряда и сблизив их в воздухе, одновременно опустить в воду, раздвинуть под водой, затем одновременно поднять в воздух и далее повторять весь процесс сначала. При этом энергия, полученная при сближении, больше той, которая затрачивается при раздвигании, так как сила электрического взаимодействия в воздухе больше, чем в воде. В чем ошибка проекта?

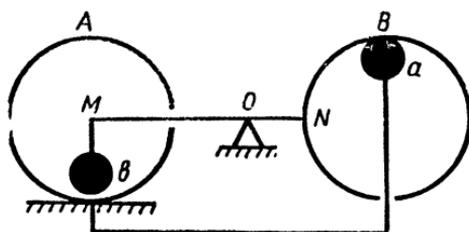


Рис. 94.

● 188. Третий электростатический вечный двигатель.

Предложен следующий проект вечного двигателя. Полая металлическая сфера *A* закреплена, а другая такая же сфера *B* помещена на конце рычага *MN* (рис. 94). Металлические шарики *a* и *b* соединены проводниками соответственно со сферами *A* и *B*. В начальный момент шарик *a* касается сферы *B*, а шарик *b* находится на небольшом расстоянии от внутренней поверхности сферы *A*. При сообщении сфере *B* заряда он стекает на шарик *b*. Этот шарик притягивается к сфере *A* и передает ей свой заряд, который перемещается на шарик *a*, отсоединенный к этому времени от сферы *B* вследствие поворота рычага *MN* вокруг точки *O*. Затем шарик *a* притянет сферу *B* и передаст ей свой заряд и т. д. В результате рычаг *MN* будет совершать колебания. Почему в действительности этого не произойдет? В чем ошибка проекта?

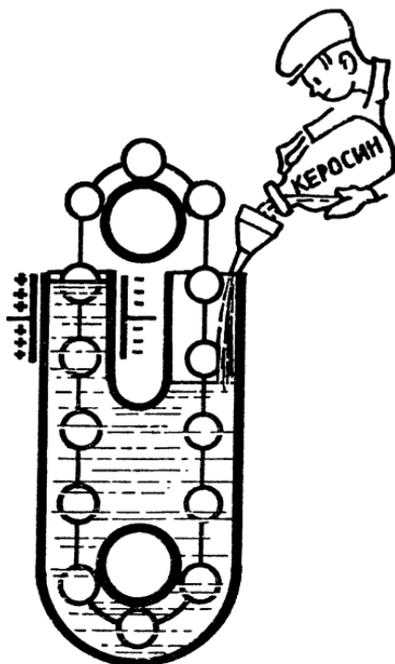


Рис. 95.

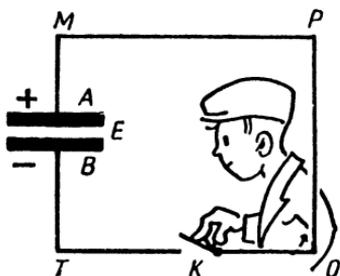


Рис. 96.

### ● 189. Комбинированный вечный двигатель.

Предложен следующий проект вечного двигателя.

В сообщающиеся сосуды налит керосин. Одно колено сосуда помещается в сильное электростатическое поле между обкладками конденсатора, за счет чего уровень керосина в этом колене оказывается выше, чем в другом. Через два блока перекинута цепочка из шариков, удельный вес материала которых меньше удельного веса керосина (рис. 95). Поскольку в левом колене больше шариков погружено в керосин, цепочка, по мысли изобретателя, должна начать вращаться. В чем ошибка проекта?

Через два блока перекинута це-

почка из шариков, удельный вес материала которых меньше удельного веса керосина (рис. 95). Поскольку в левом колене больше шариков погружено в керосин, цепочка, по мысли изобретателя, должна начать вращаться. В чем ошибка проекта?

### ● 190. Конденсатор не должен разряжаться.

Рассмотрим заряженный плоский конденсатор (рис. 96). Положительные заряды одной пластины «удерживают» отрицательные заряды другой.

Если соединить пластины проводником  $AMPOTB$ , то электроны с отрицательно заряженной пластины по этому проводнику стекают на положительно заряженную (в цепи идет ток).

Но электроны не должны были уйти с отрицательно заряженной пластины. Ведь их в ближайшем направлении  $BEA$  притягивали к себе положительные заряды другой пластины. А они все же ушли по «дальному пути», и конденсатор разрядился. Как разрешить это противоречие?

### ● 191. Конденсаторный вечный двигатель.

Через отверстие в одной из пластин плоского конденсатора (рис. 97) влетает электрон. Двигаясь ускоренно между обкладками конденсатора, электрон вылетает через отверстие в другой пластине. Затем магнитное поле, силовые линии которого перпендикулярны плоскости движения электрона, искривляет его траекторию и возвращает электрон снова к отверстию в первой пластине. Таким образом, не расходуя больше энергии, чем один раз (при зарядке аккумулятора), можно, казалось бы, получить сколь угодно большую энергию у электрона, т. е. получился проект вечного двигателя. В чем ошибка рассуждений?

Через отверстие в одной из пластин плоского конденсатора (рис. 97) влетает электрон. Двигаясь ускоренно между обкладками конденсатора, электрон вылетает через отверстие в другой пластине. Затем магнитное поле, силовые линии которого перпендикулярны плоскости движения электрона, искривляет его траекторию и возвращает электрон снова к отверстию в первой пластине. Таким образом, не расходуя больше энергии, чем один раз (при зарядке аккумулятора), можно, казалось бы, получить сколь угодно большую энергию у электрона, т. е. получился проект вечного двигателя. В чем ошибка рассуждений?

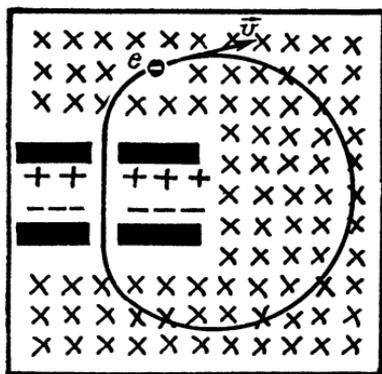


Рис. 97.

## 15. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

○ 192. Почему неподвижен проводник?

Электрический ток в металлических проводниках представляет собой направленное движение свободных электронов. При своем движении электроны сталкиваются с ионами, из которых построена кристаллическая решетка металла, и отдают при этом ионам все то количество движения, которое они приобрели до соударения. Почему же металлический проводник, по которому идет ток, не испытывает действия механических сил в направлении движения электронов?

● 193. Нужен ли трансатлантический кабель?

Сопротивление проводника электрическому току обратно пропорционально площади его поперечного сечения. Поэтому, погрузив электроды батареи в море, мы должны получить ничтожное сопротивление, так как «проводник» в этом случае имеет громадную площадь поперечного сечения.

Таким образом, прокладка сложного и дорогостоящего трансатлантического подводного теле-

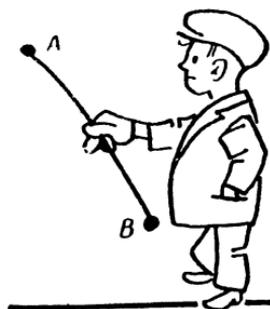


Рис. 98.

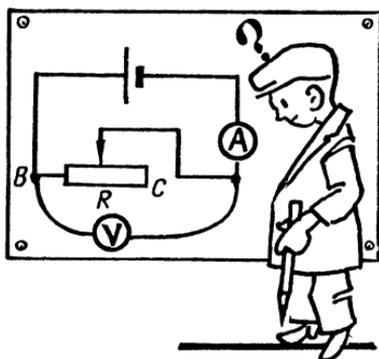


Рис. 99.

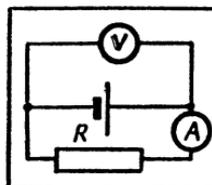


Рис. 100.

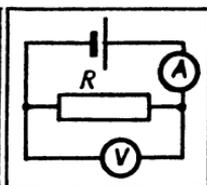


Рис. 101.

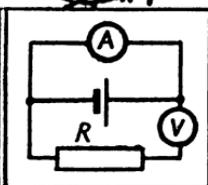


Рис. 102.

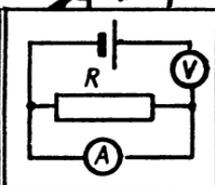


Рис. 103.

графного кабеля в сущности излишня. В чем ошибочность такого заключения?

● **194. Нарушен ли закон Ома?**

Если две точки проводника имеют постоянную разность потенциалов, то по проводнику идет постоянный ток (закон Ома для участка цепи).

В электрическом поле потенциал точки  $A$  выше потенциала точки  $B$  (рис. 98). Однако, если поместить в это поле проводник  $AB$ , то постоянный ток по нему идти не будет. Как разрешить это противоречие?

● **195. Как формулируется закон Ома для участка цепи?**

Ученик сказал, обращаясь к учителю: «Я выполнял работу по проверке закона Ома для участка цепи и собрал цепь по следующей схеме (рис. 99).

При уменьшении сопротивления  $BC$  амперметр показывал увеличение тока, а вольтметр стал показывать уменьшение напряжения. Но ведь по закону Ома величина тока прямо пропорциональна (а не обратно пропорциональна) напряжению. Как решить возникшее у меня противоречие «теории» с опытом?»

Учитель ответил: «Вы неточно формулируете закон Ома для участка цепи, и опыт поставлен так, что вы не можете получить желаемый результат». Какие ошибки допустил ученик?

○ **196. Когда показания амперметра правильны?**

Один ученик утверждал, что если сопротивление амперметра сделать даже очень большим, то прибор все равно будет правильно показывать ток, текущий в цепи. Другой ученик утверждал, что показания амперметра правильны только в том случае, если его внутреннее сопротивление мало. Кто же из них прав?

○ **197. В чем особенности схемы?**

Если пренебречь сопротивлением амперметра и проводов, то вольтметры и амперметры в электрических цепях, изображенных на рисунках 100 и 101, имеют соответственно одинаковые показания. Если поменять местами амперметр и вольтметр в каждой из схем (рис. 102 и 103), то в первом случае амперметр будет испорчен, а во втором нет. Как объяснить этот парадокс?

○ **198. Всегда ли электрический ток поражает человека?**

Когда дуга трамвайного вагона замыкает цепь, то по верхнему проводу и по рельсу идет одинаковый ток. Если, стоя на земле, коснуться проволоки, соединенной с верхним проводом, то человек будет поражен током, в то время как прикосновение к рельсу безопасно. Как объяснить этот парадокс?

○ **199. Почему идет электрический ток?**

Ток течет от большего потенциала к меньшему. Почему же в конце концов потенциалы в разных точках цепи не выравниваются?

● **200. Какой ответ правильный?**

Пусть имеется электрическая цепь, составленная из двух

одинаковых элементов (рис. 104). Требуется определить напряжение на зажимах батареи  $A$  и  $B$ .

Решение. Так как ток в цепи отсутствует, а сопротивление не равно нулю, то согласно закону Ома для участка цепи напряжение  $IR=0$ . Следовательно,  $U_{AB}=IR=0$ .

Но, с другой стороны, согласно закону Ома для полной цепи

$$IR=E-Ir=E.$$

Какой из ответов правильный?

● 201. Будет ли ток?

Если в цепи  $ABCD$  (рис. 105) действуют две равные и противоположные э. д. с., то тока в ней не будет. Точно так же можно считать, что если нет тока в главной цепи  $ABCD$ , то нет его и в ответвлении  $BED$ .

Но, с другой стороны, схема, изображенная на рисунке, является схемой параллельного соединения гальванических элементов, применяемого на практике. В чем ошибочность рассуждений?

● 202. Чему же равно напряжение?

Электрическая цепь собрана по схеме, изображенной на рисунке 106. Э. д. с. каждого элемента равна  $E$ . Так как они включены последовательно, то напряжение на зажимах батареи должно быть равно  $2E$ . Однако вольтметр, присоединенный к точкам  $A$  и  $B$ , показывает нуль. В чем ошибка рассуждений?

○ 203. Максимальный ток аккумулятора.

На одном из свинцовых аккумуляторов имеется надпись, сделанная на заводе: «Максимальный ток разряда —  $4\text{ а}$ ».

Когда было измерено внутреннее сопротивление аккумулятора, то оно оказалось равным  $0,12\text{ ом}$ . Учитывая, что свинцовый аккумулятор

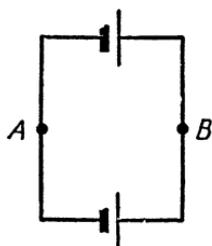


Рис. 104.

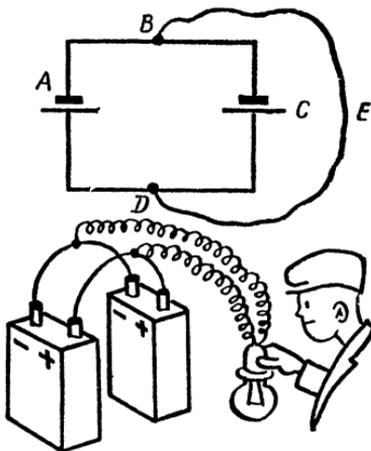


Рис. 105.

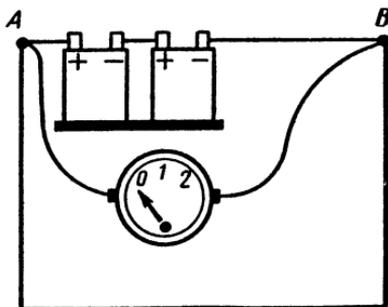


Рис. 106.

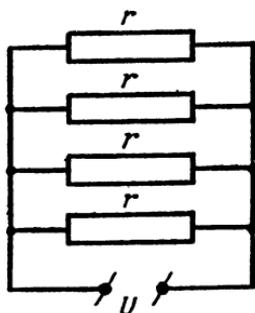


Рис. 107.

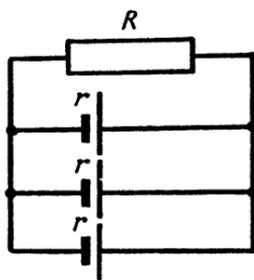


Рис. 108.

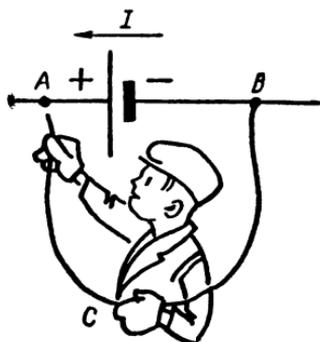


Рис 109.

имеет э. д. с., равную 2 в, получаем согласно закону Ома (при замыкании полюсов аккумуляторов проводом, имеющим очень малое сопротивление) максимальный ток, равный 15—17 а. Нет ли здесь противоречия?

● 204. Ток короткого замыкания.

При коротком замыкании напряжение на зажимах гальванического элемента  $U$  равно нулю, а ток во внешней цепи  $I_0$  огромный. Как же это может быть, если  $I_0 = \frac{U}{R}$ ? В чем ошибка условия задачи?

● 205. Эквивалентны ли схемы?

Даны две схемы. В одной (рис. 107) надо определить общее сопротивление участка цепи, на который подано напряжение  $U$ . В другой (рис. 108), состоящей из трех элементов с внутренним сопротивлением  $r$  и внешним  $R$ , надо определить общее сопротивление цепи.

Решение. Обе цепи можно считать эквивалентными друг другу. Поэтому  $\frac{1}{R_{\text{общ}}} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \frac{1}{R}$ .

Следовательно,  $R_{\text{общ}} = \frac{rR}{r + 3R}$ .

С другой стороны, рассматривая схему (рис. 108) как батарею параллельно соединенных элементов, включенных на сопротивление  $R$ , следует считать, что  $R_{\text{общ}} = R + \frac{r}{3}$ . Какое же из решений правильно?

● 206. Как будет направлен ток?

На некотором участке цепи  $AB$  ток шел так, как указано на рисунке 109. Как будет направлен ток, если точки  $A$  и  $B$  соединить проводником  $ACB$ ?

Решение. Поскольку ток всегда направлен «от плюса к минусу», а плюс находится со стороны  $A$ , то в присоединенном проводнике ток пойдет в направлении  $ACB$ .

С другой стороны, так как на участке  $AB$  ток был направлен от  $B$  к  $A$ , то после присоединения проводника  $ACB$  в точке  $B$  ток разветвляется и пойдет по нижнему проводу в направлении  $BCA$ . Как разрешить противоречие?

○ 207. Что это за генератор?

При последовательном включении генераторов электрического тока (аккумуляторов, гальванических элементов и т. п.) увеличивается э. д. с. батареи, при параллельном — уменьшается ее внутреннее сопротивление. В обоих случаях должен увеличиваться ток, который дает батарея.

В цепи генератора  $E_1$  протекал ток  $I$ . К нему присоединяли другой генератор  $E_2$  один раз последовательно, другой — параллельно, но в обоих случаях от такой батареи получали меньший ток, чем от одного генератора  $E_1$ . Как объяснить противоречие?

○ 208. Феноменальный случай.

Электрический ток во внешней цепи  $I$  (рис. 110), вообще говоря, зависит от э. д. с. каждого генератора ( $E_1$  и  $E_2$ ), его внутреннего сопротивления ( $r_1$  и  $r_2$ ). Значит, он будет зависеть от сопротивления реостата  $r$ , который увеличивает внутреннее сопротивление генератора  $E_2$ .

Однако можно собрать электрическую цепь в соответствии с указанной схемой, чтобы ток  $I$  не зависел от сопротивления реостата. Нет ли здесь противоречия?

● 209. Прав ли Жюль Верн?

Батарея аккумуляторов, имеющая э. д. с.  $E$ , замкнута на несколько одинаковых банок с подкисленной водой, соединенных последовательно. Если батарею разряжают, пропуская ток через одну банку, то при сжигании выделившегося при электролизе гремучего газа получается 35% энергии, затраченной на зарядку аккумуляторов. При увеличении числа банок заряд, проходящий через каждую банку, а следовательно, и количество выделяющегося в ней гремучего газа, в силу закона Фарадея не изменится. Общее количество выделившегося гремучего газа во всех банках может быть сделано как угодно большим, если взять достаточное количество банок. Сжигая этот газ, можно получить энергию, превосходящую затраченную на зарядку аккумуляторов в какое угодно число раз. Подобная идея описана Ж. Верном в романе «20 тысяч лье под водой». Но она находится в противоречии с законом сохранения энергии. В чем ошибка рассуждений?

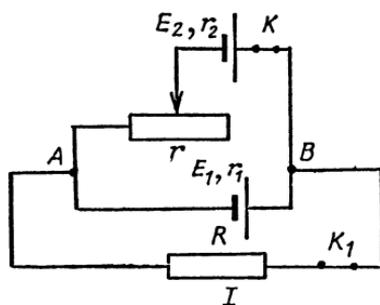


Рис. 110.

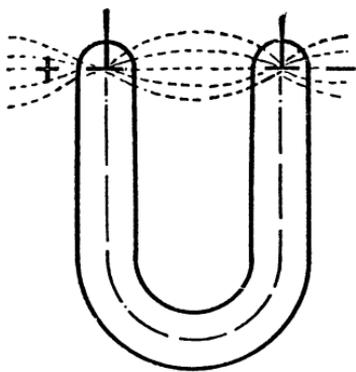


Рис. 111.

○ 210. Как движется электрон?

В изогнутой трубке с высоким вакуумом (рис. 111) электроны летят от катода к аноду по траекториям, изогнутым по форме трубки. Однако силовые линии при отсутствии тока в трубке направлены так, как показано пунктирными линиями на рисунке. Нет ли здесь противоречия?

○ 211. В одном направлении или в противоположных направлениях?

Если нагревать один из концов (например, левый) двух полупроводников различного типа проводимости (рис. 112), то наблюдается

движение электронов (в первом случае) и дырок (во втором случае) от нагреваемого конца (справа налево). Но движение дырок справа налево соответствует движению электронов слева направо. Как объяснить это парадоксальное движение электронов в противоположных направлениях по отношению к месту нагревания полупроводника?

○ 212. Как надо формулировать закон Джоуля — Ленца?

Согласно выражению  $Q = I^2 R t$  количество тепла, выделяющегося в 1 сек в проводнике, пропорционально сопротивлению проводника; согласно выражению  $Q = I U t$  оно не зависит от сопротивления, согласно выражению  $Q = \frac{U^2}{R} t$  оно обратно пропорционально сопротивлению проводника. Как объяснить это кажущееся противоречие?

○ 213. Почему не нагреваются провода?

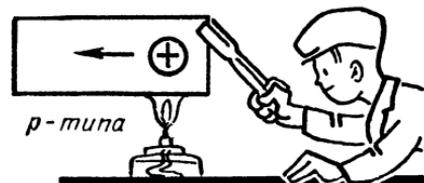
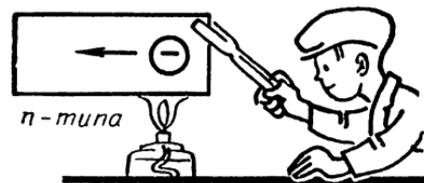


Рис. 112.

Как объяснить парадокс: при прохождении тока через провода и нить электрической лампы последняя накаляется добела, в то время как провода почти не нагреваются? Между тем величина тока в проводе и в нити лампы одинаковая, а сопротивление провода (при определенной длине) может быть такого же порядка, что и сопротивление нити.

○ 214. Как включить спирали?

Известен опытный факт (его можно объяснить теоретически): для получения большего количества теплоты от го-

родской электросети надо спирали двух плиток включать параллельно, а не последовательно.

Решим следующую задачу:

Имеется батарея, состоящая из пяти последовательно включенных элементов с э. д. с. в  $2\text{ в}$  и внутренним сопротивлением  $1,2\text{ ом}$  каждый. Как надо присоединить к ней две спирали сопротивлением по  $4\text{ ом}$  каждая, чтобы получить в них наибольшее количество теплоты?

Решение. Возможны два варианта включения спиралей: последовательное и параллельное. В первом случае получаем ток

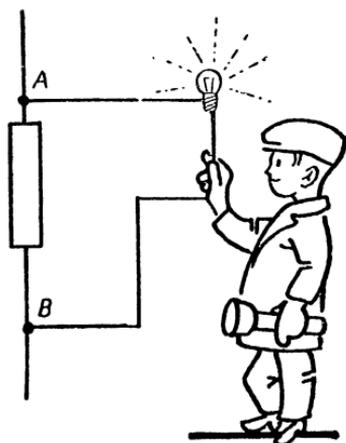


Рис. 113.

$$I_1 = \frac{nE}{nr + 2R} = \frac{10\text{ в}}{6\text{ ом} + 8\text{ ом}} = \frac{10}{14} \text{ а} = \frac{5}{7} \text{ а}.$$

Мощность во внешней цепи

$$P_1 = I^2 R_1 = \frac{25 \cdot 8}{49} \text{ вт} = 4\text{ вт}.$$

Во втором случае ток

$$I_2 = \frac{nE}{nr + \frac{R}{2}} = \frac{10\text{ в}}{6\text{ ом} + 2\text{ ом}} = \frac{10}{8} \text{ а} = \frac{5}{4} \text{ а}.$$

Мощность во внешней цепи

$$P_2 = I^2 R_2 = \frac{25 \cdot 2}{16} \text{ вт} = 3\text{ вт}.$$

Таким образом, при последовательном соединении спиралей во внешней цепи выделится большее количество теплоты. Как примирить этот вывод с положением, высказанным в начале задачи?

○ 215. Почему не перегорает лампа?

В цепи имеется участок  $AB$ , напряжение на котором составляет  $110\text{ в}$  (рис. 113). Если к нему присоединить лампу от карманного фонаря, рассчитанную на напряжение  $3,5\text{ в}$ , то она горит нормальным накалом и не перегорает. Но ведь если эту же лампу включить в городскую осветительную сеть с напряжением  $127\text{ в}$ , то она мгновенно перегорает. Как объяснить этот парадокс?

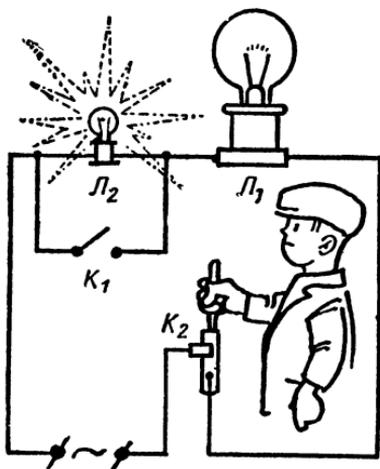


Рис. 114.

○ 216. Удивительный «характер» лампы.

На цоколях двух электрических ламп написано: 220 в и 96 вт, 3,5 в и 0,28 а. Лампы включены по схеме, изображенной на рисунке 114.

Если замкнуть ключ  $K_1$ , затем ключ  $K_2$ , а потом разомкнуть ключ  $K_1$ , то обе лампы горят (при этом  $L_2$  горит с небольшим перекалом). Если же замкнуть ключ  $K_2$  при разомкнутом ключе  $K_1$ , то лампа  $L_2$  перегорает.

Если в качестве  $L_1$  взята лампа на 220 в и 40 вт, то при любом порядке замыкания ключей  $L_2$  не перегорает. Объясните парадокс.

○ 217. Будет ли светиться лампа ярче?

В сеть с напряжением 550 в включены пять последовательно соединенных ламп, на каждой из которых написано 110 в, 25 вт. Если одну из них заменить лампой, на которой написано 110 в и 40 вт, то следует ожидать увеличения яркости горения этой лампы по сравнению с замененной, ибо номинальная мощность новой лампы больше, чем старой.

Однако опыт показывает, что новая лампа светит менее ярко, чем старая. Как объяснить этот парадокс?

○ 218. Почему не горели лампы?

Три лампы, на которых написано: 220 в — 60 вт, 220 в — 150 вт, 220 в — 150 вт, включены в городскую сеть, как показано на рисунке 115. При этом нижние две лампы не горят, а верхняя горит почти полным накалом. Если же одну из нижних вывернуть, то вторая загорается слабым накалом. Объясните парадокс.

## 16. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

● 219. Как взаимодействуют магнитные полюсы?

Одноименные магнитные полюсы отталкиваются. Почему же стрел-

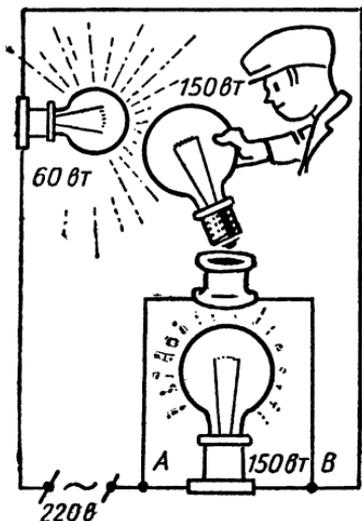


Рис. 115.

ка компаса своим северным полюсом показывает на север, а южным — на юг?

● 220. Произвольно большая работа.

Положим, что в сосуде со ртутью плавает большое число кусков железа. Если поднести к ним магнит, то эти куски станут магнитами. Возбужденные таким образом магнитные взаимодействия приведут куски железа в движение.

Таким образом, произвольно малым магнитом можно совершить произвольно большую работу. В чем ошибка рассуждений?

○ 221. Магниты те же, сила притяжения другая.

Две намагниченные стальные спицы расположены вертикально разноименными полюсами (рис. 116). Если снизу к ним поднести железную пластинку  $AB$ , то она притягивается магнитами с некоторой силой. Если сложить спицы вместе, то сила притяжения исчезает.

Если расположить спицы одноименными полюсами (рис. 117) и повторить опыт, то получаем обратный эффект: при разведенных спицах сила притяжения меньше, чем при сложенных. Объясните парадокс.

○ 222. Слабое поле сильнее действует!

Шарик из мягкого железа был сначала помещен в слабое магнитное поле, а затем — в сильное. При этом во втором случае на него действовала меньшая сила, чем в первом. Объясните парадокс.

○ 223. Правило параллелограмма не выполняется.

Шарик из мягкого железа находится вблизи двух магнитов (рис. 118). Если бы второго магнита не было, то первый действовал бы на шарик с силой  $F_1$ , а если бы не было первого магнита, то второй действовал бы на шарик с силой  $F_2$ . При совместном дей-

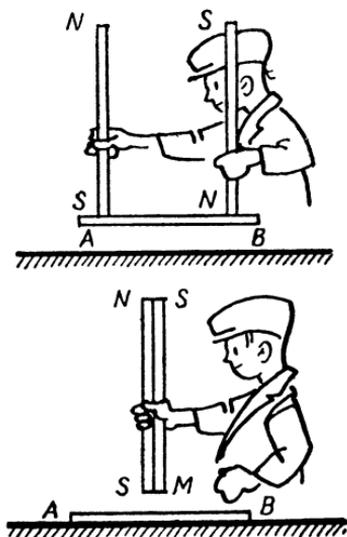


Рис. 116.

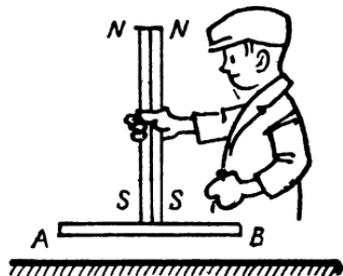
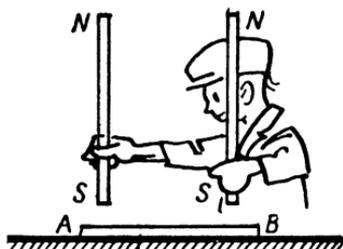


Рис. 117.

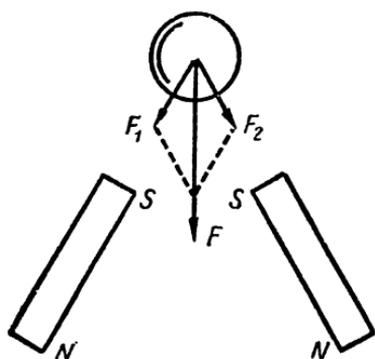


Рис. 118.

магнитный полюс обратно пропорциональна расстоянию полюса от тока. Принимая действие тока на первый полюс за единицу, получим:

$$F = \frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \dots \text{ единиц силы.}$$

Обозначим действие тока на четные полюсы через  $F_1$ , а на нечетные через  $F_2$ , тогда

$$F_1 = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{6} + \dots \text{ единиц силы,}$$

$$F_2 = \frac{1}{1} + \frac{1}{3} + \frac{1}{5} + \dots \text{ единиц силы.}$$

$$\text{Но } F_1 = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots \right) = \frac{1}{2} F.$$

$$\text{Так как } F_1 + F_2 = F, \text{ то и } F_2 = F_1 = \frac{1}{2} F.$$

Полученный результат, очевидно, не верен, так как, сравнивая выражения для  $F_1$  и  $F_2$ , убеждаемся, что каждый член ряда  $F_2$  больше соответствующего члена ряда  $F_1$ . Поэтому  $F_2 > F_1$ . В чем ошибка решения?

● 225. Вечный двигатель лапутян.

Английский сатирик XVIII в. Джонатан Свифт в одном из путешествий Гулливера описывает, как тот, попав на летающий остров Лапутию, осмотрел механизм, позволяющий перемещаться этой стране-острову в пространстве в любом направлении, на любой высоте. Механизм находился в центре острова и состоял из большого магнита, закрепленного на алмазной оси. В зависимости от угла наклона магнита, взаимодействующего с магнитным полем Земли, и происходило перемещение Лапутии в том

ствии обоих магнитов сила  $F$  оказывается больше диагонали параллелограмма, построенного на силах  $F_1$  и  $F_2$ , как на сторонах. Объясните парадокс.

● 224. Сила действия бесконечного прямолинейного тока.

Вычислить силу действия бесконечного прямолинейного тока на бесконечный ряд одинаковых полюсов, удаленных от него на 1, 2, 3, ... единицы расстояния.

Решение. Сила действия бесконечного прямолинейного тока на

или ином направлении. Описание невероятного двигателя лапутян подобно вечному двигателю, послужило Свифту средством усиления его сатиры. В чем несостоятельность подобного проекта?

● 226. Вечный двигатель Д. Вилькенса.

В XVII в. английский епископ Джон Вилькенс предложил магнитный вечный двигатель. По мысли автора, металлический шарик *Ш*, притягиваемый магнитом *М* (рис. 119), будет подниматься вверх по наклонной плоскости *А*. Наверху он под действием силы тяжести проваливается в отверстие и катится вниз по специальному желобу *Б*. Спустившись вниз, он проскакивает отверстие *В* и закруглением *К* выбрасывается на наклонную плоскость *А*. Здесь под действием магнита он снова поднимается по наклонной плоскости *А* вверх, затем вновь, провалившись в отверстие, покатится вниз..., и так бесконечно. Однако двигатель не действовал. В чем ошибка проекта?

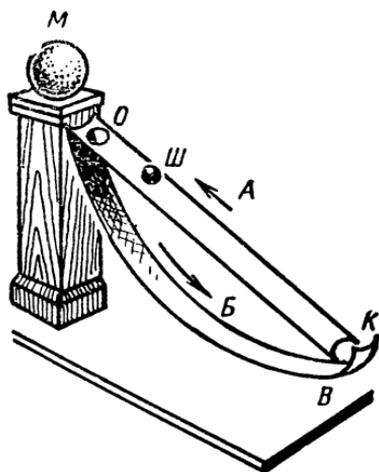


Рис. 119.

● 227. Электромагнитный вечный двигатель.

Если прибор Вилькенса снабдить электромагнитом и автоматическим устройством, замыкающим и размыкающим электрическую цепь, то получится система, обеспечивающая «вечное» движение шарика.

Это можно осуществить хотя бы так: наклонная плоскость *А* изготавливается из двух изолированных между собой металлических пластин (рис. 120). В верхней части наклонной плоскости закреплен электромагнит *Э*. Один конец обмотки электромагнита присоединен к одной пластине, а второй — к клемме аккумулятора. Другая клемма аккумулятора присоединяется ко второй пластине наклонной плоскости. Под наклонной пло-

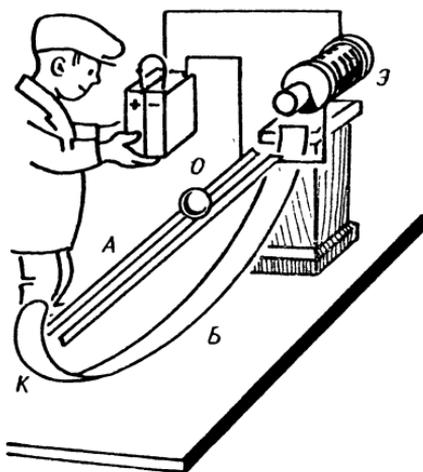


Рис. 120.

скостью установлен направляющий желоб *Б*. Стальной шарик, оказавшись на наклонной плоскости *А*, замыкает электрическую цепь. Электромагнит притягивает шарик. Докатившись до отверстия *О*, шарик проваливается в него. Электрическая цепь размыкается, действие электромагнита прекращается. Шарик под действием силы тяжести катится вниз по направляющему желобу и по закруглению *К* вновь попадет на наклонную плоскость. Электрическая цепь снова замыкается. Электромагнит притягивает шарик и т. д.

Таким образом, проект вечного двигателя все-таки можно осуществить! В чем неправомочность последнего вывода?

## 17. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

### ○ 228. Всегда ли индуцируется ток?

Если проводник движется, пересекая силовые линии магнитного поля, то в нем индуцируется э. д. с.

Концы сложенной вдвое проволоки присоединены к гальванометру. Проволока движется, пересекая силовые линии магнитного поля. Однако стрелка прибора остается на нуле. Как объяснить парадокс?

### ○ 229. Гальванометры показывают разные токи.

В соленоиды  $K_1$  и  $K_2$  вдвигают прямой магнит южным полюсом (рис. 121). В соленоидах возникают токи одного направления (по часовой стрелке). Почему же через гальванометры они текут в противоположных направлениях?

### ○ 230. Почему колебания не совпадают по фазе?

На вертикально расположенной спиральной пружине подвешен подковообразный магнит (рис. 122), один из полюсов кото-

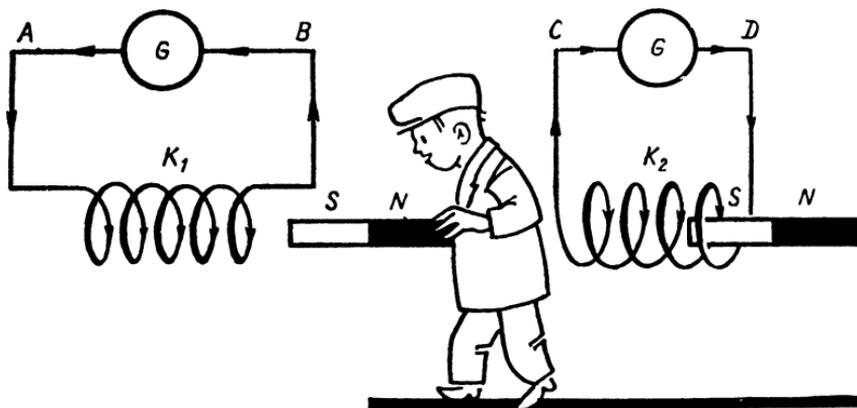


Рис. 121.

рого может входить в катушку  $K$  с большим числом витков. Зажимы катушки соединяют с входом вертикального усилителя электронного осциллографа. При выключенном генераторе горизонтальной развертки фокусируют светлое пятно и устанавливают его в центре экрана. В состоянии равновесия указатель  $У$  на пружине совпадает с неподвижным указателем  $O$ .

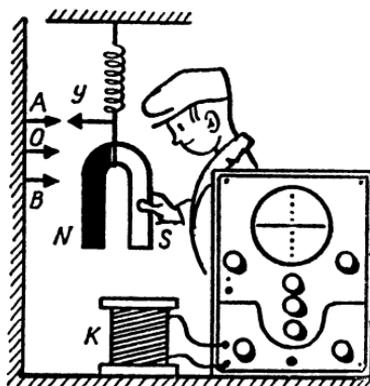


Рис. 122.

Приподнимают магнит так, чтобы указатель  $У$  совпал с указателем  $A$ , и отпускают. Магнит приходит в вертикальные колебания, погружаясь южным полюсом в катушку. В ней возникает индукционный ток, отклоняющий вверх или вниз от центра экрана светлое пятнышко. Частота колебаний пятна совпадает с частотой колебаний магнита. Однако по фазе колебания сдвинуты на  $90^\circ$  (четверть периода): пятно находится в центре экрана, когда указатель  $У$  находится против  $A$  или  $B$ , и отклоняется максимально, когда указатель  $У$  находится против  $O$ .

Но ведь вначале, когда магнит покоился и указатель  $У$  был против  $O$ , пятно тоже было «в положении равновесия» (в центре экрана). Как объяснить этот парадокс?

### ● 231. В чем ошибка?

По кольцевому проводнику (рис. 123) течет индукционный ток  $I$ . Предполагается, что сопротивление меньшей части кольца между точками  $A$  и  $B$  известно и равно  $r$ , сопротивление большей его части между теми же точками равно  $R$  и падение напряжения на меньшей части проводника в направлении от  $A$  к  $B$  по указанной на чертеже стрелке (направлению тока) в рассматриваемый момент времени равно  $U$ .

Ясно, что при этих условиях ток в этот момент по закону Ома должен быть равен:

$$I = \frac{U}{r}.$$

Поскольку, однако, ток во всех сечениях проводника всюду должен быть одинаковым, а падение напряжения между теми же точками по длинному пути от  $B$  к  $A$  должно

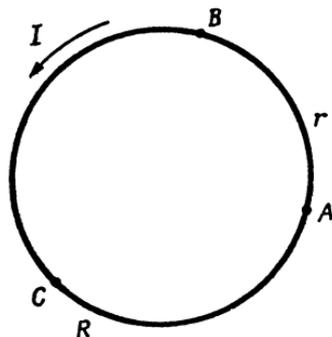


Рис. 123.

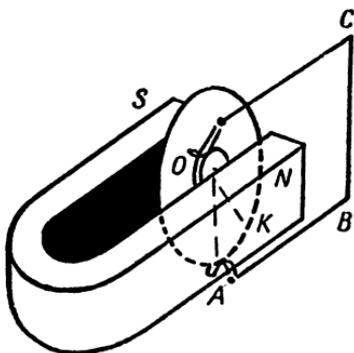


Рис. 124.

быть опять равно  $U$ , но с обратным знаком, то по тому же закону Ома тот же самый ток должен быть равен:

$$I = - \frac{U}{R}.$$

Отсюда получаем нелепый результат:

$$r = - R.$$

Требуется найти ошибку либо в постановке вопроса, либо в рассуждении.

### ○ 232. Диск Барлоу — генератор.

Вращающийся латунный диск связан с неподвижным проводником  $ABCO$  посредством скользящих контактов  $A$  и  $O$  (рис. 124). Диск и проводник находятся в однородном статическом магнитном поле. Будет ли индуцирован ток в контуре  $ABCO$ ?

Решение. Так как поле однородно и не меняется с течением времени, остается неизменным и площадь, ограниченная контуром проводника  $ABCO$ , и магнитный поток через эту площадь. Значит, согласно закону электромагнитной индукции ток в контуре  $ABCO$  не будет индуцирован.

С другой стороны, подвижный участок контура — «проводник»  $AO$  пересекает силовые линии магнитного поля. Значит, в нем наводится э. д. с., и в цепи  $ABCOA$  возникает ток. Как разрешить это противоречие двух решений?

### ○ 233. Безколлекторный генератор постоянного тока.

На рисунке 125 изображен проект безколлекторного электромагнитного генератора постоянного тока. Индуктор имеет входящие друг в друга полюсные башмаки, между которыми образовано симметричное радиальное магнитное поле. В зазоре между полюсными башмаками равномерно вращается прямоугольная рамка  $ABCD$ , к сторонам  $AD$  и  $BC$  которой припаяны контактные кольца  $O$  и  $K$  (рис. 125, а).

Если вращать рамку (рис. 125, б), то стороны рамки будут пересекать силовые линии магнитного поля и в ней должны возникать две э. д. с., дающие во внешней цепи токи одного направления. Это направление тока с течением времени должно сохраняться, так как оно не зависит от положения рамки в магнитном поле, имеющем радиальную симметрию.

Но, с другой стороны, так как магнитный поток через площадь, ограниченную контуром рамки, не изменяется при ее вращении, то согласно закону электромагнитной индукции в рамке э.д.с. не должна возникнуть и ток такая машина не долж-

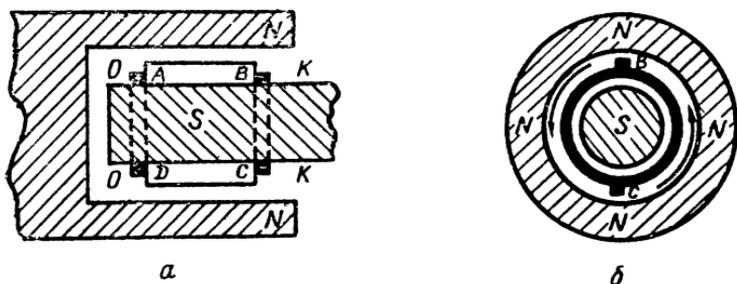


Рис. 125.

на дать. Как разрешить противоречие этих двух решений вопроса?

● 234. Самая вдохновенная идея XXII в.

В рассказе А. Куприна «Тост» есть такое место: «Истекал двухсотый год новой эры... В продолжение последних тридцати лет много тысяч техников, инженеров, агрономов, математиков, архитекторов и других ученых-специалистов самоотверженно работали над осуществлением самой вдохновенной, самой героической идеи II века. Они решили обратить земной шар в гигантскую электромагнитную катушку и для этого обмотали его с севера до юга спиралью из стального, одетого в гуттаперчу троса длиной около четырех миллиардов километров. На обоих полюсах они воздвигли электроприемники необычайной мощности и, наконец, соединили между собой все уголки Земли бесчисленным множеством проводов... Неистощимая магнитная сила Земли привела в движение все фабрики, заводы, земледельческие машины, железные дороги и пароходы. Она осветила все улицы и все дома и обогрела все жилые помещения. Она сделала ненужным дальнейшее употребление каменного угля, залежи которого уже давно иссякли. Она стерла с лица Земли безобразные дымовые трубы, отравлявшие воздух. Она избавила цветы, травы и деревья — эту истинную радость земли — от грозившего им вымирания и истребления. Наконец, она дала неслыханные результаты в земледелии, подняв повсеместно производительность почвы почти в четыре раза». В чем несостоятельность описанного автором проекта?

○ 235. Снова «исчезает» энергия.

При сближении двух отталкивающихся магнитов возрастает потенциальная энергия системы. А куда «исчезает» энергия, расходуемая при сближении двух отталкивающихся токов, т. е. двух проводников, по которым текут токи противоположных направлений?

○ 236. Всегда ли выполняется закон электромагнитной индукции?

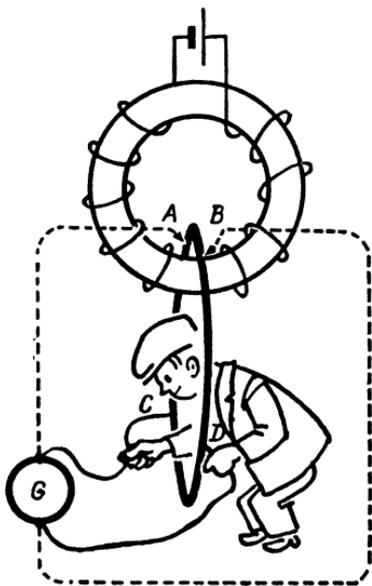


Рис. 126.

На стальной сердечник, имеющий форму тора, намотан изолированный провод. По проводу течет постоянный ток. К металлическому кольцу, охватывающему сердечник с обмоткой (тороид), подключены два подвижных контакта, которые замкнуты на гальванометр (рис. 126). Понятно, что магнитное поле, образованное тороидом, пронизывает и контур с гальванометром, когда контакты находятся в положении  $A-B$ . Переведем подвижные контакты в положение  $C-D$ . Величина магнитного потока, проходящего через контур с гальванометром, изменится: она упадет до нуля. Однако стрелка прибора даже не шелохнется. Если очень быстро передвигать контакты, стрелка гальванометра все равно будет стоять на нуле: тока в контуре не будет. Как объяснить этот парадокс?

● 237. Нарушен ли закон Ленца?

Прямоугольная рамка из проводника движется поступательно в однородном магнитном поле так, что стороны рамки пересекают магнитные силовые линии. Так как проводник пересекает силовые линии, то в рамке должна возбуждаться э. д. с. индукции.

Но, с другой стороны, изменение потока силовых линий через площадь, ограниченную контуром рамки, равно нулю. Следовательно, и э. д. с. должна быть равна нулю. Как разрешить это кажущееся противоречие?

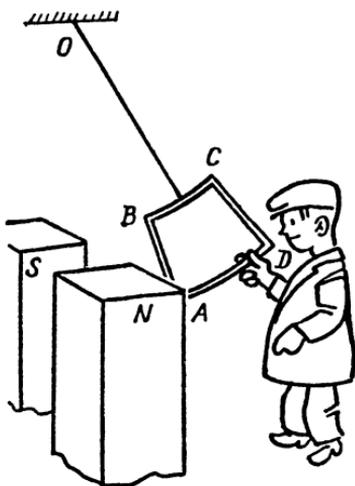


Рис. 127.

● 238. Будет ли тормозиться рамка?

Между полюсами магнита качается маятник, на конце которого закреплена прямоугольная проводочная рамка (рис. 127). Если применить закон Ленца для электромагнитной индукции, то можно прийти к выводу, что на рамку действуют силы, тормозящие ее движение. Этот вывод подтверждается опытом (например, маятник Вальтенгофена).

Если же применить правило правой руки, то приходим к выводу, что на участках рамки ток индуцируется в направлениях от  $B$  к  $A$  и от  $C$  к  $D$ , т. е. токи уничтожаются, и на рамку со стороны магнитного поля не должны действовать тормозящие силы. Как разрешить это противоречие?

## 18. ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК

### ○ 239. Больше ток — меньше отклонение стрелки.

Если клеммы школьного демонстрационного гальванометра (типа Дебре) присоединить к полюсам индукционного генератора переменного тока с ручным приводом, то при медленном вращении якоря стрелка гальванометра будет колебаться с довольно большой амплитудой. При увеличении скорости вращения якоря возрастает и максимальная величина тока, однако амплитуда колебаний стрелки уменьшается. При очень большой скорости вращения якоря амплитуда колебаний стрелки практически обращается в нуль. Объясните парадокс. Почему не наблюдается подобное явление (уменьшение амплитуды при возрастании частоты) в электронной трубке осциллографа?

### ● 240. Почему электроплитка греет?

Средняя величина переменного тока сети за период равна нулю. В соответствии с законом Джоуля — Ленца количество выделенной за период теплоты тоже должно быть равно нулю. Но ведь практика работы нагревательных приборов опровергает это. Как разрешить указанное противоречие?

### ● 241. Самоиндукция при размыкании.

При замкнутом ключе  $K$  (рис. 128) обе лампы горят одинаковым накалом. При замыкании ключа вследствие самоиндукции лампа  $L_1$  загорается позже, чем лампа  $L_2$ . Вследствие той же самоиндукции при размыкании, казалось бы, следует ожидать обратного эффекта — лампа  $L_1$  должна погаснуть позже, чем лампа  $L_2$ . Однако опыт показывает, что лампы гаснут одновременно. Как разрешить это противоречие «теории» и практики?

### ● 242. Сопротивление катушки.

В городскую сеть включена катушка, сопротивление которой оказалось равным  $R$ . Затем поверх этой катушки намотали вторую, точно такую же, и включили ее в цепь параллельно первой (на рис. 129 вторая катушка показана пунктиром). Известно, что при параллельном сое-

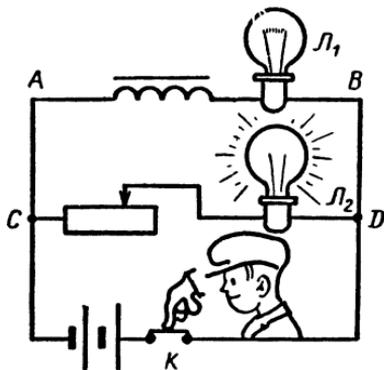


Рис. 128.

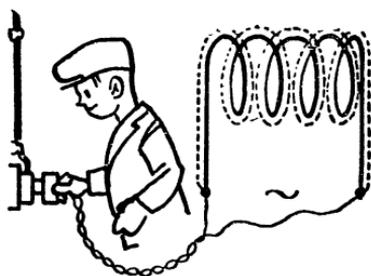


Рис. 129.

● 244. **Электромеханический вечный двигатель.**

Одной из простейших конструкций вечного двигателя является система соединенных двух одинаковых машин постоянного тока. Если вращать якорь одной из машин, то она будет создавать электрический ток. Этим током можно питать вторую машину как двигатель. Шкив якоря второй машины соединяют ременной (или зубчатой) передачей со шкивом якоря первой машины. Таким образом, первая машина будет получать механическую энергию и превращать ее в электрическую, а вторая — электрическую в механическую. В чем ошибка проекта?

○ 245. **Кто совершил работу?**

Короткозамкнутая катушка *A* охватывает соленоид *B*, по которому идет ток от аккумулятора *E* (рис. 130). Внутри соленоида вдвигают железный сердечник *C*. При этом в катушке индуктируется ток, и она нагревается. За счет какой энергии совершается это нагревание: за счет механизма, который вдвигал сердечник *C*, или за счет аккумулятора *E*?

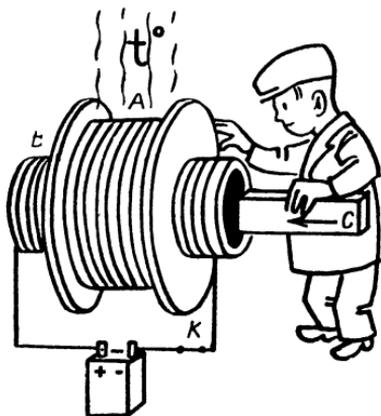


Рис. 130.

динении двух одинаковых проводников сопротивление уменьшается вдвое. Однако опыт не подтверждает этого. В чем ошибка рассуждений?

○ 243. **Генератор — двигатель постоянного тока.**

Если из двух машин постоянного тока одинакового типа одна работает в качестве двигателя и при этом токи в якорях и магнитных обмотках обеих машин имеют одинаковое направление, то якоря машин вращаются в противоположные стороны. Объясните этот парадокс.

## 19. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

● 246. **Как распространяются радиоволны?**

Ученик сказал, что радиоволны, на которых ведутся телевизионные передачи, не распространяются на большие расстояния потому, что они короткие, т. е. имеют малую длину волны. В чем несуразность объяснения ученика?

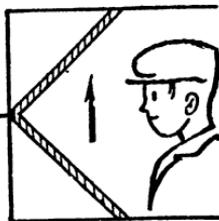
○ 247. Зоны молчания.

Электромагнитные волны непрерывны. Почему же при связи на коротких волнах получаются зоны молчания?

● 248. Куда «исчезла» энергия?

Если поднимают камень над поверхностью Земли, то этим сообщают ему некоторую потенциальную энергию. При своем падении камень произведет как раз ту же работу, которая была затрачена на его подъем.

Аналогично, если удалять кусок железа от электромагнита, по обмотке которого течет ток, то этот кусок приобретает некоторую потенциальную энергию. Если же после удаления куска железа прервать ток, то магнетизм электромагнита и куска железа исчезнет. Следовательно, исчезнет и потенциальная энергия, приобретенная куском железа, причем исчезнет «бесследно», вопреки закону сохранения энергии. Как разрешить это противоречие?



## 20. СВЕТОВЫЕ ВОЛНЫ

### ● 249. Всегда ли применим закон обратных квадратов?

При больших размерах источника света нельзя пользоваться законом обратных квадратов для расчета освещенности поверхности. Однако можно мысленно разбить всю поверхность большого источника на столь малые участки, чтобы для каждого из них закон обратных квадратов был применим. Почему же закон неприменим для источника в целом?

### ● 250. Пламя свечи — неиссякаемый источник энергии.

Энергия, излучаемая точечным источником, падающая в единицу времени на единицу поверхности, нормально расположенной к лучам на расстоянии  $r$  от источника, равна  $W = \frac{K}{r^2}$ , где  $K$  — энергия, получаемая в единицу времени той же поверхностью от того же источника, помещенного на единичном расстоянии. Следовательно, внутри самого пламени свечи, для которого  $r=0$ , должно быть  $W = \infty$ , т. е. пламя свечи дает в единицу времени бесконечно большое количество энергии, что, конечно, неверно. В чем ошибка рассуждений?

### ● 251\*. Может ли свеча дать бесконечно большую энергию?

Пусть в центре вогнутого сферического зеркала (в пределе в центре зеркальной сферы) помещена свеча. Лучи после отражения снова сойдутся в центре зеркала, но сила света действительного изображения свечи будет несколько меньше одной свечи, положим  $\frac{m}{n}$ , где  $m < n$ . Таким образом, теперь в центре зеркала, можно считать, имеется свеча и ее действительное изображение, т. е. в сущности один источник с силой  $\left(1 + \frac{m}{n}\right)$  свечи. Этот источник света дает действительное изображение с силой света  $\frac{m}{n} \left(1 + \frac{m}{n}\right)$ , так что общая сила света будет:

$$\left(1 + \frac{m}{n}\right) + \frac{m}{n} \cdot \left(1 + \frac{m}{n}\right) = \left(1 + \frac{m}{n}\right)^2.$$

Повторяя те же рассуждения бесчисленное число раз, приходим к заключению, что в центре зеркала находится источник света с общей силой  $I = \left(1 + \frac{m}{n}\right)^\infty = \infty$ .

Этот вывод явно противоречит теории и опыту. В чем ошибка рассуждений?

○ 252. Ближе — холоднее, дальше — теплее.

Чем ближе площадка к точечному источнику света инфракрасного излучения, тем больший поток энергии падает на нее, Зимой Земля ближе к Солнцу, чем летом. Однако зимой холоднее, чем летом. Как разрешить это противоречие?

● 253. Экспозиция не зависит от расстояния.

Фотографируя некоторый предмет аппаратом, главное фокусное расстояние объектива которого равно 5 см, например с расстояния 10 м, делают экспозицию 0,01 сек. Если съемку того же предмета производят с расстояния 20 м, то экспозицию не меняют.

Но ведь с увеличением расстояния световой поток от предмета, падающий на фотопленку, уменьшается. Значит, надо было бы увеличивать экспозицию, чтобы получить снимок того же качества. Как разрешить противоречие?

○ 254. Яркость объемного источника света не зависит от расстояния.

Освещенность, которую дает электрическая лампа с матовой поверхностью стеклянного баллона, обратно пропорциональна квадрату расстояния до лампы. Однако, приближаясь или удаляясь от лампы, мы видим ее баллон одинаково ярким (случаи очень близкого приближения лампы к глазу и удаления ее «на бесконечность» исключаются). Как объяснить этот парадокс?

● 255. Условия интерференции.

Если разность хода световых лучей равна  $n\lambda$ , где  $n$  — целое число, а  $\lambda$  — длина волны, то волны усиливают друг друга. В точках  $A$  и  $B$  (рис. 131) находятся когерентные источники света. От этих источников свет распространяется в вакууме и попадает в точку  $K$ . Расстояние  $AK = BK = n\lambda$ . Почему же не всегда в точке  $K$  наблюдается интерференционный максимум?

● 256. «Исчезновение» энергии при интерференции.

При определенных условиях два луча света, интерферируя, дают темноту. При этом энергия колебаний в этих точках равна нулю.

С другой стороны, каждый луч несет с собой некоторую энергию (с лучом связан поток энергии).

Не противоречит ли явление интерференции закону сохранения энергии: два потока энергии, складываясь, дают нуль?

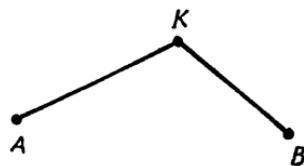


Рис. 131.

## 21. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА

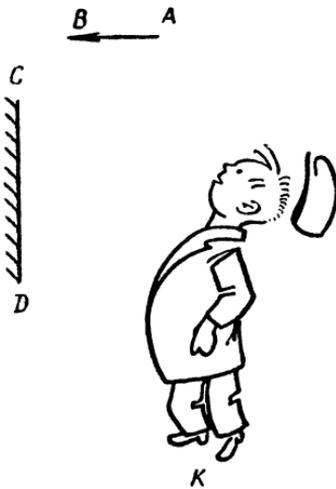


Рис. 132.

○ 257. Когда светлое пятно на экране подобно форме отверстия?

Если через малое отверстие любой формы (квадратное, треугольное) в листе картона пропустить в комнату пучок солнечных лучей и принять его на экран, поставленный перпендикулярно к лучам, то получается круглое изображение солнца. Если же отверстие достаточно велико, то изображение на экране представляет фигуру, подобную фигуре отверстия. Объясните парадокс.

○ 258. Одинаковы ли размеры предмета и его изображения в плоском зеркале?

Наблюдатель  $K$  видит предмет  $AB$  и его изображение в плоском зеркале  $CD$  (рис. 132). Размеры предмета и изображения представляются ему различными. Но ведь известно, что плоское зеркало не изменяет размеров светящегося предмета. Как разрешить это противоречие?

○ 259. Можно ли осветить изображение?

В плоском зеркале  $AB$  получено мнимое изображение предмета  $C_1D_1$  (рис. 133). Если из  $H$  направить параллельный пучок лучей в направлении на изображение  $C_1D_1$ , то можно заметить, что оно становится светлее. Но ведь за зеркалом изображение мнимое! А кроме того, лучи за зеркало проникнуть не могут. Как же объяснить парадокс?

● 260. Почему плоское зеркало не дает обратного изображения?

При отражении в плоском зеркале наша правая и левая стороны меняются своими местами. А верх и низ остаются неизменными. Нет ли здесь противоречия?

○ 261. Плоское зеркало дает перевернутое изображение.

Плоское зеркало дает прямое, мнимое и симметричное изображение.

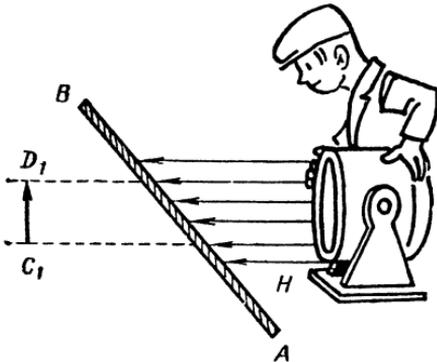


Рис. 133.

Система двух плоских зеркал, следует ожидать, должна также дать прямое и мнимое изображение. Однако, если рассматривать в двух плоских зеркалах, расположенных под прямым углом  $KOM$  (рис. 134), предмет  $AB$ , наблюдается его мнимое и перевернутое изображение. Объясните парадокс.

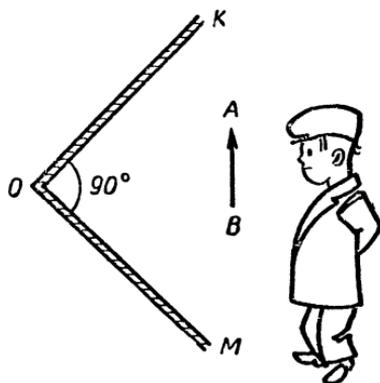


Рис. 134.

○ 262. Всегда ли изображение в зеркале мнимое?

Всякую вогнутую сферическую зеркальную поверхность можно рассматривать как совокупность бесконечно малых плоских зеркал. Изображение в плоском зеркале всегда мнимо. Следовательно, во всяком вогнутом зеркале общее изображение тоже должно быть всегда мнимым. Но это заключение, вообще говоря, не совпадает с опытом — вогнутое зеркало в ряде случаев дает действительное изображение. Как разрешить этот парадокс?

● 263. Действительное изображение или мнимое?

Светящаяся точка  $A$  находится в фокальной плоскости зеркала. Общепринятое построение изображения (рис. 135) дает действительное  $A_2$  и мнимое  $A_1$  изображения. Почему получилось противоречие?

○ 264. Как и куда смотреть?

Вогнутое сферическое зеркало, радиус отверстия которого — величина того же порядка, что и радиус сферы, дает на экране размытое действительное изображение. Однако при рассмотрении этого изображения в зеркале оно видно четким (хотя и искаженным). Нет ли здесь противоречия?

● 265. Задача-шутка.

Учитель: «Недалеко то время, когда Луна будет заселена людьми».

Ученик: «Люди не смогут поселиться на Луне, так как им надо будет покинуть ее, когда она будет принимать форму узкого серпа». Имеет ли физический смысл подобное утверждение?

● 266. Возможно ли это?

Инженеры-конструкторы давно ищут способ концентрации большой лучистой энергии в малом объеме. Хорошо известен фантастический «гиперболоид инженера Гарина».

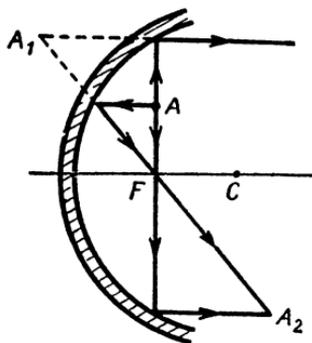


Рис. 135.

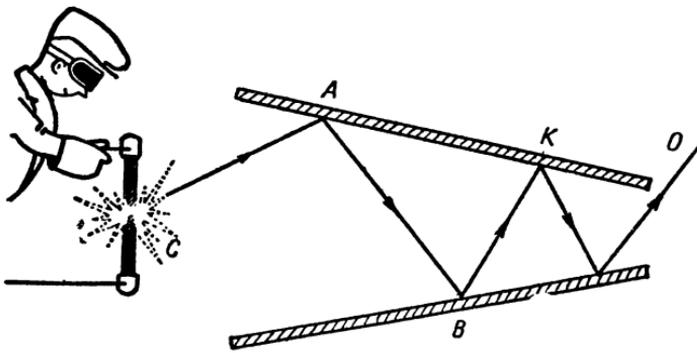


Рис. 136.

Широкое применение в наше время получают лазеры и мазеры.

Один изобретатель предложил устройство для концентрации лучистой энергии, основной частью которого является коническая зеркальная труба, от внутренней поверхности которой отражаются лучи, посылаемые источником  $C$  (рис. 136). Совершив ряд отражений, эти лучи выйдут через отверстие  $O$ , которое можно сделать сколь угодно малым и, следовательно, достичь сколь угодно большой мощности светового потока. В чем ошибка проекта?

○ 267. Почему пена непрозрачна?

Воздух прозрачен для света, вода также. А пена — пузыри воды, наполненные воздухом, — непрозрачна.

Аналогично одеколон и вода дают непрозрачную смесь молочного цвета, туман или облако непрозрачны, хотя состоят из прозрачных капелек воды. Объясните парадокс.

○ 268\*. Почему дно водоема видно четким?

Лучи, исходящие из какой-либо точки предмета  $C$  (рис. 137), находящегося в воде, проходят сквозь плоскую границу между водой и воздухом. Где находится изображение точки  $C$ ?

Решение. Возьмем три луча, лежащие в вертикальной плоскости  $XOY$ , причем ось  $Y$  направлена вдоль поверхности воды. Уравнения лучей внутри воды имеют вид:

$$\begin{aligned} y &= x \operatorname{tg} \alpha_1 + b_1, \\ y &= x \operatorname{tg} \alpha_2 + b_2, \\ y &= x \operatorname{tg} \alpha_3 + b_3. \end{aligned}$$

Так как они исходят из одной точки  $C$ , то имеет место соотношение:

$$\begin{vmatrix} 1 & \operatorname{tg} \alpha_1 & b_1 \\ 1 & \operatorname{tg} \alpha_2 & b_2 \\ 1 & \operatorname{tg} \alpha_3 & b_3 \end{vmatrix} = 0.$$

Уравнения преломленных лучей имеют вид:

$$\begin{aligned} y &= x \operatorname{tg} \beta_1 + b_1, \\ y &= x \operatorname{tg} \beta_2 + b_2, \\ y &= x \operatorname{tg} \beta_3 + b_3. \end{aligned}$$

Так как  $\operatorname{tg} \alpha_1 : \operatorname{tg} \alpha_2 : \operatorname{tg} \alpha_3 \neq \operatorname{tg} \beta_1 : \operatorname{tg} \beta_2 : \operatorname{tg} \beta_3$ , то

$$\begin{vmatrix} 1 & \operatorname{tg} \beta_1 & b_1 \\ 1 & \operatorname{tg} \beta_2 & b_2 \\ 1 & \operatorname{tg} \beta_3 & b_3 \end{vmatrix} \neq 0.$$

Это означает, что преломленные лучи не имеют общей точки, т. е. продолжения направлений преломленных лучей в сторону воды не пересекаются в одной точке. Значит, нет изображения точки  $C$ . И все же, глядя на дно водоема, мы видим его четко. Как разрешить этот парадокс?

○ 269. Где самое глубокое место водоема?

Если стоять по пояс в воде водоема, дно которого горизонтально, то профиль дна представляется таким, как на рисунке 138, причем самым глубоким местом будет то, в котором находится наблюдатель  $A$ . Как объяснить этот парадокс?

○ 270. Нет ли здесь волшебства?

Мимо большого стеклянного аквариума в форме параллелепипеда (рис. 139) на близком расстоянии (примерно полметра) проходит наблюдатель параллельно одной из его граней. При этом происходит следующее явление: когда наблюдатель подходит к аквариуму, все находящиеся в воде предметы (камни, растения, неподвижные рыбы) как бы удаляются от стекла, на которое он смотрит, а при удалении наблюдателя от аквариума эти предметы снова как бы приближаются к стеклу. Объясните этот парадокс зрения.

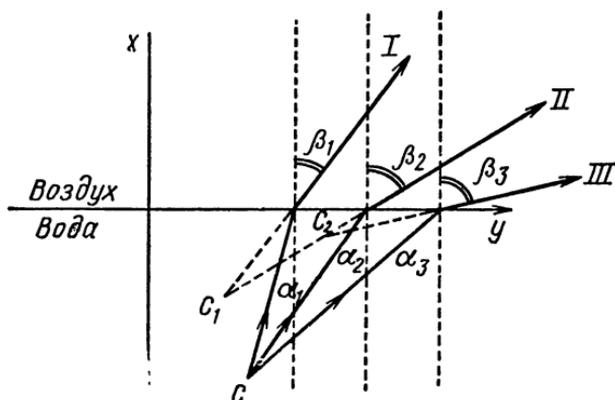


Рис. 137.

○ 271. Оконное стекло не дает смещения предметов.

Плоскопараллельная пластинка смещает проходящий через нее луч параллельно самому себе.

Оконное стекло — плоскопараллельная пластинка. Однако (вопреки логике) при рассматривании предметов через оконное стекло они не кажутся смещенными. Как разрешить парадокс?

○ 272. Равен ли день ночи во время равноденствия?

Астрономические вычисления указывают, что во время равноденствия продолжительность дня и ночи одинакова.

Однако истинная продолжительность дня всегда больше той, которую дают астрономические вычисления. Например, 23 сентября 1968 г. продолжительность дня (по календарю) составляла 12 ч 11 мин. Нет ли здесь противоречия?

○ 273. Парадокс лунного затмения.

Лунное затмение происходит лишь в том случае, когда Луна попадает в тень, отбрасываемую Землей.

Иногда лунное затмение происходит в то время, когда Солнце и Луна находятся у диаметрально противоположных точек горизонта, но непосредственно над горизонтом, когда Луна никак не может находиться внутри конуса тени, отбрасываемой Землей. Как объяснить этот парадокс?

○ 274. Когда бумага становится прозрачной?

Бумага — тело, почти непрозрачное для света. Стеарин также непрозрачен. Но стеариновое пятно на бумаге прозрачно. Как объяснить этот парадокс?

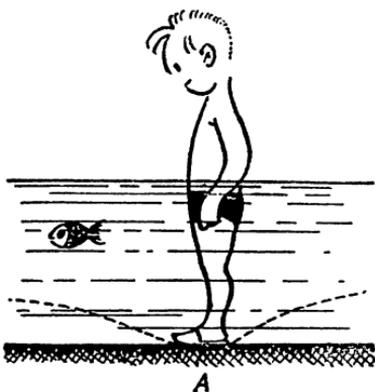


Рис. 133.

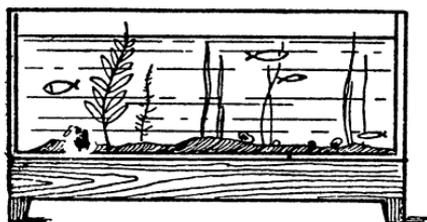


Рис. 139.

○ **275. О параллельных пучках света.**

В учебниках физики указывается, что параллельный пучок лучей не может быть реализован на опыте. Однако основным свойством линзы считается получение с ее помощью параллельного пучка, если источник расположен в фокусе линзы. Нет ли здесь противоречия?

○ **276. Видит ли глаз предметы прямыми?**

Двояковыпуклая линза дает на экране перевернутое изображение предмета. Хрусталик глаза — двояковыпуклая линза. Значит, в глазу на сетчатке получается перевернутое изображение. Однако мы не видим окружающие нас предметы перевернутыми. Объясните парадокс.

○ **277. Где источник света?**

Легонько нажмите пальцем на левое глазное яблоко со стороны переносицы (в правой части глаза). Тогда видны светлые круги в левой части глаза. Их происхождение — механическое раздражение сетчатки. Но ведь это раздражение было в правой, а не в левой части глаза. Как объяснить это несоответствие?

○ **278. И глаз может ошибаться.**

Проколите маленькое отверстие в куске бумаги и держите его очень близко от глаза, смотря против света. Между отверстием и глазом поместите булавку головкой вверх. Изображение булавки получается головкой вниз. Объясните парадокс.

○ **279. Почему видит глаз?**

Если предмет находится в фокальной плоскости собирающей линзы (или зеркала), изображение предмета на экране, как видно из геометрического построения (рис. 135), не получается. Почему же мы все-таки «видим» изображение, если смотрим через линзу на предмет, находящийся в фокальной плоскости? Как разрешить это противоречие?

○ **280. Что такое струи дождя?**

Дождь — это движущиеся капли воды. Мы видим не капли, а струи. Как объяснить этот парадокс?

○ **281. Куда вертятся колеса?**

На экране кино колеса экипажа нередко вертятся в направлении, не соответствующем направлению движения экипажа. Как объяснить этот парадокс?

○ **282. Как образовалось в кисти руки «отверстие»?**

Сверните трубку из листа бумаги. Возьмите ее в левую руку. Расположите трубку перед левым глазом. Держите ладонь правой руки так, чтобы край ладони касался стенки трубки. Смотрите левым глазом в трубку, а правым на ладонь, повернутую к глазу.

В кисти руки видно круглое отверстие (рис. 140), через которое правый глаз видит то же, что и левый через трубку. Но ведь в ладони никакого отверстия нет! Как объяснить парадокс?

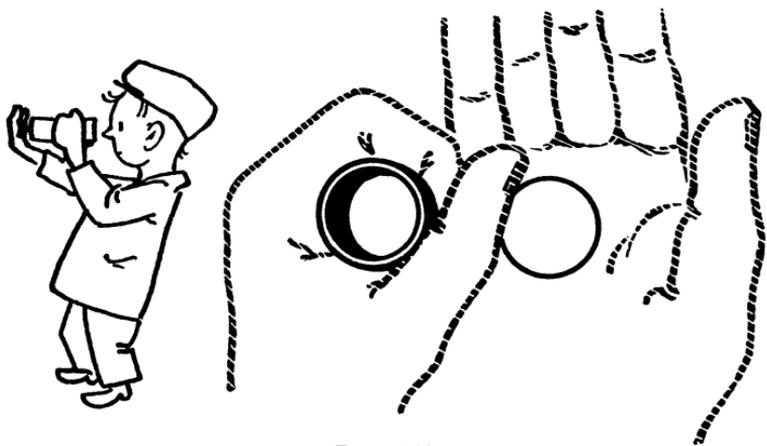


Рис. 140.

○ 283. Почему очки не дают перевернутого изображения?

Пользуясь очками с двояковыпуклыми линзами, видят предметы прямыми, хотя они и находятся от стекол очков на расстояниях, больших двойного фокусного.

С другой стороны, известно, что изображение предмета, находящегося от выпуклой линзы на расстоянии, большем фокусного, на экране является перевернутым. Как разрешить это кажущееся противоречие?

● 284. Почему звезды — точки, а не бесконечные плоскости?

Представим себе на очень большом расстоянии от нас какой-либо светящийся предмет (например, звезду) и неограниченных размеров светящуюся плоскость. От светящегося предмета до нас дойдет волна, которую можно принять за сферическую с бесконечно большим радиусом. От светящейся же плоскости получится волна плоская.

Вследствие незначительных размеров зрачка глаз может получить впечатление только от бесконечно малой части поверхностей, дошедших до него волн. Понятно, что очень малые части сферы с бесконечно большим радиусом и плоскости, в сущности, одно и то же. Следовательно, и зрительные ощущения в обоих случаях должны быть одинаковыми. Таким образом, звезды должны бы казаться нам светящимися плоскостями неограниченных размеров, а не точками, как это наблюдается в действительности<sup>1</sup>.

○ 285. Параллельны ли лучи Солнца?

Солнечные лучи, пробивающиеся сквозь тучи, представляют радиально расходящимися во все стороны, подобно сиянию

<sup>1</sup> Нельзя думать, что в данном случае глаз улавливает незначительное отклонение лучей от параллельности, так как можно привести примеры, где и более грубые отклонения оказываются для глаза незаметными. Так, например, для установки зрительной трубы «на бесконечность» практически достаточно установить ее по удаленному на несколько километров предмету.

(рис. 141). Между тем солнечные лучи, падающие на Землю, параллельны. Как объяснить получившееся противоречие?

○ 286. Одинаков ли угловой диаметр Луны?

Восходящая Луна нам представляется большего диаметра, чем когда она находится на большой высоте над горизонтом. Но ведь не удаляется же Луна при этом. Как объяснить парадокс?

○ 287. Какова толщина нити?

Раскаленная нить в электрической лампе кажется значительно толще той же нити в холодном состоянии. Объясните парадокс.

○ 288. Черная молния.

А. М. Горький сравнивает буревестника с черной молнией. У А. И. Куприна есть рассказ «Черная молния», в котором читаем: «Все небо обложили громоздкие лиловые и фиолетовые тучи с разорванными серыми краями... Была одна мокрая густая тьма. Сверкнула первая молния... за ней другая, третья. Потом пошло и пошло без перерыва. ...Небо не вспыхивало от молний, а точно все сияло их трепетным голубым, синим и ярко-белым блеском... И вот я увидел черную молнию. Я видел, как от молнии полыхало на востоке небо, не потухая, а все время то развертываясь, то сжимаясь, и вдруг на этом колеблющемся огнями голубом небе я с необычайной ясностью увидел мгновенную и ослепительную черную молнию. И тотчас же вместе с ней страшный удар грома точно разорвал пополам небо и землю

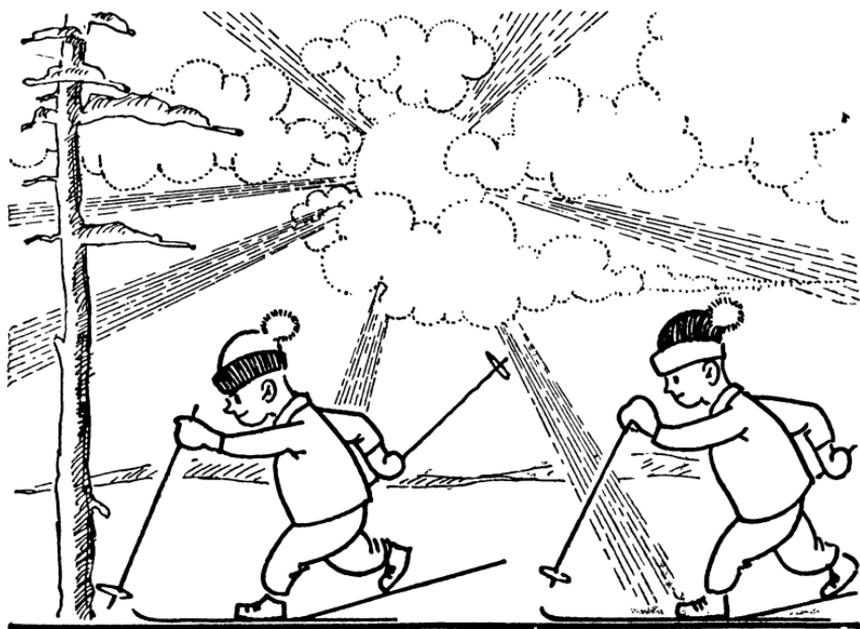


Рис. 141.

и бросил меня вниз, на кочки... О, что это была за ужасная ночь! Эти черные молнии наводили на меня необъяснимый животный страх». Как объяснить парадоксальное явление, называемое «черной молнией»?

## 22. ИЗЛУЧЕНИЕ И СПЕКТРЫ. КВАНТЫ СВЕТА

### ○ 289. Почему электроплитка дает мало света?

Электрическая лампа мощностью 150 *вт* дает больший световой поток, чем лампа в 75 *вт*. Почему же электрическая плитка в 600 *вт* дает мало света?

### ○ 290. Какого цвета Луна?

Луну мы видим белой; в телескоп поверхность ее кажется словно гипсовой. Наблюдения космонавтов, пробы лунного грунта и телепередачи с «Лунохода-1» показывают, что поверхность ее темно-серая. Как разрешить это кажущееся противоречие?

### ○ 291. Цвет смеси красок.

Каждый, кто рисовал красками, знает, что при смешивании синей краски с желтой получается зеленая. Но если светом синей и желтой ламп осветить лист чертежной бумаги, то он будет иметь белый цвет (синий и желтый цвета являются дополнительными). Нет ли здесь противоречия?

### ○ 292. Какого цвета листья растений?

Если листья растений наблюдать при свете обычной синей лампы, то они кажутся малиново-красными. Объясните парадокс.

### ○ 293. Белая стена стала оранжевой.

Если в течение длительного времени (свыше часа) смотреть в затемненной комнате передачу по телевизору, то после включения маломощной электрической лампы (15—25 *вт*) белые предметы в комнате кажутся желто-оранжевыми. Объясните парадокс.

### ○ 294. Парадокс фотоэффекта.

Как объяснить парадокс фотоэффекта, состоящий в том, что увеличение энергии падающего на металл света заданной длины волны путем увеличения светового потока не вызывает увеличения скорости фотоэлектронов, а ряд длин волн света вообще не в состоянии выбить из металла электроны независимо от мощности светового потока?

### ○ 295. Что плотнее: свинец или парафин?

Известно, что, чем больше плотность среды, тем большее сопротивление она оказывает движущейся в ней материальной частице. Почему же слой свинца меньше задерживает поток нейтронов, чем такой же слой парафина?

## ОТВЕТЫ

1. Ошибка решения состоит в том, что движение груза  $P$  рассматривается как сложное, состоящее из двух движений. В то время как точка  $O$ , жестко связанная с грузом  $P$ , неподвижна относительно обеих нитей. Поэтому ее скорость в любом направлении (например, по вертикали) определится как составляющая скорости  $v$  движения точки одной из нитей в заданном направлении.

2. Верным является второй ответ, а при получении первого была допущена ошибка. Средняя скорость любого движения численно равна отношению пройденного пути к затраченному времени. Если движение состояло из отдельных равномерных движений, то средняя скорость равна:

$$v_{\text{ср}} = \frac{v_1 t_1 + v_2 t_2 + \dots + v_n t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}.$$

Если промежутки времени, в течение которых тело движется со скоростями  $v_1, v_2, \dots, v_n$ , равны ( $t_1 = t_2 = \dots = t_n = t$ ), то

$$v_{\text{ср}} = \frac{(v_1 + v_2 + \dots + v_n)t}{nt}. \text{ Следовательно, } v_{\text{ср}} = \frac{v_1 + v_2 + \dots + v_n}{n}.$$

Формула  $v_{\text{ср}} = \frac{v_1 + v_2}{2}$  была бы справедлива, если бы дрезина двигалась туда и обратно в течение одинаковых промежутков времени. Но этого условия в задаче нет.

3. Задача смысла не имеет. Такого ускорения, которое удовлетворяло бы условию задачи, не существует. В этом можно убедиться, сопоставляя различные формулы кинематики. Например, данные условия задачи не соответствуют такому уравнению равномерного движения:  $s = \frac{v_0 + v}{2} \cdot t$ . Действительно,

$$8 \text{ м} \neq \frac{10 \text{ м/сек}}{2} \cdot 2 \text{ сек.}$$

4. Данные условия задачи взаимно исключают друг друга, они несовместимы. В этом легко убедиться, если вычислить среднее ускорение, с которым движется материальная точка на пути 1 м:

$$a_{\text{ср}} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2s} = \frac{\left(2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}}{\text{сек}}\right)^2 - \left(10^{-3} \frac{\text{м}}{\text{сек}}\right)^2}{2 \text{ м}} = 1,5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}}{\text{сек}^2}.$$

Итак,  $a_{\text{ср}} = 1,5 \cdot 10^{-9} \text{ км/сек}^2$ , что не соответствует величине  $10 \text{ км/сек}^2$ , данной в условии задачи.

5. Секрет софизма заключен в нелинейной зависимости скорости от ускорения на данном отрезке пути ( $v^2 = v_0^2 + 2as$ ). Во втором же решении неявно предполагалась линейная зависимость ускорения от скорости (на заданном отрезке пути).

6. Ошибка в замене  $at$  величиной  $\sqrt{2as}$ . Такая замена справедлива лишь при условии, что  $v_0 = 0$ .

7. Решим обратную задачу. Вычислим время, необходимое камню, чтобы при начальной скорости  $34,3 \text{ м/сек}$  подняться на высоту  $29,4 \text{ м}$ . Решая квадратное уравнение  $H = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$ , получим два корня:  $t_1 = 1 \text{ сек}$ ,  $t_2 = 6 \text{ сек}$ . Таким образом, камень будет на заданной высоте дважды — первый раз через  $1 \text{ сек}$  (подъем) и второй — через  $6 \text{ сек}$  (падение).

Аналогично обстоит дело и во втором случае. Здесь камень, брошенный вверх со скоростью  $24,5 \text{ м/сек}$ , окажется на высоте  $29,4 \text{ м}$  в моменты  $t_1' = 2 \text{ сек}$  (подъем) и  $t_2' = 3 \text{ сек}$  (падение).

Противоречие разрешается тем, что оба рассмотренных случая относятся не к подъему камня, а к последующему его спуску. Камень, поднимаясь, достигнет высоты  $29,4 \text{ м}$  при меньшей начальной скорости ( $24,5 \text{ м/сек}$ ) за большее время ( $2 \text{ сек}$ ), при большей начальной скорости ( $34,3 \text{ м/сек}$ ) за меньшее время ( $1 \text{ сек}$ ). Если следовать условию задачи, то надо сделать вывод, что достигнуть высоты  $29,4 \text{ м}$  за  $6 \text{ сек}$  или за  $3 \text{ сек}$  можно только опускаясь. Поднимаясь же, этого нельзя сделать ни при какой начальной скорости (поэтому и возникает противоречие).

8. Нет, не противоречит. Кроме веса гири, на брусок действует уравновешивающая вес сила упругости деформированной крышки стола.

9. В инерциальной системе отсчета<sup>1</sup> законы Ньютона выполняются. В данном случае наблюдатель видел нарушение закона инерции. Следовательно, система отсчета — корабль — была неинерциальной. Скорость корабля могла измениться как по величине, так и по направлению. Судно могло, например, сделать поворот в какую-нибудь сторону.

<sup>1</sup> Инерциальной системой отсчета называется такая система отсчета, по отношению к которой выполняются законы Ньютона.

10. Ошибка в рассуждениях заключается в том, что коэффициенты  $k' = \sqrt{k_1 k_2}$  и  $k'' = \frac{k_1}{k_2}$  предполагаются не имеющими наименований, а в них неявно содержатся переменные именованные величины. Так,  $k_1 = a$  и  $k_2 = m$ . Выражение  $F = k' \sqrt{ma}$  не находится в противоречии со вторым законом Ньютона, так как

$$k' = \sqrt{ma} \quad \text{и} \quad F = \sqrt{ma} \cdot \sqrt{ma} = ma.$$

Аналогично из выражения  $a = k'' m$  получаем тождество, если подставим вместо  $k'' = \frac{a}{m}$ .

11. Не учтен III закон Ньютона. В каждой двух соседних точках нити возникают силы действия и реакции. Вследствие этого на каждую точку нити действуют две соседние точки с силами, равными по величине и противоположными по направлению. Таким образом, все силы, приложенные к точкам нити, взаимно уравниваются. На концах нити действует сила  $F$  и равная и противоположно направленная ей сила реакции тела, к которому прикрепена нить.

12. Софизм, заключенный в задаче, разрешается тем, что однородных по толщине и по материалу нитей на практике получить нельзя. Из-за силы тяжести нельзя создать одинаковое во всех точках натяжение. Даже в состоянии невесомости нить не будет однородной из-за тепловых флуктуаций. Но даже если бы однородная нить и была получена, то все равно разрыв произошел бы — нить распалась бы на отдельные молекулы.

13. Сила тяжести прямо пропорциональна массе. Поэтому увеличение массы тела в некоторое число раз вызывает одновременно и увеличение силы тяжести во столько же раз, так что отношение их (ускорение свободного падения) остается величиной постоянной.

14. Сила натяжения шнура пропорциональна массе тела и ускорению его движения. Этот вывод легко получить из уравнения:  $\frac{P}{g} a = T - kP$ . Действительно,  $T = P \left( \frac{a}{g} + k \right)$ , откуда  $T = (ma + kg)$ .

Поменяв местами тела  $P$  и  $Q$ , мы изменяем (увеличиваем или уменьшаем) массу скользящего тела и одновременно изменяем (уменьшаем или увеличиваем) ускорение движения всей системы (в том числе и скользящего тела). А это и приводит к постоянству натяжения шнура.

15. Если тепловоз, вагон и «толкач» движутся равномерно с одинаковой скоростью (вагон в системе отсчета тепловоз — «толкач» неподвижен), то сцепка не натянута и буфер не сжат. На подъемах вагон относительно системы тепловоз — «толкач»

будет двигаться. При этом сцепка натянется, а буферная пружина сожмется. Возникшие при этом силы упругости направлены в одну сторону и, складываясь, действуют на вагон, сообщая ему необходимую скорость движения.

16. При смачивании дерева мелкие волокна на его поверхности набухают и оттопыриваются; трение между топорищем и рукой увеличивается. Поэтому вода не играет роль смазки, а способствует изменению коэффициента трения.

17. Противоречие между теорией и опытом всегда разрешается в пользу опыта. Значит, высказанный в начале условия задачи тезис не является всеобщим. Очевидно, что сила трения скольжения металлического обода колеса о снег меньше силы трения колеса об ось, на которой оно вращается. В зимнее время смазка густеет, увеличивается ее вязкость, значит, увеличивается сила трения в оси.

18. Если рельс смазан, возникает буксование колес электровоза. Сила трения колес о рельсы при этом уменьшается настолько, что становится меньше, чем общая сила трения колес всех вагонов. И электровоз не сможет привести поезд в движение.

19. Ось ворота, вращаясь, катится по поверхности дисков. А трение качения меньше трения скольжения. Диски являются катками для оси ворота.

20. Как только монета получит указанную в условии задачи скорость, сила трения при движении (как известно, она меньше, чем сила трения покоя) окажется направленной противоположно

вектору  $\vec{v}$ . Так как эта сила горизонтальна, то она не сможет препятствовать движению монеты вниз по наклонной плоскости под действием составляющей силы тяжести. В результате монета будет скользить по кривой влево и вниз. Как только появится направленная вниз составляющая скорости, начнет действовать и соответствующая ей противоположно направленная сила трения. Скорость монеты будет убывать, и она остановится.

21. Софизм основан на ошибке — силы действия и противодействия приложены к различным телам и не могут уравновеситься.

22. В первом решении не учтено то обстоятельство, что столб «тянет» конец веревки с такой же силой, с какой ее тянет (вернее, удерживает) матрос, стоящий на пристани. А если ко всем концам веревок прилагаются одинаковые силы, то оба случая идентичны и лодки должны причалить одновременно.

Если бы оба матроса выбирали веревку с одинаковой скоростью, равной скорости движения лодки в первом случае, то их лодка, конечно, двигалась бы вдвое быстрее, но усилие, которое прилагал бы каждый, было вдвое больше того, которое необходимо, чтобы просто удерживать конец веревки, когда другой тянет ее с некоторой силой.

23. В третьем законе Ньютона говорится о равенстве сил, а не о равенстве результатов действия этих сил.

24. Закон сохранения механического импульса выполняется в изолированной системе. Ракета не является таковой. Закон следует применить к системе Земля—ракета — горючие газы — атмосфера.

При вылете продуктов горения ракета получает некоторый импульс, который тут же передает Земле. Продукты горения, получив импульс, передают его атмосфере, которая также отдает его Земле. Таким образом, Земля получает два равных и противоположно направленных механических импульса и вместе с атмосферой и ракетой остается в покое.

На ракету действуют сила тяги двигателя и притяжение Земли. Эти силы равны, и ракета также остается неподвижной.

25. Трение диска о плоскость является трением качения и поэтому не может быть сведено к горизонтальной силе  $F$ , как это было бы в случае трения скольжения. При качении диска он слегка вдавливаются в плоскость, вследствие чего на него действует сила  $R$ , направленная так, как показано на рисунке 142. Поскольку горизонтальная составляющая этой силы направлена вправо, скорость диска будет уменьшаться. Вместе с тем момент этой силы относительно точки  $O$  направлен по часовой стрелке и, следовательно, тормозит вращение диска.

26. Хотя сила — вектор, сама по себе взятая она знаков плюс или минус не имеет. Этот знак приписывают силе при решении той или иной задачи. В данном случае правилом параллелограмма предусмотрен один ответ: равнодействующая двух сил, приложенных в одной точке под углом друг к другу, является диагональю параллелограмма, построенного на слагаемых силах, как на сторонах, т. е. сила равна  $R$ .

Неоднозначность в ответе получилась из-за неполного использования данных.

27. Противоречия нет. Равнодействующей сил  $F_1, F_2, F_3$  можно с одинаковым основанием считать как силу  $R$ , приложенную в точке  $D$ , так и силу  $R'$ , приложенную в точке  $E$ . Равнодействующая нескольких сил, приложенных к различным точкам твердого тела, не имеет определенной точки приложения. Равнодействующая имеет лишь определенную линию действия.

28. Если чертеж выполнен правильно, то точка  $D$  совпадает с точкой  $C$ , т. е. равновесие рычага не нарушится. На рисунке 9 при переносе сил  $R$  и  $P_2$  в точку  $O$  не сохранены первоначальные длины векторов.

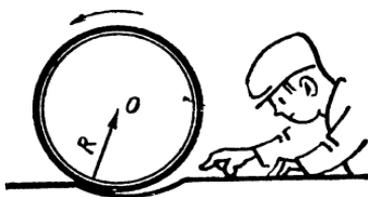


Рис. 142.

29. Вес  $P$ , действуя на пол, вызывает реакцию пола — силу  $P_1$ , равную  $P$ , но направленную противоположно  $P$  и приложенную к шару. Эту силу по правилу параллелограмма можно также разложить на составляющие  $Q_1$  и  $T_1$ , которые будут уравновешивать силы  $Q$  и  $T$ . Ошибка рассуждений в том, что «забыта» реакция пола  $P_1$  и допущено существование силы реакции стены.

30. Равнодействующая двух сил, приложенных к разным точкам деформируемого тела, не эквивалентна этим силам. Это особенно ясно в случае, когда силы  $F_1$  и  $F_2$  приложены вблизи опор  $A$  и  $B$ . Тогда доска почти не будет прогибаться под действием сил  $F_1$  и  $F_2$ , но будет иметь заметный прогиб под действием силы  $R$ . Следовательно, стрела прогиба изменится.

31. В решении не учтено положение центра тяжести пластины и действие реакции плоскости опоры на пластину. Пара сил  $F_1$  и  $F_2$  сообщает телу вращение вокруг его центра тяжести  $C$ . Так как это вращение направлено против часовой стрелки (такое «вращение» имеет сама пара сил), то точка  $B$  станет двигаться в направлении, противоположном направлению силы  $F_2$ .

Этот же ответ можно получить на основании теоремы о независимости момента пары сил от положения точки  $C$ , относительно которой он берется. Перенеся центр пары в параллельной плоскости в точку  $C$  (центр тяжести пластины), приходим к выводу, что точка  $B$  будет двигаться противоположно направлению силы  $F_2$ .

32. Остается неподвижным центр тяжести системы ракета — газы, выбрасываемые ею.

33. Работа силы трения  $F_{тр}$  на пути  $\Delta s$  равна  $A = F_{тр} \cdot \Delta s$ . В случае вращательного движения длина дуги  $\Delta s = r \cdot \Delta \alpha$ . Таким образом,  $A = F_{тр} r \cdot \Delta \alpha = M \cdot \Delta \alpha$ . Следовательно, на вращение вала в подшипнике скольжения влияет не столько сила трения, сколько ее момент. Чтобы его уменьшить, надо уменьшить радиус трущейся поверхности, что и достигается заострением концов осей или их утоньшением.

34. Продолжив прямую действия силы  $F$  до пересечения с горизонтальной плоскостью, легко убедиться, что в случае катушки  $A$  прямая проходит правее мгновенной оси ее вращения (линии соприкосновения катушки с плоскостью), а во втором — левее. Это создает разные моменты сил, вращающие катушки в противоположных направлениях.

35. Пусть сила, с которой пар давит на поршень цилиндра, равна  $F$  (рис. 143). Тогда сила, с которой шатун  $DA$  действует на колесо, также будет равна  $F$  (если пренебречь небольшим наклоном шатуна). Но пар давит также и на переднюю стенку цилиндра, действуя на нее с силой  $F_1 = F$ . Так как цилиндр жестко связан с паровозом, то эта сила передается через корпус паровоза на колесо. Поэтому в точке  $B$  к колесу приложена сила  $F_1$ , направленная влево. Таким образом, на колесо действуют две равные силы  $F$  и  $F_1$ , приложенные в разных точках ( $A$  и  $B$ ).

Каждая из этих сил стремится вращать колесо вокруг точки  $C$ , но плечо  $BC$  больше плеча  $AC$  (наклоном шатуна пренебрегаем). Поэтому колесо будет вращаться против часовой стрелки и катиться влево.

Таким образом, в положении, которое изображено на рисунке 143, колесо движется вперед не под действием шатуна, а под действием паровоза, который приводится в движение непосредственно силой  $F'$  давления пара.

Если точка  $A$  шатуна (и колеса) находится в верхнем положении (над точкой  $B$ ), то, повторяя аналогичные рассуждения, приходим к выводу, что момент силы давления пара на поршень (который теперь движется влево) больший, чем момент силы давления пара на стенку цилиндра. В этом положении колесо движется влево уже под действием шатуна.

36. Софизм раскрывается тем, что во втором способе решения составляющая  $F$  не уравнивается силами трения колес о рельсы, а образует вместе с ними пару сил (рис. 144). Эту пару можно заменить другой парой сил ( $T_1 - T_2$ ) с равным моментом, из которых одна ( $T_2$ ) прибавляется к силе  $P_2$ , а другая ( $T_1$ ) вычитается из  $P_1$ , т. е. опять-таки нижние колеса давят сильнее верхних.

То, что в первом решении получаются вертикальные силы давления, а во втором — нормальные к рельсам, не является противоречием. Ведь в первом случае  $P_1$  и  $P_2$  — полные силы давления колес на рельсы, которые уравниваются нормальными реакциями рельс и силами трения, а во втором случае получаются только нормальные составляющие этих сил, уравнивающиеся

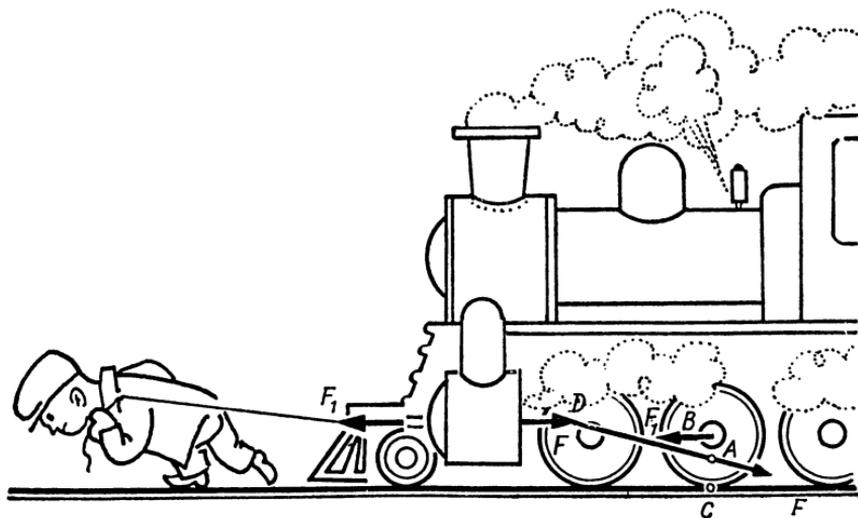


Рис. 143.

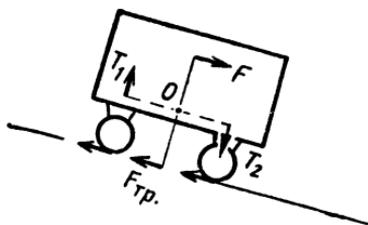


Рис. 144.

ся нормальными реакциями. Силы же трения распределяются пропорционально этим составляющим и в сумме с ними дают такие же силы, как и на рисунке 16.

37. Скорость движения центра тяжести мальчика, как и в случае с шариком, при переходе на лед не изменяется. Бег человека состоит в том, что в определенные моменты

он выбрасывает вперед ногу со скоростью большей, чем движется его центр тяжести. При беге на земле благодаря трению выброшенная вперед нога останавливается и центр тяжести переносится через эту опору. На льду выброшенная вперед нога не останавливается, человек теряет опору и падает.

38. Чтобы решить вопрос о равновесии тела, имеющего ось вращения, надо найти суммы моментов сил, вращающих тело по часовой стрелке и против. Проектируя центр тяжести каждого из шаров на линию  $AB$  (рис. 18), определяем плечо каждой силы. Составив алгебраическую сумму моментов сил, вращающих колесо, убеждаемся, что она равна нулю. Следовательно, колесо само во вращение прийти не может. Если же привести его во вращение, сообщив ему некоторую энергию, то через определенное время колесо остановится, израсходовав полученный запас энергии на трение в оси и сопротивление воздуха.

39. См. ответ к задаче № 38.

40. См. ответ к задаче № 38.

41. Явление основано на иллюзии «движения конуса вверх». Перемещаются вверх точки прикосновения конуса к пластинам, в то время как центр тяжести конуса опускается вниз (рис. 145). За счет удаления друг от друга концов дощечек и конической формы концов катящегося тела оно как бы проваливается между дощечками, и ось конуса опускается.

42. Парадокс разъясняется известным условием равновесия сил на наклонной плоскости, сформулированным С. Стевином: «Тело на наклонной плоскости удерживается в равновесии силой, которая действует в направлении наклонной плоскости и во столько раз меньше, во сколько раз длина наклонной плоскости больше высоты ее», т. е.  $\frac{F}{P} = \frac{h}{l}$ .

43. См. ответ к задаче № 42.

44. Колесо вечно вращаться не будет, так как алгебраическая сумма моментов всех сил, приложенных к нему, равна нулю (см. ответ к задаче № 38).

45. Оси цилиндров не являются их осями вращений, вернее качений. Таковыми являются линии касания цилиндров горизонтальной площадки. А относительно этих осей составляющие си-

лы тяжести верхнего цилиндра  $P_1$  и  $P_2$  имеют моменты сил. Например, для левого нижнего цилиндра он равен  $P \cdot LK$  (рис. 146).

При отсутствии трения каждую из составляющих  $P_1$  и  $P_2$  можно также разложить на две силы — вертикальную и горизонтальную составляющие. Под действием противоположно направленных горизонтальных составляющих нижние цилиндры будут скользить в противоположные стороны.

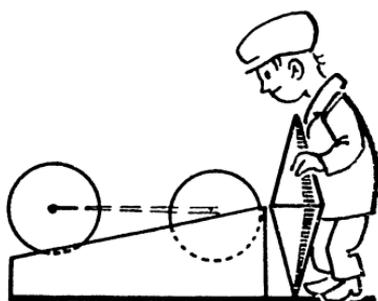


Рис. 145.

46. Велосипедист на корабле сохранит равновесие. Это вытекает из принципа относительности Галилея, согласно которому в системе координат, движущейся равномерно и прямолинейно (так называемой инерциальной системе координат), все механические явления протекают так же, как и в неподвижной системе. Корабль шел с постоянной скоростью, значит, он — инерциальная система отсчета. Следовательно, на его палубе велосипедист, поворачивая руль в сторону падения и двигаясь по криволинейной траектории, будет удерживать равновесие так же, как он удерживает его на неподвижном корабле или на земле.

На испытательном стенде велосипедист движется относительно «своей дороги» с огромной скоростью. Устойчивость велосипеда обеспечивают быстро вращающиеся колеса-волчки.

47. Дальность полета зависит не только от высоты, но и, в большей степени, от начальной скорости бросания. Начальная скорость струй, вытекающих из нижнего отверстия, больше, чем из верхнего, так как давление жидкости на уровне нижнего отверстия больше, чем на уровне верхнего.

Более строго это доказывается следующим расчетом. Пусть на высоте  $H$  от дна цилиндрического сосуда и на глубине  $h$  от верхнего уровня жидкости имеется отверстие в стенке сосуда (рис. 147). Пусть частицы жидкости вылетают из него со ско-

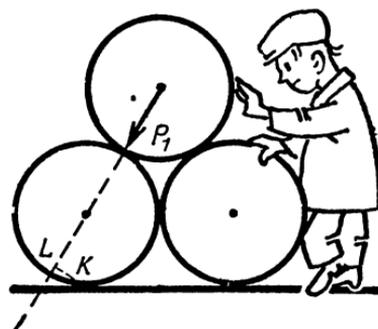


Рис. 146.

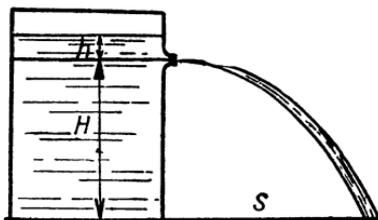


Рис. 147.

ростью  $v$ . Тогда дальность полета струи  $s$  определится из совместного решения уравнений:

$$H = \frac{gt^2}{2} \text{ и } s = vt, \text{ т. е. } s = v\sqrt{\frac{2H}{g}}.$$

Скорость вылета частиц из отверстия выражается формулой Торричелли:  $v = \sqrt{2gh}$ . Подставляя правую часть ее в выражение для дальности, получим:  $s = 2\sqrt{hH}$ .

Таким образом, наибольшая дальность полета струи имеет место тогда, когда  $H = h$ , т. е. когда отверстие сделано посредине высоты сосуда, а жидкость все время заполняет сосуд. Во всех других случаях расположения отверстия вверх и вниз от середины дальность полета будет меньше. В случае, указанном в условии задачи, чем выше отверстие, тем меньше дальность.

48. Когда столб воды в трубке, имеющий небольшой вес, давит на воду в бочке, это давление, по закону Паскаля, передается без изменения по всем направлениям. Возникающая при этом сила давления на стенки пропорциональна площади стенок. Таким образом, хотя давление и невелико, сила давления огромна.

49. Если б тело, на которое производится давление столбов жидкости в трубках, было твердым, то ошибочность заключения была бы очевидна: при удвоении силы и удвоении площади, на которую действует сила, давление должно остаться неизменным.

Согласно закону Паскаля давление, производимое столбом жидкости в трубке  $A$  на воду в бочке, передается по всем направлениям одинаково. При достаточной крепости бочки сила давления воды на бочку уравнивается жесткостью ее стенок. В основании трубки  $B$  будет то же давление, что и в основании трубки  $A$ . Поэтому уравновесить силу давления воды изнутри бочки на основание трубки  $B$  может вес столба воды в трубке  $B$  высотой, равной высоте столба воды в трубке  $A$ . Столб воды в трубке  $B$  является своеобразной «пробкой», запирающей бочку и позволяющей столбу воды в трубке  $A$  производить давление. Столб воды в трубке  $B$  с таким же успехом может быть заменен деревянной пробкой. Итак, если вместо одной трубки с водой взять две, давление на стенки бочки не изменится.

50. Хотя вода в объеме  $ABCD$  весит  $24,5$  н, сила давления этой воды на дно  $CD$  больше, чем  $24,5$  н. Сила давления воды на дно  $CD$  равна весу цилиндрического столба воды с основанием, равным площади дна  $CD$ , и высотой, равной разности уровней площадок  $AB$  и  $CD$ . Так как сосуд  $ABCD$  суживается кверху, то его объем меньше указанного объема цилиндра. Поэтому дно  $CD$  отрывает сила не  $24,5$  н, а большая сила, и если на дно  $CD$  поставить груз весом  $24,5$  н, то дно не отпадает.

51. Рассмотрим механизм передачи давления жидкостью в соответствии с законом Паскаля. Когда на поверхность жидко-

сти в каком-либо месте производится давление, то определенный слой ее в этом месте уплотняется. Это создает силу упругости; препятствующую дальнейшему уплотнению жидкости, с одной стороны, и вызывает давление на соседний слой, с другой стороны. Так, переходя от слоя к слою, давление передается по всей жидкости, уравниваясь на любой площадке, помещенной в любом месте жидкости. Поэтому давление, производимое на жидкость внешней силой, например, на площадку  $C$  (рис. 30), будет передано ею одинаково и на площадку  $A$ , и на площадку  $B$ .

Точно так же и гидростатическое давление вышележащих слоев жидкости на нижележащие, созданное весом жидкости, приводит к уплотнению жидкости в соответствующем месте и уравниванию на любой глубине. В отличие от вышерассмотренного случая гидростатическое давление по мере погружения в жидкость растет, так как увеличивается высота столба весомой жидкости. Это вызывает увеличение уравнивающей силы упругости нижележащего слоя жидкости.

Противоречие, сформулированное в условии задачи, разрешается тем, что разность гидростатических давлений на площадке  $B$  и площадку  $A$  не может быть передана жидкостью потому, что этому препятствует вес вышележащих слоев жидкости. В условиях невесомости «противоречие» исчезает — давления на площадки  $A$  и  $B$  одинаковы во всех случаях.

52. Сила давления направлена перпендикулярно к поверхности, на которую жидкость давит. Разложив эту силу на горизонтальную и вертикальную составляющие (рис. 148) и рассмотрев подобные треугольники  $ABC$  и  $OF_B F_2$ , убеждаемся, что силы  $F_1$  и  $F_2$  равны. А так как они противоположно направлены друг к другу, то поршень будет находиться в равновесии.

53. Рассмотрим давление у дна сосуда  $B$ . До нагревания оно было равно  $p = \rho gh$ , а после нагревания стало  $p_1 = \rho_1 g h_1$ , где  $\rho$  и  $h$  — плотность и высота холодной воды, а  $\rho_1$  и  $h_1$  — горячей воды.

$$\text{Тогда } \frac{p_1}{p} = \frac{\rho_1 g h_1}{\rho g h}.$$

Но вес воды при нагревании не изменяется. Поэтому  $\frac{p_1}{p} = \frac{V}{V_1}$ , где  $V$  — объем воды до нагревания, а  $V_1$  — после нагревания. Следовательно,  $\frac{p_1}{p} = \frac{V}{V_1} \cdot \frac{h_1}{h}$ . Объем усеченного конуса равен:  $V = \frac{1}{3} h (s + S + \sqrt{sS})$  и  $V_1 = \frac{1}{3} h_1 (s + S_1 + \sqrt{sS_1})$ , где  $s$  — площадь дна, а  $S$  и  $S_1$  — площадь поверхности воды до и после нагревания. Окончательно получаем:

$$\frac{p_1}{p} = \frac{s + S + \sqrt{sS}}{s + S_1 + \sqrt{sS_1}}.$$

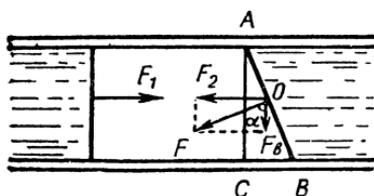


Рис. 148.

бы она описала полную окружность в направлении  $BA$  и вылилась из отверстия  $A$ , то вследствие трения скорость в точке  $B$  станет меньше начальной. После ряда циклов скорость воды уменьшится настолько, что она не сможет пройти верхнюю точку окружности и возвратиться обратно, двигаясь по часовой стрелке. При этом часть воды выльется из отверстия  $B$ . Остаток воды, совершив некоторое число колебаний, расположится в нижней части трубы, и все движение воды прекратится.

55. В первом случае на воду в стакане действовали сила тяжести и сила давления атмосферы. (Давлением насыщающего пара в пузырьках, содержащихся в воде при температуре  $20^\circ\text{C}$ , пренебрегаем.) Так как вторая значительно больше первой, то вода из стакана целиком вся сразу, как поршень из цилиндра (рис. 149), выйти не может. Если немного отогнуть лист от стакана так, чтобы образовалась щель, то часть воды будет выливаться, а вместо нее будет входить воздух. И это будет продолжаться до тех пор, пока вся вода не вытечет.



Рис. 149.

Так как  $S < S_1$ , то  $p_1 < p$ , т. е. нагревание воды приводит к уменьшению давления. Отсюда следует, что вода будет переливаться из сосуда  $A$  в сосуд  $B$ .

54. Устройство представляет собой сообщающиеся сосуды. Если в точке  $B$  вливаемой воде сообщить скорость, достаточную для того, что-

бы она описала полную окружность в направлении  $BA$  и вылилась из отверстия  $A$ , то вследствие трения скорость в точке  $B$  станет меньше начальной. После ряда циклов скорость воды уменьшится настолько, что она не сможет пройти верхнюю точку окружности и возвратиться обратно, двигаясь по часовой стрелке. При этом часть воды выльется из отверстия  $B$ . Остаток воды, совершив некоторое число колебаний, расположится в нижней части трубы, и все движение воды прекратится.

56. На трубку действует притяжение Земли и сила атмосферного давления (а не вес ртути), равная произведению атмосферного давления на площадь поперечного сечения трубки. Сила атмосферного давления равна  $F = p_{\text{ат}} S = \rho_{\text{рт}} g HS = = \rho_{\text{рт}} g V_{\text{рт}} = P_{\text{рт}}$ , т. е. равна весу ртутного столба в трубке.

57. Если открыть кран  $A$ , то, приняв давление воздуха на воду на уровне крана  $A$  и на уровне реки одинаковыми, придем к выводу, что

уровень воды в баке выше, чем в реке. Поэтому, как в обычном сифоне, вода потечет из бака по трубке *B* в реку. Если все же учитывать разность атмосферного давления на высоте крана *A* и на уровне реки, то оно мало по сравнению с гидростатическим давлением воды и существенного влияния на работу установки оказать не может.

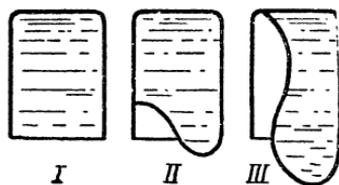


Рис. 150.

58. Сначала прибор действует как сифон, т. е. жидкость перетекает из сосуда *C* по трубке *B* в основной резервуар. Затем образовавшаяся неустойчивая поверхность *CD* в широком сосуде (рис. 151) пропускает пузырек воздуха в узкую часть трубки. Вследствие этого столб воды в верхнем колене делится на две части, и вода после этого будет выливаться как из трубы *B*, так и из отверстия *A*.

59. В процессе заполнения первого витка шланга внутри него образуется воздушная ловушка (пробка). Этот-то воздух и не дает воде протечь сквозь весь первый виток.

60. Различие в показаниях барометра возникло потому, что давление измерялось на разных высотах.

61. По трубке *1* из сосуда *C* вода выливается в сосуд *B* и создает сжатие воздуха в сосуде *B* и через трубку *2* в сосуде *A*. Сжатый воздух заставляет воду через трубку *3* бить фонтаном. Фонтан действует, пока вся вода из сосуда *A* не перетечет в сосуд *B*.

Таким образом, вечного круговорота воды не будет. Нет и нарушения закона сохранения энергии. Свою кинетическую энергию частицы струи *4* получают за счет потенциальной энергии воды, наполняющей сосуд *A*.

62. Воздух входит или выходит из резинового шара тогда, когда шар деформируется. А это бывает тогда, когда давления воздуха внутри и снаружи оболочки различные. При накачивании воздуха в шар при открытом кране насос совершает некоторую работу, растягивая резиновую оболочку. При этом давление внутри шара немного больше атмосферного. Разность давлений внутри и вне оболочки, умноженная на поверхность шара, дает силу, уравновешивающую силу упругости резины.

При закрытом кране и отключенном насосе небольшая часть воздуха выйдет из трубки *B*, оболочка немного сожмется, а в сосуде давление

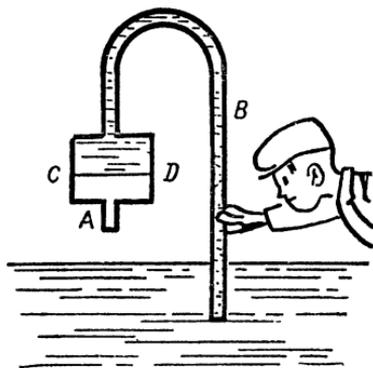


Рис. 151.

воздуха станет меньше атмосферного. Новая разность давлений воздуха внутри и вне оболочки приведет к ее равновесию.

63. В решении предполагается, что давление на дно во всех точках одинаково и тогда, когда камень плавал, находясь в стакане, и тогда, когда он находился на дне сосуда. А ведь во втором случае в местах, где камень соприкасался с дном, давление на дно было бóльшим, чем в местах, где вода покрывала дно.

64. В первом решении допущены две ошибки, на которые указывается во втором решении: неправильно определена выталкивающая сила, действующая на нижнюю часть цилиндра, и ошибочно допущено, что на верхнюю его часть также действует выталкивающая сила. Однако эти ошибки компенсируют друг друга, так что в итоге получается правильный результат.

Расчет, о котором говорится во втором решении, выглядит так: на основание  $AB$  производится давление, равное

$$p_{AB} = (\rho_1 g h + CK) + \rho_2 g BK,$$

где  $h$  — толщина слоя воды над верхним основанием,  $\rho_1$  — плотность воды,  $\rho_2$  — плотность ртути,  $g$  — ускорение силы тяжести. На верхнее основание производится давление  $p_{MC} = \rho_1 g h$ . Если  $S$  — площадь основания цилиндра, то выталкивающая сила равна:

$$F = (p_{AB} - p_{MC}) S = CK \cdot S \rho_1 g + BK \cdot S \rho_2 g.$$

Таким образом, выталкивающая сила равна весу воды в объеме  $EKCM$  плюс вес ртути в объеме  $ABKE$ . Более строгим является второе решение.

65. В решении не учтено, что вода также давит на ртуть, а ртуть передает это давление на брусок в направлении снизу вверх. Так как высота водяного столба, действующего на ртуть, больше, чем высота водяного столба, действующего на брусок, то сила давления воды на брусок снизу вверх больше, чем сверху вниз. И брусок немного всплывает по отношению к уровню ртути.

66. Противоречие разрешается тем, что под понятием «равновесие тела» следует понимать равновесие системы вода — льдина, а не равновесие части системы — самой льдины. В случае  $b$  центр тяжести системы действительно находится ниже, чем в случае  $a$ .

67. Когда кусок дерева всплывал, некоторое количество воды опустилось, заняв объем, принадлежавший раньше куску дерева. Следовательно, имел место переход части потенциальной энергии системы вода — дерево в кинетическую энергию куска дерева.

68. Противоречия с законом сохранения энергии здесь нет. На погружение сосуда  $A$  в воду на некоторую глубину была затрачена определенная энергия.

Несмотря на то что керосин, всплывая, увеличивает свою потенциальную энергию по отношению к Земле, потенциальная энергия системы вода — керосин уменьшается. Это объясняется

тем, что вместо поднятого вверх «легкого» керосина теперь в сосуде *A* находится «более тяжелая» вода, занимающая тот же объем, который занимал керосин.

Изменение потенциальной энергии системы в данном случае, как и во всяком сифоне, превращается сначала в кинетическую энергию струи керосина, а затем во внутреннюю энергию всей системы.

69. Шкала ареометра, градуированная на Земле, пригодна на любой планете.

70. Коробка с гирей весит столько же, сколько и вытесненная ею вода. Поэтому перемещение коробки с гирей не нарушает равновесие кюветы.

Если же в левой части кюветы вынуть гирю и поставить на дно кюветы, то коробочка всплывает, освободившаяся полость заполняется водой, левая часть становится тяжелее и равновесие нарушается.

71. В решении не учтено, что в соответствии с третьим законом Ньютона, если вода действует с некоторой силой на тело вверх, то оно в свою очередь действует на воду с такой же силой вниз. Следовательно, груз *P* толкает сосуд с водой вниз с силой 0,98 *n*. Обе силы создают моменты, вращающие коромысло весов против движения часовой стрелки. Поэтому, чтобы восстановить равновесие, на правую чашку весов необходимо поместить груз, масса которого 200 г.

72. В решении не учтено уменьшение веса правой и левой частей сосуда вследствие того, что оба куса металла вытесняют некоторый объем воды, равный объему погруженного тела. Так как объем куска алюминия равен  $0,5 \text{ кг} : 2700 \text{ кг/м}^3 = 1,85 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ , а куска свинца  $0,4 \text{ кг} : 11\,400 \text{ кг/м}^3 = 0,35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ , то уменьшение веса воды в правой части сосуда будет большим. Таким образом, погружая тела, увеличивают массу левой части сосуда на  $0,4 \text{ кг} - 0,035 \text{ кг} = 0,365 \text{ кг}$ , а правой — на  $0,5 \text{ кг} - 0,185 \text{ кг} = 0,315 \text{ кг}$ . Следовательно, левая часть сосуда перетянет.

73. Вес часов здесь не является определяющим фактором. Когда песок находится в верхнем отделении, то часы, из-за того что центр тяжести расположен высоко, а верх и низ часов сделаны выпуклыми, отклоняются и их стенки упираются в стенки цилиндра. Возникающая при этом сила трения удерживает песочные часы на дне цилиндра. После того как часть песка перетечет в нижнее отделение, часы выпрямляются и без помех всплывают.

Если часы слегка тяжелее вытесняемого ими объема воды, эффект получается обратный. Иначе говоря, в нормальном положении часы покоятся на дне цилиндра. Если цилиндр перевернуть, то часы будут оставаться некоторое время наверху и спустятся лишь после того, как часть песка перетечет в нижнее отделение. Объяснение этого эффекта в принципе такое же, как и в первом случае.

**74.** Невесомость погруженного в воду человека заключается в том, что он находится в ней в состоянии безразличного равновесия, т. е. не давит на подставку и не растягивает «нить» подвеса. Но сам человек подвергается силе гидростатического давления, зависящего от глубины погружения.

Если камера с водой, в которой находится космонавт, движется ускоренно, то вода испытывает большое давление со стороны одной из ее стен. Это давление вода передает по всем направлениям, в том числе и на все точки тела человека. Таким образом не удастся освободить космонавта от действия перегрузки.

Различие состоит лишь в том, что увеличенное давление воды распределяется равномерно по всему телу. Перегрузки, действующие на внутренние органы человека, остаются прежними.

**75.** Вал вообще вращаться не будет, так как жидкость давит на его боковую поверхность во всех точках нормально (по направлению радиуса вала). Поскольку направления этих сил проходят через ось вала, они не могут вызвать его вращения. Более того, равнодействующая всех этих сил направлена наружу, поэтому вал будет выталкиваться из бака, а не вращаться.

**76.** Те же самые силы, которые действуют на поплавки 1, 2, 3 вверх, будут препятствовать движению поплавок 4. То обстоятельство, что из воды выталкиваются три поплавок, а в воду вталкивается один, дела не меняет. По третьему закону Ньютона, с какой силой вода выталкивает три поплавок, с такой же силой поплавок действуют на воду в противоположном направлении. Эта дополнительная к весу сила давления передается на четвертый поплавок, когда он входит в трубу А. Поэтому система работать не будет.

**77.** Уменьшение веса колеса, погруженного в жидкость, одинаково как справа от вертикальной линии, проведенной через ось колеса, так и слева, т. е. суммарный момент выталкивающих сил равен нулю. Значит, колесо, получив толчок, в конце концов остановится. «Ни одно тело не может при помощи своего движения падения вернуться на первоначальную высоту; движение его имеет конец», — писал Леонардо да Винчи.

**78.** См. ответ к задаче № 42.

**79.** Софизм заключен в том, что из факта  $F = kv^2$ , вовсе не следует, что  $F_1 = kv_1^2$  и  $F_2 = kv_2^2$ . Действительно,  $F_1 = F \cos 60^\circ$  и так как  $F = kv^2$ , то  $F_1 = kv^2 \cos 60^\circ$ .

С другой стороны, так как  $v_1 = v \cos 60^\circ$ , то  $kv_1^2 = kv^2 \cos^2 60^\circ$ . Сравнивая правые части равенства, убеждаемся в том, что  $F_1 \neq kv_1^2$ .

Аналогично можно доказать, что  $F_2 \neq kv_2^2$ .

**80.** Обладая по отношению к своей массе весьма большой поверхностью, водяные капельки облаков при падении испытывают настолько значительное сопротивление, что опускаются крайне медленно. Итак, фактически облака падают, но медленное паде-

ние их либо остается незамеченным, либо компенсируется поднятием восходящими воздушными течениями.

81. В начале движения реактивного снаряда его скорость относительно Земли в течение некоторого промежутка времени меньше скорости самолета. Поэтому снаряд движется в том же направлении, что и самолет, т. е. стабилизаторами вперед. Стабилизаторы разворачивают снаряд в направлении движения самолета так, чтобы его сопротивление набегающему потоку воздуха было минимальным; затем за счет реактивной тяги скорость снаряда увеличивается, и он догоняет самолет.

82.  $1 \text{ Дж}$  — это работа, совершаемая силой в  $1 \text{ н}$  на пути в  $1 \text{ м}$ . Если равномерно поднимать груз весом  $1 \text{ н}$  на высоту  $1 \text{ м}$ , то будет совершена работа в  $1 \text{ Дж}$ . Если же приложить силу, большую  $1 \text{ н}$ , то груз поднимется на высоту  $1 \text{ м}$  и приобретет еще кинетическую энергию, величина которой зависит от величины приложенной силы. Таким образом, поднимая груз весом  $1 \text{ н}$  на высоту  $1 \text{ м}$ , всегда можно совершить работу больше  $1 \text{ Дж}$ .

83. Для подъема камня в воде действительно надо прилагать силу, меньшую, чем  $1 \text{ н}$ . Значит, какие-то внешние силы совершат работу, меньшую, чем  $1 \text{ Дж}$ . Но поднятый на высоту  $1 \text{ м}$  груз весом  $1 \text{ н}$  обладает потенциальной энергией в  $1 \text{ Дж}$ . При этом дополнительная энергия берется за счет убыли потенциальной энергии воды, в которую погружен камень. Когда груз поднимается вверх, на его место опускается некоторый объем воды и потенциальная энергия ее уменьшается. Таким образом, никакого нарушения закона сохранения энергии здесь нет. Над системой камень — вода совершена работа, благодаря чему изменена потенциальная энергия системы на величину, меньшую, чем  $1 \text{ Дж}$ .

Если удалять воду один раз до подъема камня и второй — после подъема, то при этом потенциальная энергия воды во втором случае изменяется на меньшую величину (ибо часть своей энергии вода «отдает» камню). Следовательно, при подъеме груза в  $1 \text{ н}$  на высоту  $1 \text{ м}$  в воде совершается работа в  $1 \text{ Дж}$ .

84. Блок меняет направление силы так, что она действует на груз в направлении его движения.

85. Работа — это процесс передачи энергии от одного тела к другому или превращения энергии из одного вида в другой. Мерой работы над телом является величина изменения его энергии. В обоих случаях, описанных в задаче, над телом была совершена работа внешней силой. В первом случае она привела к изменению кинетической энергии тела, во втором — к изменению внутренней энергии. Формула  $A = Fs \cos \alpha$  дает возможность вычислить работу, но не раскрывает ее физического смысла. Факт уравнивания силы тяги силой сопротивления среды не исключает самого процесса совершения работы. Наличие уравнивающей силы влияло лишь на форму превращения энергии внешнего источника.

Софизм задачи основан на допущении эквивалентности состояния равновесия тела, к которому приложены уравновешивающиеся силы и не приложены никакие силы. Если для статики эти случаи эквивалентны, то для процесса совершения работы они не эквивалентны.

86. При нецентральной ударе шарик, отскакивая от гальки, может начать вращаться. При этом полная кинетическая энергия будет состоять из двух видов: кинетической энергии поступательного и кинетической энергии вращательного движений. Вследствие этого скорость центра тяжести будет невелика, и он поднимется не очень высоко. Если при следующем ударе шарик перестанет вращаться, то его кинетическая энергия вращательного движения перейдет в кинетическую энергию поступательного движения центра тяжести, а затем при подъеме в потенциальную энергию. Шарик поднимается выше того уровня, на котором он был до этого. Общий же запас энергии шарика при каждом подскоке уменьшается, так как часть механической энергии при ударе переходит во внутреннюю (шарик нагревается).

87. Согласно определению кинетическая энергия тела относительно заданной системы отсчета равна  $\frac{mv^2}{2}$ , где  $v$  — скорость тела в этой системе отсчета. В первом решении допущена ошибка: кинетическая энергия тела относительно абсолютной системы координат не равна сумме кинетических энергий относительного и переносного движений. Другими словами, в первом решении неявно предполагается, что кинетическая энергия тела изменяется в такой же степени, как и скорость движения. А ведь между энергией и скоростью существует нелинейная зависимость.

88. См. ответ к задаче № 87.

Кроме того, следует отметить, что человек, работая, чтобы сообщить камню скорость, и находясь в поезде, одновременно действовал с некоторой силой на этот поезд и сообщал ему некоторую скорость. Таким образом, бросая камень назад, человек толкал поезд вперед и увеличивал его скорость. Останавливая камень относительно земли, человек передавал его кинетическую энергию поезду. Таким образом, кинетическая энергия камня не исчезла, а перешла в кинетическую энергию поезда.

89. Ошибка решения в том, что оно проведено формально и не учитывает особенностей центрального идеально упругого удара.

Если при абсолютно упругом центральном ударе двух одинаковых шаров один до удара покоился, то, как известно из теории, после удара покоившийся шар начнет двигаться со скоростью, равной той, которую имел первый шар до удара, а ранее двигавшийся шар останавливается. В описанной установке происходит ряд последовательных абсолютно упругих центральных ударов одного шара о другой с теми же результатами. Шары № 1—8, передав свою скорость (энергию), останавливаются,

а последний шар № 9 отскакивает со скоростью, которую имел первый шар в момент удара, и поднимается на ту высоту, с которой упал первый шар. Таким образом, шар № 8 никак не может прийти в движение.

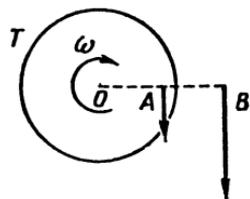


Рис. 152.

90. Во время торможения вагонов, имеющих рессоры, оси вагона движутся с меньшей скоростью, чем корпус вагона. Вследствие инерции центр тяжести вагона обгоняет оси, и вагон несколько опускается вниз (особенно в передней части). При этом в большей степени деформируется передняя рессора, чем задняя. В момент остановки рессоры возвращаются в свое нормальное положение, отбрасывая вагон и находящихся в нем пассажиров несколько вверх и назад.

Кроме указанного «объективного» фактора, действует и другой, «субъективный» фактор. Чтобы придать своему телу замедление, соответствующее замедлению вагона при его торможении, стоящий пассажир напрягает мускулы ног. В момент остановки мышцы тела сообщают человеку толчок назад.

91. При сжигании дров на втором этаже будет получена та же энергия, что и при сжигании их на первом этаже. Потенциальная энергия вязанки дров, поднятой на второй этаж, превратится в потенциальную энергию продуктов горения.

92. Точки колеса, соприкасающиеся с рельсом, имеют скорость, равную нулю. В сторону, обратную движению вагона, перемещаются точки реборды, находящиеся ниже линии соприкосновения колеса и рельса.

93. Если тело  $T$  вращается с угловой скоростью  $\omega$  вокруг точки  $O$  (рис. 152) и  $v_A = \omega \cdot OA$ , то могут быть различные случаи движения тела  $B$  по отношению к наблюдателю  $A$ . В одном из них, когда  $v_B = \omega \cdot OB$ , тело  $B$  будет даже неподвижным относительно наблюдателя  $A$ . Прав второй ученик.

94. Первое решение неверно. Ошиб-

ка его в том, что вектор  $\vec{v}$  нельзя переносить из точки  $B$  в точку  $A$ . Эта операция имеет физический смысл лишь в случае, когда скорости точек  $A$  и  $B$  направлены по одной прямой. Кроме того, скорость точки  $A$  всегда перпендикулярна к радиусу вращения, т. е. направлена так, как вектор  $\vec{\omega}$ , а не как вектор  $\vec{v}$  (под острым углом к радиусу  $OA$ ).

95. Логическая ошибка заключается в том, что описание явления, наблю-

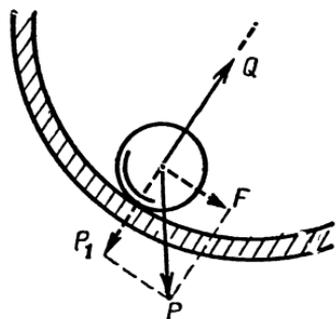


Рис. 153.

даемого в одних системах отсчета, переносится без всякого основания на другие системы отсчета.

96. Если векторная сумма сил, приложенных к материальной точке, направлена под углом к вектору скорости ее движения, то, вообще говоря, скорость будет изменяться и по величине, и по направлению. Разложим силу тяжести  $P$  (рис. 153) на радиальную  $P_1$  и тангенциальную  $F$  составляющие. Центробежная сила создается разностью сил реакции  $Q$  и составляющей  $P_1$ . Численное значение реакции  $Q$  можно определить из уравнения

$$\frac{mv^2}{R} = Q - P_1.$$

97. Никакого противоречия здесь нет. Прямая или обратная пропорциональность между двумя величинами имеет место тогда, когда другие величины, входящие в формулу, остаются при этом постоянными. При постоянной угловой скорости центробежная сила должна быть пропорциональной радиусу окружности вращения. При этом линейная скорость не остается постоянной, она также пропорциональна радиусу. В итоге в выражении (2) при увеличении радиуса числитель возрастает пропорционально квадрату радиуса, а знаменатель — первой степени радиуса, т. е. выражение (2), так же как и (1), возрастает.

98. Центробежная сила зависит не только от радиуса, но и от квадрата линейной скорости ( $F = \frac{mv^2}{R}$ ). Вблизи оси вращения линейная скорость близка к нулю. А так как она входит в формулу в квадрате, то она и определяет величину центробежной силы.

99. Точка  $C$  — это единственная точка, находясь в которой шарик при данной угловой скорости будет оставаться в покое относительно желоба. Чтобы удовлетворить условию задачи, надо поместить его именно в эту точку вращающегося желоба. Если шарик поместить ниже точки  $C$ , то равнодействующая сила  $F$  окажется больше величины  $m\omega^2 r_1$  и шарик скатится в точку  $A$ . Если поместить его выше точки  $C$ , то равнодействующая сила  $F$  окажется меньше той, которая необходима для удержания его на новой окружности обращения ( $m\omega^2 r_2$ ), и шарик начнет удаляться от точки  $A$ , пока не соскочит с желоба. Таким образом, точка  $C$  является точкой неустойчивого «равновесия» шарика (сила трения не учитывается).

При увеличении  $n$  — числа оборотов в единицу времени в полном соответствии с полученным решением должна быть найдена

новая точка «равновесия»  $C_1$ , такая, что  $AC_1 = \frac{g\sqrt{2}}{4\pi^2 n_1^2}$ . Она ока-

зывается ближе к точке  $A$ , и в нее надо перенести шарик. Тогда он снова будет находиться в покое относительно желоба.

Если же не перенести шарик, а просто увеличить угловую скорость, то он оказывается в точке  $C$ , находящейся выше точки  $C_1$  своего нового положения «равновесия». И, как это было показано раньше, шарик должен удаляться от точки  $A$ , что и подтверждает опыт.

Таким образом, противоречия между теорией и опытом не существует.

100. Сравним три равных объема: шарика пробкового, воды и шарика металлического. Они имеют разные массы. Поэтому центробежный эффект для них будет проявляться в разной степени: чтобы удержать на заданной окружности обращения шарик большей массы (при прочих равных условиях), необходима и большая центростремительная сила. В данном случае она создается реакцией слоя воды, находящейся вне окружности обращения шариков. Поэтому более плотный, чем вода, металлический шарик не будет удержан на заданной окружности и «уйдет» по касательной, удаляясь от оси, а менее плотный, чем вода, пробковый шарик будет вытеснен ею к оси вращения. Аналогия данному явлению имеется в центрифуге, в которой жидкости разных плотностей располагаются вдоль радиуса вращения прибора.

101. Для объяснения явления надо рассмотреть, что происходит в подпятнике. Для упрощения примем, что подпятник и керн имеют сферическую форму (рис. 154). Разумеется, практически ось турбинки никогда не будет являться точным продолжением оси тарелки, и точка касания керна с подпятником  $M$  не лежит ни на одной из этих осей (на рисунке отклонение для наглядности значительно преувеличено). Точка  $M$  при вращении турбинки по часовой стрелке движется перпендикулярно к плоскости чертежа по направлению к читателю и в результате трения увлекает во вращение тарелку, как легко видеть, против часовой стрелки.

В точке  $M$  на подпятник действует сила трения, по направлению совпадающая со скоростью точки. Следовательно, на керн действует противоположно направленная сила, которая несколько замедляет вращение турбинки, но зато приводит ее ось в прецессионное вращательное движение по часовой стрелке вокруг вертикальной оси. От этого суммарный вращательный момент турбинки увеличивается и общий момент системы остается неизменным.

При другой конструкции прибора, например, если турбинка вращается в двух подшипниках, указанный эффект наблюдаться не будет.

102. Любой из цилиндров можно считать состоящим из большого числа очень тонких дисков. Каждый из дисков будет ска-

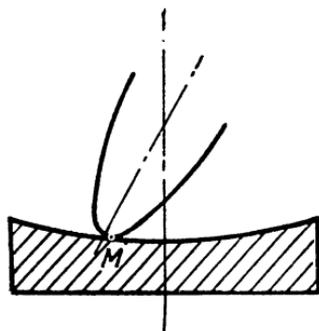


Рис. 154.

тываться с наклонной плоскости за время, определяемое моментом его силы тяжести относительно точки опоры и моментом его инерции. Если такие диски поставить рядом на одну и ту же высоту наклонной плоскости и отпустить одновременно, то они достигнут основания ее одновременно. Очевидно, ничто не изменится, если диски прижать вплотную друг к другу, образовав тело  $A$  и тело  $B$ . И в этом случае, хотя число дисков у тел  $A$  и  $B$  будет разное, время скатывания будет одинаковым.

Неизменность времени скатывания можно доказать аналитически. Основное уравнение вращательного движения твердого тела имеет вид:  $M = I\varepsilon$ , где  $M$  — момент силы,  $I$  — момент инерции,  $\varepsilon$  — угловое ускорение.

Момент силы тяжести  $P$ , действующий на цилиндр, равен  $M = Pl$ , где  $l$  — плечо силы тяжести.

Момент инерции цилиндра равен  $I = \frac{1}{2} mr^2$ , где  $m$  — масса цилиндра, а  $r$  — радиус его.

Тогда угловое ускорение  $\varepsilon = \frac{M}{I} = \frac{Pl}{\frac{1}{2} mr^2} = \frac{2lg}{r^2}$  есть вели-

чина постоянная, не зависящая от высоты цилиндра.

Следовательно, время скатывания для обоих цилиндров также будет не зависеть от их высоты, т. е. будет одинаковым.

**103.** Не следует путать понятия самой потенциальной энергии и ее изменения. Изменение потенциальной энергии при перемещении тела от поверхности Земли до высоты  $H$  равно:

$$\Delta U = \gamma Mm \left( \frac{1}{R} - \frac{1}{R+H} \right) = \gamma Mm \frac{H}{R(R+H)},$$

где  $M$  — масса Земли, а  $m$  — масса тела.

Полагая высоту подъема  $H$  весьма малой по сравнению с радиусом Земли  $R$ , получим:  $\Delta U = \gamma \frac{Mm}{R^2} H = PH$ .

Принятие за нуль потенциальной энергии на уровне моря есть условность. Применяемое обычно выражение для потенциальной энергии  $PH$  характеризует не ее абсолютное значение (его вообще нельзя определить), но лишь ее изменение.

Таким образом, противоречие, сформулированное в задаче, только кажущееся.

**104.** Обозначим через  $S_1$  и  $S_2$  площади, а через  $m_1$  и  $m_2$  массы частей оболочки, которые видны из точки, где расположен шарик  $m$  под одним и тем же телесным углом  $\alpha$  (рис. 155). Если площади  $S_1$  и  $S_2$  взяты очень малыми, то справедливо равенство:

$$\alpha = \frac{S_1}{a_1^2} = \frac{S_2}{a_2^2}.$$

Умножив обе части этого равенства на  $\rho$  — плотность единицы поверхности оболочки, получим:

$$\frac{m_1}{d_1^2} = \frac{m_2}{d_2^2}.$$

Теперь умножим это равенство на гравитационную постоянную  $\gamma$  и массу

су шарика  $m$ :  $\gamma \frac{m_1 m}{d_1^2} = \gamma \frac{m_2 m}{d_2^2}.$

Получившееся равенство показывает, что масса  $m$  одинаково притягивается симметрично расположенными элементами оболочки. Такими элементами можно перебрать всю поверхность сферы. Следовательно, равнодействующая сил тяготения, действующих на тело, помещенное внутрь тонкостенного полого шара, равна нулю.

105. Условия, сопутствующие вращению Земли и жидкости в стакане, различны. На частицы поверхностного слоя Земли действовали сила гравитации  $F$ , направленная к центру Земли, и сила реакции частиц нижележащего слоя  $Q$  (силами молекулярного притяжения можно пренебречь). Равнодействующая этих сил  $R$  (рис. 156) и удерживала частицу на окружности обращения.

В стакане частицы жидкости движутся в поле гравитации Земли под действием параллельных и одинаковых для всех частиц сил тяжести  $P$  и зависящих от расстояния до оси сил реакции нижележащих слоев  $Q$  (рис. 157).

106. Рассмотрим круговое движение спутника, находящегося на расстоянии  $r$  от центра планеты, имеющей радиус  $R$  (рис. 158). Уравнение его движения согласно второму закону Ньютона имеет вид:

$$\frac{mv^2}{r} = \gamma \frac{Mm}{r^2},$$

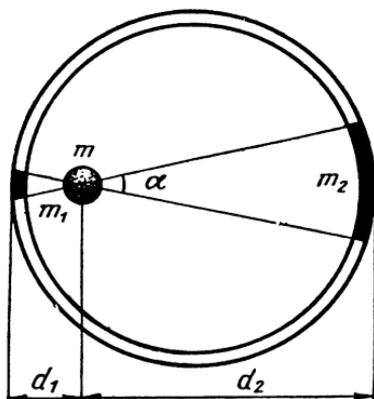


Рис. 155.

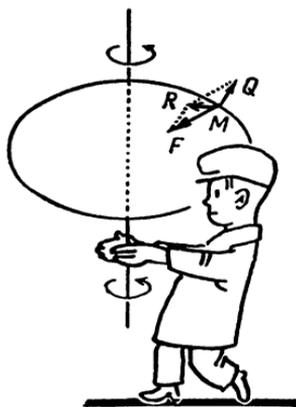


Рис. 156.

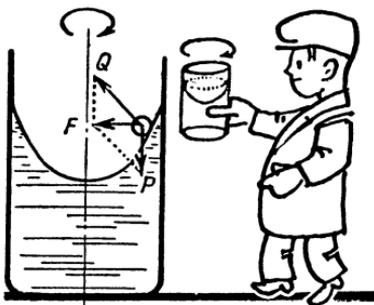


Рис. 157.

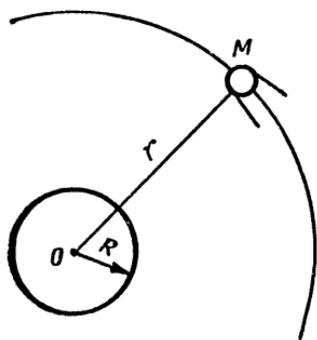


Рис. 158.

где масса планеты

$$M = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho.$$

После подстановки и преобразований

получим:  $v = 2R \sqrt{\frac{\pi \gamma R \rho}{3r}}$ , откуда

период обращения  $T = \frac{2\pi r}{v}$  получится

в виде выражения  $T = \sqrt{\frac{3\pi}{\gamma \rho R^3}} \cdot \sqrt{r^3}$ ,

что полностью соответствует третьему закону Кеплера.

Если спутник движется вблизи поверхности планеты ( $r=R$ ),

то период  $T = \sqrt{\frac{3\pi}{\gamma \rho}}$  не зависит от радиуса планеты. Таким образом, никакого «противоречия» заключений нет.

Особенностью условия задачи, сделавшей ее парадоксальной, является то, что спутник движется вблизи поверхности планеты. С увеличением ее радиуса увеличивается ее масса, но зато увеличивается и расстояние спутника от центра планеты. А эти два фактора взаимно компенсируют друг друга.

107. Ускорения, которые сообщает Земле и Луне Солнце, примерно одинаковы. Поэтому Земля и Луна образуют единую систему двух небесных тел, обращающихся вокруг общего центра масс, а центр масс системы Земля—Луна обращается вокруг Солнца.

Астрономы отвечают еще так: траектория Луны обращена своей вогнутостью все время к Солнцу.

108. Понятия «верх» и «низ» являются относительными. Существенным обстоятельством в жизни человека является притяжение Земли. С направлением силы тяжести (вертикальным направлением) связываются понятия «верх» и «низ». Сущность парадокса в том, что не признается относительность вертикали, вытекающая из шарообразности Земли.

109. Гравитационные силы Луны сообщают ускорение как Земле, так и находящейся на ее поверхности воде. Если бы эти ускорения были одинаковы, то приливов не было бы. Но так как центр Земли находится от Луны не на таком же расстоянии, как самые близкие и самые далекие точки поверхности океана, то эти ускорения оказываются различными. Таким образом, Земля и покрывающая ее вода движутся под действием Луны не вполне «синхронно», что и приводит к возникновению приливов и отливов. Если бы Земля была так же мала, как космический корабль, то все точки земного шара были бы одинаково удалены от Луны и приливы не возникали бы.

110. В условии задачи молчаливо предполагалось, что Солнце неподвижно относительно звезд. В действительности планета и само Солнце обращаются вокруг общего центра масс (точки, положение которой определяется аналогично положению центра тяжести системы тел). Центр масс системы Солнце—планета находится не в центре Солнца. Обращение обоих тел вокруг центра масс является непреодолимым барьером их сближению.

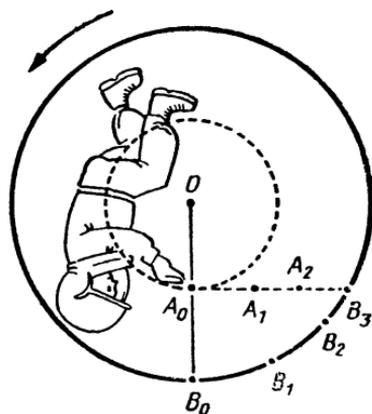


Рис. 159.

111. Вес — это сила, с которой тело давит на подставку или растягивает нить, на которой оно подвешено. Когда ядро покидает пределы земной атмосферы, то на само ядро и все предметы в нем действует лишь гравитационное поле Земли, Луны, Солнца и других небесных тел. Это поле создает ускорение движения, одинаковое для всех тел, находящихся в ядре, независимо от точки траектории, где находится снаряд. Если тела, соприкасаясь, движутся с одинаковым ускорением, то они не давят друг на друга. Это отсутствие давления тел на подставки или растяжения нитей крепления является состоянием невесомости в космическом корабле. Следовательно, состояние невесомости в ядре Жюль Верна должно быть на всем пути, а не только в одной точке, где притяжение Луны равно притяжению Земли.

112. На рисунке 159 изображено сечение корабля, вращающегося против часовой стрелки вокруг своей продольной оси  $O$ . Пусть космонавт и предмет находятся в точке  $A_0$ . В момент, когда предмет выпускается из рук, он имеет скорость, направленную по касательной к окружности радиуса  $AO_0$ . Поэтому в дальнейшем он станет двигаться прямолинейно, проходя через положения  $A_0, A_1, A_2, \dots$ . В то же время точка  $B_0$  стенки будет двигаться по окружности, проходя через положения  $B_0, B_1, B_2, \dots$ . Поэтому космонавт будет наблюдать «падение» предмета на «пол» — стенку корабля.

113. При перемещении космонавта к центру уменьшается момент инерции корабля. Вследствие этого увеличивается его угловая скорость. Значит, энергия, расходуемая человеком, превращается в кинетическую энергию вращательного движения корабля.

114. Особенностью кривошипно-шатунного механизма является превращение гармонического колебания поршня в равномерное вращение коленчатого вала машины. Это и используется для получения равномерного движения автомобиля.

115. В описанном явлении имеет место резонанс колебаний. Слабые, но длительные колебания камертона вызывают колебания крышки стола. При этом закон сохранения энергии не нарушается: слабые по амплитуде колебания камертона, не касающиеся крышки стола, продолжают сравнительно долго; при касании же крышки стола они быстро прекращаются. Таким образом, в первом случае малой мощности излучения соответствует большая длительность, во втором — большой мощности излучения звуковых волн соответствует малая длительность.

116. В первом случае при ударе цилиндра  $B$  в стержень  $C$  по нему распространяется упругая волна сжатия. У основания стержня она отражается и, возвратившись к концу, отбрасывает цилиндр  $B$  вверх.

Во втором случае деформация в месте удара распространяется в массивном теле  $A$  в виде полусферической волны. Энергия удара рассеивается, и цилиндр не отражается вверх так, как в первом случае.

117. Надо рассматривать движение струны совместно с движением корпуса инструмента, на котором натянута струна.

118. На натянутой струне существуют такие собственные тоны, половина длины волны которых укладывается целое число раз на длине струны. Когда в точке  $M$  прикосновением пера был создан узел ( $AM = MB = \frac{1}{2} AB$ ), возник тон, длина волны которого в два раза меньше (а частота в два раза больше), чем основной тон.

Когда в точке  $C$  был создан узел ( $CB = \frac{2}{3} AB$ ), отрезок  $CB$  не мог укладываться целое число раз в длине струны; поэтому не возник тон, длина полуволны которого была бы равна  $CB$ . Так как  $AC = \frac{1}{3} AB$ , т. е. отрезок  $AC$  укладывается целое число раз на длине струны, то возникал звук с длиной полуволны, равной  $AC$ . При перемещении перышка в точку  $K$  физические условия (положение узла на струне) не изменились. Поэтому звук с длиной полуволны, равной  $\frac{1}{3} AB$  (а не на октаву выше), повторился.

119. Софизм задачи разрешается тем, что в узле смещения кинетическая энергия движения частиц струны не исчезает, а превращается в энергию деформации струны. Таким образом, при колебании струны имеет место переход одного вида механической энергии в другой без существенного нагревания струны.

120. Звуковые колебания большой частоты (ультразвуковые) обеспечивают большую точность локации. Так как отражение звуковых волн происходит от предметов, размеры которых превышают длину волны звука, то ультразвуковые волны обеспечивают и большую чувствительность локации.

**121.** Абсолютная температура газа прямо пропорциональна средней кинетической энергии движения его молекул. На указанной высоте воздух настолько разрежен, что выражение «температура воздуха равна нескольким тысячам градусов» очень условно. Оно соответствует представлению о температуре воздуха, находящегося у поверхности Земли, молекулы которого двигались бы со скоростями, соответствующими скоростям молекул воздуха на высоте 1000 км. Вследствие большой разреженности воздух на высоте 1000 км не может передать спутнику то количество теплоты, которое необходимо для его плавления.

**122.** Человек — саморегулирующаяся термодинамическая система, связанная с окружающей средой. Ощущения теплоты и холода возникают в зависимости от скорости излучения энергии телом человека в окружающую среду. Так как нормальной средой, в которой живет человек, является воздух, то организм его в процессе эволюции приспособился чувствовать себя хорошо при средней температуре воздуха 25°C. При этом организм «учитывает» малую теплопроводность воздуха и соответственно этому излучает энергию с определенной мощностью. Если температура воздуха понижается или повышается, то нарушается относительное термодинамическое равновесие системы человек—воздух и возникает ощущение холода или тепла.

Теплопроводность воды значительно больше, чем теплопроводность воздуха. Поэтому скорость теплоотдачи организма в воде больше, чем в воздухе, и при температуре воды 25°C человеку холодно. При температуре воды 36—37°C создается полное термодинамическое равновесие организма и среды, и человек не чувствует ни холода, ни тепла.

**123.** Противоречие возникло вследствие неполноты (а значит, и неточности) формулировки первого закона термодинамики. Согласно этому закону количество сообщенной телу теплоты расходуется на совершение работы и на увеличение внутренней энергии тела:

$$\Delta Q = \Delta A + \Delta U.$$

Следовательно, изменение (уменьшение) внутренней энергии тела —  $\Delta U = \Delta A - \Delta Q$  может происходить при выполнении некоторой положительной работы и затрате (передаче) при этом некоторого количества теплоты.

**124.** Одинаковая работа внешней силы атмосферного давления производится не только для поднятия центра тяжести столба ртути (включая шаровую полость), но и на нагревание ртути вследствие внутреннего трения при быстром вхождении ее в трубку. Это в условии задачи не учитывалось. Скорость наполнения полости *C* (она определяется разностью давлений  $p_{\text{ат}}$  и столбика ртути высотой  $h_1$ ) больше, чем скорость наполнения полости *B* (она определяется разностью давлений  $p_{\text{ат}} - \rho_{\text{ртг}} g h_2$ ). Поэтому в трубке *C* ртуть нагревается до более высокой температуры,

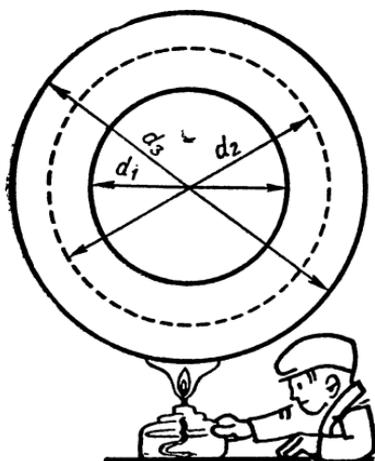


Рис. 160.

шении: внутренний  $d_1$ , средний  $d_2$  и внешний  $d_3$  диаметры, а также толщина кольца  $\frac{d_3 - d_1}{2}$  (рис. 160). Получается тело (кольцо), геометрически подобное первоначальному. Таким образом, внутренний диаметр кольца при его нагревании увеличится.

Ошибка возникает вследствие того, что «здравый смысл» молчаливо предполагает неизменность среднего диаметра  $d_2$  и увеличение толщины кольца.

127. Температура кислоты после растворения пружины в сжатом и несжатом состоянии (при прочих равных условиях) различна. В первом случае она выше. Значит, потенциальная энергия сжатой пружины превратилась во внутреннюю энергию раствора.

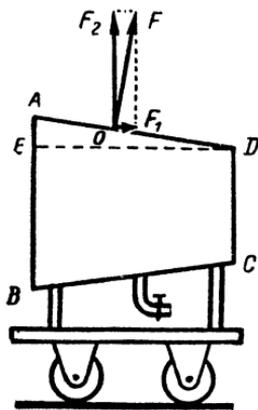


Рис. 161.

чем в трубке *B*. Таким образом, закон сохранения энергии не нарушается.

125. Вещество горит, если оно имеет соответствующую температуру, т. е. происходит реакция окисления. Тлеющий уголь в струе холодного воздуха сильно не остывает, но, получая достаточное кислородное «питание», разгорается сильнее. Свеча в струе холодного воздуха быстро теряет «свою» оболочку нагретого воздуха, остывает, и процесс горения прекращается.

126. При нагревании однородного тела все его линейные размеры согласно равенству  $\frac{l_t}{l_0} = 1 + \alpha t^\circ$  увеличиваются в одном и том же отно-

шении: внутренний  $d_1$ , средний  $d_2$  и внешний  $d_3$  диаметры, а также толщина кольца  $\frac{d_3 - d_1}{2}$  (рис. 160). Получается тело (кольцо), геометрически подобное первоначальному. Таким образом, внутренний диаметр кольца при его нагревании увеличится.

Ошибка возникает вследствие того, что «здравый смысл» молчаливо предполагает неизменность среднего диаметра  $d_2$  и увеличение толщины кольца.

127. Температура кислоты после растворения пружины в сжатом и несжатом состоянии (при прочих равных условиях) различна. В первом случае она выше. Значит, потенциальная энергия сжатой пружины превратилась во внутреннюю энергию раствора.

128. Не учтены силы давления газа на боковую поверхность  $AD-BC$ . Разложив силу  $F$  давления газа на каждую единицу боковой поверхности на горизонтальную и перпендикулярную к оси конуса составляющие  $F_1$  и  $F_2$  (рис. 161), получим уравновешивание составляющих  $F_2$  и неуравновешивание составляющих  $F_1$ . Из подобия треугольников  $OFF_1$  и  $ADE$  имеем:  $\frac{F_1}{F} = \frac{AE}{AD}$ . Таким образом,  $F_1 \cdot AD =$

$=F \cdot AE$ , т. е. действие неуравновешенной силы  $F_1$  давления газа на боковую поверхность как раз соответствует разности сил, вызванной разностью площадей оснований конуса. Следовательно, суммарная сила давления, толкающая сосуд вправо, равна силе давления газа, толкающей сосуд влево.

129. При изотермическом процессе сосуд, в котором находится газ (например, цилиндр, закрытый поршнем), не является теплоизолированной системой, наоборот, он термодинамически связан с окружающей средой (нагреватель, холодильник). Поэтому, рассматривая энергию идеального газа при изотермическом процессе, следует учитывать переход энергии от окружающей среды к газу и от газа к среде.

Сжатый идеальный газ, расширяясь, может совершить работу в двух случаях. Во-первых, за счет уменьшения своей внутренней энергии (кинетической энергии его молекул). При этом температура будет уменьшаться. Но это не будет изотермический процесс.

Во-вторых, изотермически. При этом температура остается постоянной. Но газ при таком процессе черпает энергию из окружающей среды. В этом случае он будет совершать работу за счет уменьшения внутренней энергии окружающей среды.

Противоречие, сформулированное в задаче, разрешается тем, что энергия, затраченная на изотермическое сжатие газа, была передана не газу, а окружающей среде, она пошла на увеличение ее внутренней энергии.

130. В определенные моменты времени в каком-нибудь месте стенки сосуда может происходить увеличение скорости движения его молекул, т. е. местный «нагрев» стенки. Но соударяющаяся с этим местом молекула газа, отлетая от стенки, унесет с собой некоторое дополнительное количество энергии и передаст его газу. Таким образом, стенка снова «охладится», а газ нагреется. Следовательно, если сосуду извне не подводится энергия, его температура не изменяется, сосуд находится в термодинамическом равновесии со «своим» газом.

131. В первой половине текста задачи при нахождении  $p_2$  была допущена ошибка. Если нагретый до температуры  $t^\circ$  газ, имеющий объем  $V_0$ , охлаждать до  $0^\circ\text{C}$ , то он примет объем

$$V_2 = \frac{V_0}{1 + \gamma t^\circ}, \text{ а не } V_0(1 - \gamma t^\circ).$$

Если дальше изменять состояние газа в соответствии с условиями задачи, то получим:

$$(p_0 + p_1) \frac{V_0}{1 + \gamma t^\circ} = (p_0 + p_1 - p_2) V_0.$$

Учтя, что  $p_1 = p_0 \gamma t^\circ$ , и сократив уравнение на  $V_0$ , имеем:

$$\frac{p_0 + p_0 \gamma t^\circ}{1 + \gamma t^\circ} = p_0 + p_1 - p_2,$$

или  $p_0 = p_0 + p_1 - p_2$ , что дает  $p_2 = p_1$  в полном соответствии со вторым способом решения.

**132.** Охлаждаются при расширении реальные газы, потому что при этом совершается работа на преодоление сил молекулярного притяжения. Охлаждаться может и идеальный газ, если при расширении он совершает работу (например, двигает поршень в цилиндре). Так как притяжения между молекулами идеального газа не существует, то при его расширении в вакуум никакой работы не совершается. Поэтому не меняется внутренняя энергия газа. Следовательно, не изменится и его температура.

**133.** При расширении воздух в резервуаре охладился ниже температуры окружающей среды. Когда температура газа вновь повысилась, давление возросло.

**134.** В первом рассуждении молчаливо предполагается постоянство давления (справедливость закона Гей-Люссака) и равенство изменений объемов газов в сосудах  $B$  и  $C$ . А это неверно.

Во втором рассуждении также предполагается, что изменение состояния каждого из газов описывается изобарическим процессом. Но ведь равенство давлений газа слева и справа на поршень не предполагает неизменность его, оно не равно все время давлению, которое газ имел при  $0^\circ \text{C}$ .

**135.** На каплю в опыте Плато действуют две системы сил: силы тяжести, приложенные к каждой частице капли (дающие равнодействующую, приложенную к центру тяжести капли), и силы давления окружающей жидкости, приложенные ко всей поверхности капли (дающие равнодействующую, также приложенную к центру тяжести капли). Из факта уравнивания этих сил вытекает лишь равновесие капли в жидкости, но не ее форма. А шаровую форму капле придают силы поверхностного натяжения.

Реакция пластинки приложена не ко всей поверхности капли, а лишь к части ее. Сила тяжести и реакция опоры сжимают каплю так, чтобы в пределе она приняла вид мономолекулярной пленки, нанесенной на парафиновую пластинку. Но этому препятствуют силы поверхностного натяжения. Поэтому капля принимает приплюснутую форму.

**136.** Шерсть водой не смачивается, и вода быстро стекает в нижнюю часть мотка.

**137.** Из факта смачивания или несмачивания жидкостью твердого тела еще не следует ответ на вопрос, какова величина силы взаимодействия между ними. Даже при условии несмачивания стекла ртутью сила притяжения между этими веществами больше, чем сила притяжения между стеклом и смачивающей его водой.

138. Закон Архимеда действует, если тело погружено в жидкость, т. е. если тело окружено жидкостью со всех сторон и сила давления жидкости снизу на тело больше, чем сверху.

В данном случае вода не смачивает парафин и не подтекает под нижнюю поверхность бруска. Вода не окружает брусок со всех сторон. Поэтому она и не выталкивает его, а только прижимает ко дну. Но стоит лишь немного приподнять край бруска, как он тотчас же начнет всплывать.

139. Прав второй ученик. Больше коэффициент поверхностного натяжения у чистой воды. Большая прочность пленки мыльной воды объясняется ее большой вязкостью.

140. Нет, конечно. Разность сил поверхностного натяжения в местах  $A-A$  создает пару сил, вращающих пластинку против часовой стрелки. Кинетическая энергия пластинки возникает за счет уменьшения энергии поверхностного слоя жидкости.

141. У сифонно-капиллярного вечного двигателя жидкость поднимается по капилляру лишь до верхнего сосуда при условии, что сосуд пустой. Здесь в месте расширения капилляра давление поверхностной пленки на жидкость станет таким же, как и в обычном сосуде. Движение жидкости вверх прекратится. И система, созданная воображением изобретателя, действовать не будет. Если же в верхнем сосуде будет хотя бы небольшой запас жидкости, то капиллярная трубочка окажется просто дополнительным каналом, по которому жидкость будет перетекать из верхнего сосуда в нижний, т. е. система тем более работать не будет.

142. Вода из воронки выливаться не будет. Как только вода войдет в воронку, начнет увеличиваться радиус кривизны мениска и в соответствии с этим уменьшаться подъемная сила. Вода в воронке дойдет до сечения с радиусом, в котором эта сила будет уравновешивать силу тяжести столба воды  $H_1$ .

143. По капиллярам тряпки вода перетекает в бутылку под действием силы тяжести (бутылка расположена ниже подоконника).

144. Вес остальной части жидкости в трубке  $B$  уравновешивает сила атмосферного давления.

145. В радиаторе по сравнению с паропроводом велика охлаждающая поверхность.

146. Скорость таяния мороженого связана со скоростью подведения к нему некоторого количества теплоты. Несколько факторов увеличивают скорость подведения теплоты: перемешивание массы создает конвекцию, при растирании массы увеличивается площадь контакта мороженого с более нагретым воздухом и чашкой, ложечка обладает некоторой теплопроводностью.

147. Хлеб в воде не растворяется. При растворении сахара расходуется энергия. Она берется из окружающей жидкости. Поэтому вода, впитавшаяся в сахар и растворяющая его, имеет более низкую температуру, чем вода в стакане.

**148.** Противоречия нет. И в том и в другом случае происходит охлаждение при растворении соли в воде. Все дело в том, что получающийся при этом концентрированный соляной раствор имеет точку замерзания ниже точки замерзания чистой воды. Поэтому «таяние» снега состоит в растворении соли и сопровождающемся при этом охлаждении раствора.

**149.** Замерзание воды при  $0^{\circ}\text{C}$  происходит только при наличии центров кристаллизации. Ими могут служить любые нерастворившиеся частицы. Когда масса воды велика, в ней всегда найдется хотя бы один центр кристаллизации, а этого уже достаточно, чтобы замерзла вся вода. Если же масса воды разбита на мельчайшие капельки, то лишь небольшое их число будет иметь центры кристаллизации и замерзнут только эти капли.

**150.** Выдыхаемый воздух теплее поверхности руки и может ее нагревать. Но если струя воздуха быстро движется, с поверхности руки происходит усиленное испарение влаги, вследствие чего получается охлаждение.

**151.** Ощущение влажности или сухости кожи у человека обычно связывается с ощущением охлаждения ее. Холодные капли дождя, попадая на кожу, охлаждают ее. Кроме того, испарение воды с поверхности тела также охлаждает кожу человека. В воде же эти эффекты отсутствуют. Поэтому в воде «суше», чем на воздухе во время дождя.

**152.** При данной температуре имеется некоторая средняя квадратичная скорость движения молекул жидкости. Однако есть некоторое число молекул, которые имеют скорость, большую, чем средняя квадратичная. Находясь у поверхности, такие молекулы могут преодолеть притяжение других молекул и вылететь из жидкости. При этом средняя квадратичная скорость уменьшается, что соответствует понижению температуры жидкости. Окружающий воздух теперь уже будет иметь более высокую температуру. Вследствие этого возникает переход некоторого количества теплоты от воздуха к воде. Итак, теплота испарения берется из окружающего жидкость воздуха.

**153.** Охлаждением колбы конденсируют содержащийся в ней пар. А это приводит к понижению давления пара и точки кипения воды. Теплота парообразования черпается из внутренней энергии жидкости (температура ее падает вплоть до точки замерзания).

**154.** Бумага воспламеняется при температуре в несколько сот градусов. Пламя примуса имеет температуру свыше  $1500^{\circ}\text{C}$ . Но при наличии воды температура бумаги не может быть выше  $100^{\circ}\text{C}$  (при нормальном атмосферном давлении), так как энергия пламени все время отбирается водой, заполняющей стакан. Таким образом, температура бумаги оказывается ниже той температуры, при которой она воспламеняется.

155. Хотя давление пара, обусловленное одинаковой температурой его, в обоих сосудах одинаково, все же давление его над уровнем  $AA_1$  будет ниже, чем над уровнем  $BB_1$ . Это происходит вследствие наличия добавочного давления, созданного весом пара (подобно аэростатическому давлению). Этой небольшой разности давлений достаточно, чтобы на уровне  $AA_1$  происходило испарение, а на уровне  $BB_1$  — конденсация пара.

156. Испарение жидкости в верхнем сосуде  $A$  и конденсация ее в нижнем  $B$  есть следствие разности давлений пара и воздуха, вызванной тем, что пар и воздух имеют вес (аэростатическое давление). После испарения жидкости в сосуде  $A$  и конденсации пара в сосуде  $B$  температура жидкости в верхнем сосуде уменьшится, а в нижнем — повысится. Это приведет к уменьшению скорости испарения в верхнем сосуде и скорости конденсации в нижнем. В результате установится термодинамическое равновесие пара и жидкости в обоих сосудах, но над верхним сосудом пар будет иметь немного меньшее давление, чем над нижним.

Противоречия со вторым началом термодинамики нет, так как при подъеме сосуда  $A$  на высоту  $AB$  некоторый объем воздуха перемещается из «точки» с меньшим давлением в «точку» с большим давлением. Совершаемая при этом работа расходуется на передачу тепла из сосуда  $A$  в сосуд  $B$ .

157. Второй способ неточен. Одним повышением давления насыщающего состояния газа не достигнешь. Необходимо охладить газ ниже критической температуры. На производстве при сжижении газа его одновременно и сжимают, и охлаждают.

158. Количество молекул газа, заключенных в единице объема, зависит только от температуры газа и его давления и, следовательно, не зависит от рода газа. Поэтому в литре сырого воздуха содержится столько же молекул, сколько в литре сухого (при данной температуре и данном давлении). Другими словами, сырой воздух получается из сухого посредством замены некоторых молекул кислорода и азота молекулами воды. Но молекула воды легче молекулы кислорода или азота (молекулярный вес кислорода — 32, азота — 28, воды — 18). Следовательно, сырой воздух легче сухого.

159. Да, был прав. Известна зависимость (выражаемая обычно таблицей или графиком) давления насыщающего водяного пара от температуры. Если ученик измерил температуру насыщающего пара, то с помощью таблицы ему уже нетрудно определить и его давление. Таким образом, термометром косвенно можно измерить давление.

160. Абсолютная влажность воздуха на улице и в комнате различная. При охлаждении стены холодным зимним воздухом вблизи ее воздух в комнате охлаждается настолько, что содержащийся в нем водяной пар становится насыщающим, и выпа-

дает роса (стена мокнет). Охлаждение может быть настолько сильным, что вода замерзает (появляется изморозь).

161. Стекло обмерзает в тех местах, где его холодной поверхности касается комнатный воздух, имеющий большую абсолютную влажность, чем воздух на улице. Через трещину в комнату врывается струя холодного, обладающего малой абсолютной влажностью воздуха. Поэтому, хотя края трещины и холодны, конденсация пара на них не происходит.

162. Металлические стенки топки охлаждаются водой, поэтому их температура ненамного выше температуры воды в котле. Высокая температура пламени в топке способствует лучшей передаче энергии сжигаемого топлива воде, содержащейся в котле.

163. При торможении шофер сбрасывает газ, но не выключает коробку скоростей. Двигатель теперь ведет себя как компрессор. При этом совершается работа над газом в цилиндрах за счет кинетической энергии движущегося автомобиля.

Действительно, двигатель через трансмиссию подключен к задним колесам, и если машина «катится» достаточно быстро, то поршни двигаются быстрее, чем двигались бы при сгорании небольших порций (газ-то сброшен!) рабочей смеси. Расход энергии будет большим, чем дает ее сгорающий бензин. Основная энергия, необходимая для работы двигателя-компрессора, черпается за счет кинетической энергии движущегося автомобиля. Происходит торможение.

Особенно эффектно проявляется тормозящее действие двигателя-компрессора при включении низших передач (второй и особенно первой скорости).

На скользкой дороге «торможение двигателем» обеспечивает равномерное распределение тормозящего действия между ведущими колесами машины. А это резко снижает вероятность заноса машины в сторону.

164. В описанном процессе передача некоторого количества теплоты осуществлялась не посредством теплообмена, а путем обратного теплового цикла, происходящего в любой холодильной установке (в любом тепловом насосе). Чтобы холодный газ мог расширяться и производить работу по поднятию груза, необходимо было затратить энергию на создание какого-то вакуума. А об этом в условии задачи ничего не говорится.

165. Хотя система и возвратилась в исходное состояние, но работа за весь цикл не равна нулю. Работа при расширении газа совершалась за счет энергии нагревателя.

166. Заряженные шары на небольшом расстоянии друг от друга не являются точечными зарядами. Под действием электрического поля другого заряженного шара заряды на данном шаре смещаются. Вследствие этого среднее расстояние между разно-

именными зарядами оказывается меньшим, чем между одноименными (рис. 162).

167. Вследствие индукции зарядов на поверхности проводника, содержащего меньший заряд, силы притяжения превышают силы отталкивания.

168. Если бы шар  $B$  был не заряжен, то шары притянулись бы друг к другу. Если бы шар  $B$  был заряжен положительно, то шары также притянулись бы. Значит, шар  $B$  заряжен отрицательно.

Пусть заряд шара  $A$  равен  $Q$ , а шара  $B$  —  $q$ . Под влиянием заряда шара  $A$  на металлическом шаре  $B$  будут наведены заряды  $x$  и  $-x$  (рис. 163), которые, взаимодействуя с зарядом  $Q$ , приведут к равновесию шара  $B$ . Если считать все заряды условно точечными, то, применив закон Кулона, получим:  $\frac{Q \cdot x}{r_1^2} = \frac{Q(x+q)}{r_2^2}$ ,

где  $r_1$  и  $r_2$  — средние расстояния между зарядом  $Q$  и зарядами  $x$  и  $x+q$ . Далее,  $\frac{x}{r_1^2} = \frac{x+q}{(r_1+d)^2}$ , где  $d$  — диаметр шара  $B$ .

Решив уравнение, определим заряд шара  $B$ :

$$q = \frac{xd(2r_1+d)}{r_1^2}.$$

Задав расстояние между шарами  $r_1$ , диаметр шара  $d$  и величину наведенного заряда, можно получить величину того отрицательного заряда  $q$ , который необходимо поместить на шар  $B$ , чтобы получить его равновесие в присутствии заряженного шара  $A$ .

169. В незаряженном шаре, помещенном в электрическое поле, вследствие индукции (если это проводник) или поляризации (если это диэлектрик) образуются на сторонах равные и противоположные по знаку заряды. В неоднородном поле на них действуют неравные силы. Поэтому шар перемещается в ту сторону поля, где напряженность больше (случай  $A$  и  $C$ ). В однородном поле шар неподвижен, так как действующие на его заряды силы уравновешиваются.

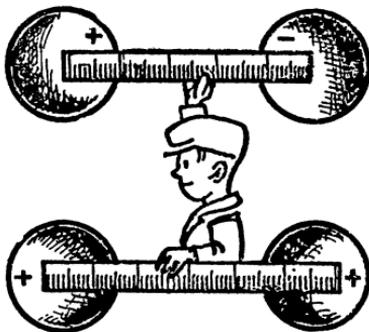


Рис. 162.

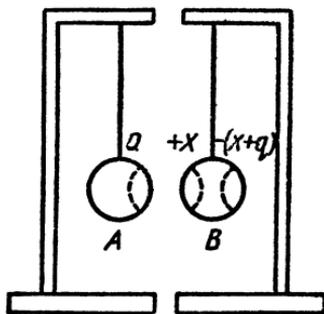


Рис. 163.

**170.** Все точки проводника  $B$  (в том числе  $C$  и  $K$ ) имеют один и тот же потенциал, когда проводник находится в электрическом поле. Поэтому место заземления его не играет никакой роли. Под действием электрического поля по проводнику, соединяющему «землю» с телом  $B$ , к последнему из «земли» потекут электроны, и проводник  $B$  зарядится отрицательным зарядом.

**171.** Когда точка  $B$  была соединена с землей проводником  $BZ$ , в нем возникла индукция зарядов: электроны ушли в землю, а потенциал точки  $B$  увеличился. После этого электроны из точки  $C$  переместились в точку  $B$ . Потенциал точки  $B$  стал таким, как вначале, а отрицательный заряд в точке  $C$  исчез.

**172.** В решении не учитывается толщина стержня и возможность индукции двух равных и противоположных по знаку зарядов на одном и том же его конце. При этом отрицательный заряд будет немного ближе к заряду  $A$ , а положительный немного дальше.

**173.** Противоречия нет. Потенциал шара  $A$  одинаков как на внутренней поверхности, так и на наружной. На концах проволоки  $CB$  имеется разность потенциалов. Вследствие этого электроны в проволоке будут перемещаться и накапливаться на шаре  $B$ . Шар  $B$  зарядится отрицательно. В опыте Фарадея проволока и шар  $B$  находились внутри полого проводника  $A$ , где потенциал всюду был одинаков. Поэтому там шар  $B$  не заряжался.

**174.** Если прикоснуться к шару палочкой, то на него с палочки переходит некоторый отрицательный заряд. Так как палочка эбонитовая (диэлектрик), то не весь заряд с нее перейдет на шар, а только небольшой с того участка, который касается шара. После заземления металлического проводника отрицательный заряд, оставшийся на палочке, индуцирует на шаре положительный заряд (а отрицательный уходит в «землю»), который и остается на нем после отключения «земли» и отвода палочки от шара.

**175.** Если ввести пластину из диэлектрика, то уменьшается в  $\epsilon$  раз напряженность поля в пространстве, занятом самим диэлектриком. Однако не изменяется напряженность поля в зазорах между диэлектриком и пластинами конденсатора. Поэтому не изменятся и силы, действующие на каждую пластину.

**176.** Если «султану» сообщить электрический заряд в точке  $A$ , то он «растекается» по ленточкам, двигаясь вдоль силовых линий. К концу этого процесса весь заряд располагается на концах лент, образуя поверхность «сферы» (рис. 164). Это и будет эквипотенциальной поверхностью заряженного султана как проводника. Внутри нее потенциал на всех лентах во всех точках будет одинаков. Если 6 ленты сплошь занимали пространство внутри сферы, то потенциал во всех точках в ней был бы одинаков.

Противоречие, сформулированное в задаче, разрешается тем, что все ленты имеют один и тот же потенциал во всех точках. Заряды, расположенные на концах лент, отталкиваясь друг от друга, натягивают ленты по радиальным прямым так, как будто в точке  $A$  находится точечный заряд.

177. Указанные точки равновесия зарядов действительно имеются, но равновесие зарядов в них неустойчиво. Достаточно небольшого смещения заряда (а оно всегда имеется вследствие теплового движения), чтобы он никогда не возвратился в точку равновесия. Таким образом, через небольшой промежуток времени весь заряд проводника оказывается распределенным на его поверхности.

178. Энергия наэлектризованных проводников получается не «даром». Необходимо расходовать энергию сторонних сил в те моменты, когда проводник, наэлектризованный через влияние, выносятся из электрического поля, образованного данным зарядом.

179. Прав второй ученик. Если проводники находятся в электрическом поле, созданном другими телами, то разности потенциалов может и не быть. Например, соединим два незаряженных проводника проволокой и внесем их в электрическое поле заряженного шара. Вследствие индукции один из шаров зарядится положительно, другой — отрицательно, а потенциалы обоих шаров будут одинаковыми. Убрав проволоку, получим два разноименно заряженных проводника, между которыми нет разности потенциалов.

180. Никакого противоречия нет. Если поле внутри проводника отсутствует, значит, напряженность поля внутри проводника равна нулю или потенциал всех точек одинаков и равен потенциалу на поверхности проводника. Хотя поле внутри проводника и отсутствует, но потенциал внутри проводника не равен нулю. Поэтому между двумя точками, взятыми внутри проводников, находящихся в электростатическом поле, вообще говоря, будет иметься некоторая разность потенциалов.

181. Никакого противоречия нет. Шарик, поднесенный к внутренней поверхности сферы, будет иметь потенциал  $1001 \text{ в}$ , так как при перенесении шарика была совершена работа, увеличившая его потенциал на  $1000 \text{ в}$ .

182. Поле плоского конденсатора имеет вид, изображенный на рисунке 165, т. е. существует и вне его обкладок. На участке цепи  $KCDM$  поле перемещает заряды и создает ток от  $D$  к  $C$ . Другими словами, в проводнике  $ABCD$ , помещенном в электри-

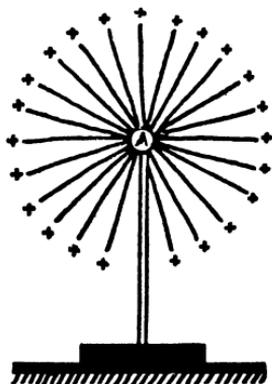


Рис. 164.

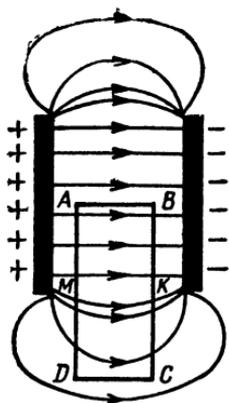


Рис. 165.

ческое поле, возникает электростатическая индукция, приводящая к сдвигу зарядов в определенном направлении, но не к их циркуляции по цепи.

183. Чтобы поместить в поле конденсатора электрон, необходимо совершить работу против сил поля. Поэтому вблизи отрицательно заряженной пластины конденсатора отрицательный заряд будет обладать потенциальной энергией. Ускорение электрона при движении между пластинами конденсатора будет происходить за счет перехода части этой потенциальной энергии в кинетическую.

184. Суммарное поле не обладает энергией, равной сумме энергий слагаемых полей. При наложении нескольких полей имеет место принцип суперпозиции: вектор напряженности сложного поля равен векторной сумме напряженностей слагаемых полей.

185. Хотя заряды в обоих случаях протекают одинаковые, энергия, которой они обладают, различна. Энергия молнии равна:

$$\frac{1}{2} q \varphi = \frac{1}{2} \cdot 0,2 \kappa \cdot 3 \cdot 10^6 \text{ в} = 300\,000 \text{ дж.}$$

А энергия, которую дает батарея за 1 сек, составляет:

$$qU = 0,28 \kappa \cdot 3,5 \text{ в} = 1 \text{ дж.}$$

Кроме того, несравнимы и мощности молнии и батарей карманного фонаря.

186. Энергия конденсатора расходуется на поляризацию кerosина и превращается в его внутреннюю энергию.

187. Ошибка заключается в том, что не учитывается работа, совершаемая при погружении зарядов в воду и при подъеме их из воды. При приближении зарядов к границе раздела вода — воздух возникают поляризационные заряды на поверхности воды, так что движение обоих зарядов в вертикальном направлении (когда расстояние между ними не изменяется) связано с совершением работы, которой пренебречь нельзя. Энергия, затраченная при вертикальных перемещениях, будет как раз равна выигрышу энергии при изменении расстояния между зарядами.

188. Заряды распределяются на внешней поверхности проводника. На рисунке 166 пунктиром изображена внешняя поверхность единого сложного проводника (две сферы, рычаг и шарики). Внутри же проводника в статическом поле нет ни заряда, ни электрического поля. Поэтому на шарике *b* заряда не будет и он не может притягиваться к сфере *A*.

189. На каждый элемент объема керосина в левом колене, кроме силы тяжести, направленной вниз, действуют электростатические силы, направленные вверх. В результате действия электростатических сил гидростатическое давление керосина в левом колене будет ослаблено, и суммарная подъемная сила, действующая на шарики в левом колене, несмотря на то что шариков здесь больше, будет такой же, как и в правом колене.

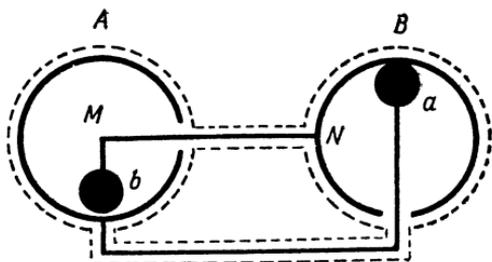


Рис. 166.

190. Ошибка «доказательства» того, что заряженный конденсатор при замыкании его пластин проводником «не должен разряжаться», состоит в том, что неявно предполагается, будто те электроны, которые находились на заряженной пластине  $B$ , переместились по проводнику  $ВТОРМА$  на положительно заряженную пластину  $A$  и конденсатор разрядился.

В действительности дело обстояло иначе. При замыкании конденсатора электроны того конца проводника, который соприкасался с положительно заряженной пластиной (проводника  $МА$ ), перешли на эту пластину и нейтрализовали ее заряд. Образовавшаяся недостача электронов в проводнике  $МА$  ведет себя как положительный заряд. Этот заряд притягивает к себе следующую порцию электронов (из проводника  $MP$ ). Положительный заряд участка  $MP$  притягивает к себе электроны из участка  $PO$  и т. д. Так шаг за шагом электроны проводника сдвигаются в направлении от отрицательной пластины к положительной, пока и электроны с отрицательной пластины  $B$  не стекнут с нее в проводник  $BT$ .

Противоречия с законом Кулона здесь нет, так как положительно заряженной пластине  $A$  «легче» притянуть к себе близко расположенные электроны, находящиеся в проводнике  $AM$ , чем удерживать электроны, далеко расположенные на другой пластине  $B$ .

191. Электрическое поле конденсатора является потенциальным. Его полная работа при перемещении электрона по замкнутому пути равна нулю. Что касается силы, с которой магнитное поле действует на движущийся электрон, то она, как известно, во всех случаях направлена перпендикулярно вектору скорости движения заряда и работы не совершает. Поэтому кинетическая энергия электрона за каждый оборот увеличиваться не будет. Рассмотренное устройство не может служить ускорителем.

192. Электрическое поле в металле, вызывающее движение электронов, действует с одинаковой силой и на электроны, и на

ионы решетки, но силы эти направлены в противоположные стороны. Сила, действующая на электроны, вызывает их ускоренное движение. Под действием поля электроны приобретают некоторый импульс, который они при столкновении отдают ионам. При этом средняя сила, с которой действуют на проводник электроны, ударяясь о ионы решетки, как раз равна той силе, с которой электрическое поле действует непосредственно на ионы решетки, но противоположна ей по направлению. Поэтому металлический проводник, по которому идет ток, не испытывает действия механических сил при движении в нем электронов.

193. Площадь поперечного сечения жидкого проводника является площадью поперечного сечения столба электролита, основаниями которого являются площади электродов, погруженных в электролит.

194. После внесения проводника  $AB$  в электрическое поле в нем возникает кратковременный ток: электроны переместятся в направлении от  $B$  к  $A$ . Возникшее в проводнике поле наведенных зарядов складывается с внешним полем, вследствие чего поле внутри проводника становится равным нулю и ток прекращается.

195. Величина тока на участке цепи обратно пропорциональна сопротивлению при постоянном напряжении, что и не было выполнено. Чтобы сохранить напряжение на участке постоянным, ученик должен был ввести в цепь реостат или собрать цепь по схеме потенциометра.

196. Прав первый ученик. Независимо от величины внутреннего сопротивления амперметр показывает ток, который идет через него. Поэтому показания исправного амперметра всегда правильны. Однако внутреннее сопротивление прибора делают малым для того, чтобы при последовательном его включении существенно не нарушить режима работы электрической цепи. При включении амперметра с большим внутренним сопротивлением величина тока в цепи значительно изменяется и прибор показывает другой ток (меньший), чем тот, который шел в цепи до включения прибора. Поэтому некоторые основания для возражения имел также и второй ученик.

197. Хотя в первом случае показания приборов и одинаковы, схемы (рис. 100—101) не эквивалентны друг другу. Строго говоря, показания приборов должны быть различными.

198. Между телом человека, который стоит на земле, и верхним проводом имеется высокое напряжение, а между телом и рельсом почти нет напряжения, так как оба они находятся на одном и том же проводнике — земле.

199. Утверждение, что ток течет от большего потенциала к меньшему, справедливо на участках, где действуют лишь электростатические силы. В электрической цепи, кроме того, действуют сторонние силы неэлектрического происхождения. Они непрерывно восстанавливают электрическое поле в проводнике.

Вследствие этого разность потенциалов между двумя любыми точками цепи остается постоянной.

200. В первом решении допущена ошибка. На участке цепи, где действует э. д. с., пользоваться законом Ома для участка цепи при определении напряжения нельзя. Следует здесь учитывать не только падение напряжения  $IR$ , но и скачок потенциала, создаваемого генератором, равный э. д. с.

201. Включение проводника  $BED$  в цепь нарушает режим ее работы: меняются токи, меняется распределение потенциала во всех точках. Поэтому выражение: «Точно так же можно считать...», приведенное в условии задачи, неверно.

202. Батарея замкнута проводником, практически не имеющим сопротивления (короткое замыкание). Поэтому напряжение во внешней цепи равно нулю. Это и показывает вольтметр.

203. «Максимальный ток разрядки» не представляет собой наибольший по величине ток, который может дать аккумулятор при коротком замыкании. Он определяет то предельное значение тока, которое допустимо для нормальной работы аккумулятора, т. е. для такой работы, при которой не возникает разрушения его пластин и, главное, нежелательных электрохимических изменений в пластинах. Это особенно относится к свинцовым аккумуляторам.

204. Противоречия нет. Все соответствует закону Ома. Если сопротивление внешней цепи мало, но все же не нуль, то напряжение во внешней цепи также мало, и также не нуль. Отношение двух малых величин может быть большим числом.

205. Первое решение верно лишь для первой схемы, второе — для второй.

206. Включение проводника  $ACB$  нарушает режим тока в цепи. Поэтому однозначного ответа может и не быть. Условие задачи требует дополнительных данных: знания всей цепи.

Первый случай. Если в цепи нет других э. д. с. (рис. 167), то ток в точке  $A$  разветвляется и идет в направлении  $ACB$ .

Второй случай. Если в цепи имеется еще одна э. д. с. (рис. 168), то в зависимости от ее величины ток на участке  $C$  может иметь направление  $BCA$ .

207. Генератор  $E_2$ , удовлетворяющий сформулированному в условиях задачи требованию, должен иметь малую по сравнению с  $E_1$  э. д. с. и большое внутреннее сопротивление. В этом случае при последовательном соединении ток равен  $I_1 = \frac{E_1 + E_2}{R + r_1 + r_2}$ , где  $E_1$  и  $E_2$  — э. д. с. генераторов,  $R$  — внешнее сопротивление цепи,  $r_1$  и  $r_2$  — внутренние сопротивления генераторов. Так как  $E_2 \ll E_1$ , то

$$I_1 = \frac{E_1}{R + r_1 + r_2} < \frac{E_1}{R + r_1} = I.$$

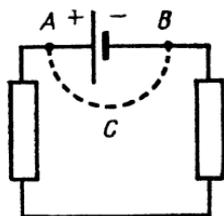


Рис. 167.

При параллельном включении генераторов (рис. 169)  $E_2$  становится потребителем электроэнергии ( $E_2 \ll E_1$ ). Ток от генератора  $E_1$  разветвляется так, что теперь ток во внешней цепи  $I_2 < I$  (тока, который шел во внешней цепи, пока не был присоединен генератор  $E_2$ ).

208. Ток во внешней цепи будет постоянным, если в ветви генератора  $E_2$  он равен нулю. А это будет при условии, что  $E_2 = U_{BA}$ , где  $U_{BA}$  — напряжение во внешней

$$I = \frac{E}{R + r_1}.$$

цепи генератора  $E_1$  при разомкнутом ключе  $K$ . В этом случае э.д.с.  $E_2$  будет компенсировать напряжение  $U_{BA}$ , ток в цепи генератора идти не будет, значит, изменение сопротивления реостата  $r$  никакого влияния оказывать не будет на ток во внешней цепи, равный

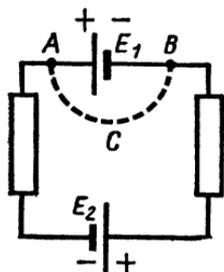


Рис. 168.

209. Не учтена э.д.с. поляризации, возникающая при электролизе. Она-то и ограничивает число банок, включаемых в цепь. Пусть э.д.с. поляризации одной банки  $E_0$ , тогда ток в цепи  $I = \frac{E - nE_0}{r + nR}$ , где  $E$  — э.д.с. батареи,  $n$  — число банок,  $r$  — внутреннее сопротивление батареи и проводов,  $R$  — сопротивление одной банки. При постоянстве заряда аккумулятора  $Q$  время разряда

$$t = \frac{Q}{I} = Q \frac{r + nR}{E - nE_0}.$$

Поэтому на электродах выделится масса вещества

$$m = nkIt = nkQ.$$

Эта величина возрастает при увеличении  $n$ , но имеет предел. Действительно, при  $E = nE_0$  ток в цепи прекращается и вещество на электродах не выделяется. При этом предельное значение массы полученного при электролизе вещества:

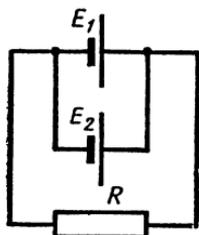


Рис. 169.

$$m = \frac{E}{E_0} kQ.$$

Это вполне соответствует закону сохранения энергии. Из всей энергии  $EIt$ , отдаваемой аккумулятором, на электролиз идет

$nE_0It$ , что составляет определенный процент от  $EIt$ . Этот процент

$$\frac{nE_0It}{EIt} \cdot 100\% = \frac{nE_0}{E} \cdot 100\%$$

зависит от  $E_0$  и  $n$ .

**210.** Противоречия нет. Если нарисовать другие силовые линии поля, охватывающие всю трубку, то видно, что в каждой точке ее на электрон действует сила, толкающая его вдоль трубки.

**211.** Парадокс разрешается самой сущностью проводимости полупроводников  $n$ - и  $p$ -типа.

В полупроводнике с электронной проводимостью при нагревании доноры (атомы примеси) отдают свои валентные электроны в зону проводимости, тем самым увеличивая число свободных носителей отрицательных зарядов. Увеличение концентрации электронов в месте нагревания приводит к распространению их вдоль полупроводника.

У полупроводника с дырочной проводимостью при нагревании акцепторы (атомы примеси) захватывают электроны у соседних атомов, образуя новые положительные ионы, увеличивая тем самым дырочную проводимость. У места нагрева полупроводника этот захват идет интенсивнее, создавая видимость перемещения дырок от нагретого конца полупроводника к холодному.

**212.** Противоречия между формулами нет. Последние две являются частными случаями первой, если учесть, что  $I = \frac{U}{R}$ . Фи-

зический смысл закона Джоуля—Ленца выражает лишь первая формула. Так как во все три формулы входят две величины из трех ( $I$ ,  $U$ ,  $R$ ), то при постоянстве одной из них (последовательное или параллельное соединение) удобно вычислять количество теплоты по соответствующей формуле.

**213.** Температура, до которой нагревается проводник при прохождении электрического тока, определяется не только количеством теплоты, которое выделяется в проводнике, но и способностью его отдавать энергию в окружающую среду. А эта способность зависит от ряда причин, в том числе от величины поверхности проводника. При одинаковых сопротивлениях подводящего провода электроосветительной сети и нити лампы поверхность излучения энергии у провода больше, чем у нити. Поэтому он в большей мере и охлаждается.

Коротко на вопрос задачи можно ответить так: сопротивление единицы длины у нити больше, чем у провода.

**214.** Никакого противоречия решения задачи и описанного опыта нет, так как подключение спиралей производилось к различным по мощности генераторам электрического тока. В случае батареи способ включения спиралей влиял на напряжение

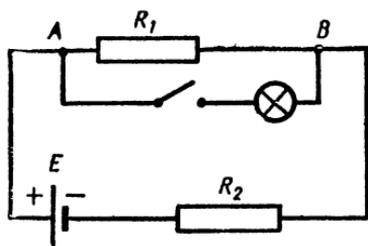


Рис. 170.

во внешней цепи: при последовательном включении оно составляло  $\frac{5}{7}a \cdot 8 \text{ ом} \approx 6 \text{ в}$ , при параллельном:  $\frac{5}{4}a \cdot 2 \text{ ом} = 2,5 \text{ в}$ . Тогда как в городской электросети напряжение оставалось постоянным независимо от способа включения спиралей.

215. Объяснение состоит в том, что после включения лампы режим тока в цепи нарушается, напряжение на участке  $AB$  падает со 110 в до 3,5 в, и лампа горит нормальным накалом. Одним из вариантов подобной цепи может служить цепь, изображенная на рисунке 170, где  $R_1 = R_2 = 1000 \text{ ом}$ ,  $E = 220 \text{ в}$ , а внутреннее сопротивление генератора ничтожно мало.

В этом случае до включения лампы  $U_{AB} = 110 \text{ в}$ , а ток в цепи  $I_1 = 0,11 \text{ а}$ . После включения лампы «закорачивает» участок  $AB$ , сопротивление цепи равно  $R_2 = 1000 \text{ ом}$ , а ток в ней  $I_2 = 0,22 \text{ а}$ . Этот ток течет через лампу, и она горит нормальным накалом.

216. В момент включения, когда нить мощной лампы  $L_1$  холодная и сопротивление ее мало, через лампу  $L_2$  карманного фонаря идет недопустимо большой ток и она перегорает. Если же нить большой лампы разогреть, то ток в цепи будет значительно меньший, а именно

$$I = \frac{P}{U} = \frac{96 \text{ см}}{220 \text{ в}} = 0,44 \text{ а}.$$

Поэтому лампа  $L_2$ , рассчитанная на ток 0,28 а, будет гореть с некоторым перекалом, но не перегорит.

Если в качестве  $L_1$  взять маломощную лампу, то даже и в холодном состоянии сопротивление ее велико и она защищает лампу  $L_2$  от большого тока.

217. Из пяти ламп заменена только одна, поэтому ток, протекающий через эти лампы, изменится мало. Так как сопротивление новой лампы заметно меньше, чем старой, то она будет потреблять меньшую мощность ( $I^2R$ ) и светить менее ярко.

218. Параллельно включенные лампы большой номинальной мощности дают участок цепи  $AB$ , обладающий малым сопротивлением. Поэтому выделяющейся здесь энергии тока недостаточно, чтобы создать заметный накал ламп. После отключения одной из ламп сопротивление участка  $AB$  увеличивается вдвое и выделяющейся энергии достаточно, чтобы создать слабый накал.

Количественный расчет показывает, что при включении двух ламп через каждую из них протекает ток  $I_1 = \frac{1}{2} \frac{U}{R + \frac{r}{2}} = \frac{U}{2R + r}$ ,

где  $U$  — напряжение в сети,  $R$  — сопротивление 60-ваттной лампы,  $r$  — сопротивление 150-ваттной лампы. А при включении одной лампы ток, протекающий через нее, равен  $I_2 = \frac{U}{R+r}$ . Так как  $I_2 > I_1$ , то во втором случае возможен эффект, описанный в условии задачи.

219. В северном полушарии находится южный магнитный полюс Земли.

220. Действие магнита на куски железа, плавающие в ртути, практически ограничено некоторой областью пространства, окружающего магнит. Поэтому «совершить произвольно большую работу» практически невозможно.

221. Магнитное поле тонкой спицы подобно полю, образованному точечными магнитными полюсами. В первом случае при сложении спиц происходит взаимное уничтожение магнитных полей, во втором — усиление. При разведенных спицах в первом случае стержень  $AB$  сильнее намагничивается, чем во втором.

222. На шарике, находящемся в магнитном поле, вследствие индукции образуются два противоположных полюса — северный и южный. Если поле однородно, то силы, действующие на полюсы, одинаковы и равнодействующая их равна нулю. В неоднородном поле эти силы различны. Парадокс разъясняется тем, что слабое поле было неоднородно, а сильное — близко к однородному.

223. Каждый из магнитов «по-своему» намагничивает шарик. А так как они обращены к шарiku одноименными полюсами, то он оказывается намагниченным в большей мере, чем если бы действовал на него один магнит. Вследствие этого сила взаимодействия шарика с каждым магнитом будет больше сил  $F_1$  и  $F_2$ . Другими словами, каждый из магнитов увеличивает силу, действующую на шарик со стороны другого магнита.

224. Ошибка доказательства состоит в том, что предполагается наличие конечной суммы у бесконечного ряда  $\frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \dots$ . Ввиду того что указанной конечной суммы не существует, все «доказательство» теряет смысл.

225. В однородном магнитном поле магнит будет лишь поворачиваться, но не сможет двигаться поступательно. Для небольших по размерам магнитов магнитное поле Земли однородно.

Кроме того, напряженность магнитного поля Земли настолько мала, что не в состоянии перемещать большие грузы (например, остров Лапутию), даже если и учитывать неоднородность магнитного поля Земли.

226. Если собрать установку Вилькенса, то происходит следующее: шарик, докатившись до отверстия  $O$ , не проваливался, а перескакивал бы через него, притягиваясь сильным магнитом.

При слабом магните он, проскочив в отверстие  $O$ , не мог бы, докатившись до закругления  $K$  внизу, перескочить на наклонную плоскость, потому что оказывался под действием силы притяжения магнита, тормозившей движение шарика.

227. Описание установки действительно будет работать..., пока не иссякнет электрическая энергия батареи аккумуляторов. Но это уже не вечный двигатель, создающий энергию из ничего.

228. В двух частях проволоки возникают равные по величине, но имеющие разный знак э. д. с. индукции, которые взаимно компенсируются.

229. Токи в соленоидах имеют одинаковое направление, но катушка провода в катушке  $K_1$  выполнена по лево-винтовой системе, а в  $K_2$  — по право-винтовой. Поэтому в первой цепи ток идет от  $B$  к  $A$ , а во второй — от  $C$  к  $D$ .

230. Максимальное отклонение электронного луча соответствует наибольшей э. д. с. в катушке, а она получается при наибольшей скорости движения магнита, когда он проходит положение равновесия. В моменты остановок, когда указатель  $У$  находится против  $A$  или  $B$ , магнит максимально смещен относительно своего положения равновесия, но э. д. с. индукции равна нулю, поэтому светлое пятно находится в центре экрана. Так получается сдвиг фаз колебаний магнита и светлого пятна на экране.

231. Особенность индукционного тока, возникающего в кольце при изменении пронизывающего его магнитного потока, состоит в том, что э. д. с.  $E$  распределена равномерно по всему контуру.

Пусть  $E_0$  — э. д. с., индуцируемая на единице длины контура, а  $r_0$  — сопротивление единицы длины контура. Предположим, что  $r = nr_0$ , а  $R = mr_0$ , тогда соответственно э. д. с. на дуге  $BA$  будет  $E_{BA} = nE_0$  и э. д. с. на дуге  $ACB$  —  $E_{ACB} = mE_0$ .

Согласно закону Ома ток в контуре

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{(n + m)E_0}{(n + m)r_0} = \frac{E_0}{r_0}.$$

А напряжение на коротком участке кольца

$$U_{BA} = E_{BA} - Ir = E_{BA} - \frac{E_0}{r_0} \cdot nr_0 = 0.$$

Соответственно напряжение на длинном участке

$$U_{ACB} = E_{ACB} - IR = E_{ACB} - \frac{E_0}{r_0} \cdot mr_0 = 0.$$

Таким образом, напряжения между точками  $A$  и  $B$  не существует, хотя в цепи и идет ток. Это не противоречит закону Ома, так как кольцо «работает» в режиме короткого замыкания. Э. д. с. создает падение напряжения, которое приходится целиком на внутреннюю часть цепи.

Нелепый результат ( $r = -R$ ) получился потому, что в самой постановке вопроса сделано неправильное допущение, будто между точками  $A$  и  $B$  существует не равное нулю напряжение. В формуле  $I = \frac{U}{R}$  величина  $U$  является не напряжением, а той долей распределенной по всему контуру э. д. с.  $E$ , которая приходится на его короткий участок, имеющий сопротивление  $r$  (который нами обозначен  $E_{BA} = nE_0$ ).

232. Противоречие решений здесь формально-метафизическое; оно возникло из-за утверждения, что магнитный поток через площадь, ограниченную контуром  $ABCO$ , постоянен. Он не может быть постоянным, так как меняется площадь  $ABCO$ . А изменяется она потому, что сторона  $OA$  подвижна: она каждое мгновение заменяется все новым и новым бесконечно близким «проводником-радиусом». Если представить себе диск состоящим из отдельных, бесконечно близких проволочек  $OA$ ,  $OK$  и т. д., то при его вращении площадь  $ABCO$  будет одновременно и сохраняться, и изменяться. В этом состоит диалектика движения «проводника»  $OA$  и изменения площади  $ABCO$ . Таким образом, с точки зрения диалектической логики нет никакого противоречия второго решения с законом электромагнитной индукции. В цепи  $ABCOA$  возникает постоянный (!) ток.

Рассмотренный случай является одним из проектов униполярной машины, дающей постоянный ток без пульсаций. С теоретической точки зрения эта машина безупречна, но практически мало пригодна, так как ни радиус диска, ни величина напряженности магнитного поля, ни скорость вращения не могут быть сделаны достаточными для создания тех напряжений, которые применяются в современной технике.

233. Проект является одной из конструкций униполярной машины, дающей постоянный ток без пульсаций (см. ответ к задаче № 232).

234. Чтобы получить индукционный ток, необходимо осуществить движение проводника относительно силовых линий магнитного поля (или изменять магнитный поток через заданный контур). В рассказе предполагалось закрепить катушку из провода длиной 4 млрд. км неподвижно на земле. В этом случае никакой индукции тока в проводе не будет.

Если бы удалось «подвесить» катушку-кольцо как спутник, приведя его во вращение вокруг оси, перпендикулярной плоскости кольца и проходящей через центр Земли, то магнитное поле Земли увлекло бы его за собой и э. д. с. электромагнитной индукции почти была бы равна нулю. Возникли бы и другие трудности технического характера (передача энергии на Землю и др.).

235. При сближении проводников  $AB$  и  $CD$  (рис. 171) в контурах I и II возникают индукционные токи, которые согласно закону Ленца (или правилу правой руки) имеют то же направ-

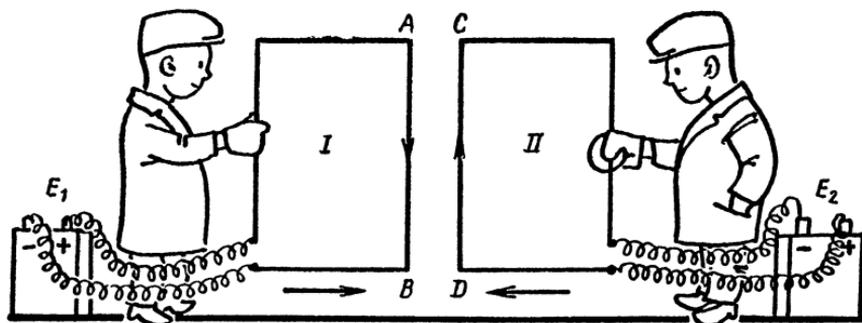


Рис. 171.

ление, что и токи, создаваемые аккумуляторами  $E_1$  и  $E_2$ . Увеличение тока приводит к большему выделению джоулева тепла. Таким образом, энергия, расходуемая при сближении отталкивающихся токов, превращается во внутреннюю энергию системы.

236. Цепь, состоящая из кольца, гальванометра и подвижных контактов, изображена на рисунке 172. Силовые линии магнитного поля пронизывают только кольцо. Цепь гальванометра зашунтирована участком  $CD$ . Каково бы ни было положение контактов на кольце, в цепи принципиально ничего не изменяется: магнитный поток остается постоянным, шунт не исчезает.

237. На противоположных участках рамки, пересекающих силовые линии, наводятся равные и противоположные э. д. с., вследствие чего ток в рамке отсутствует.

238. Во втором решении молчаливо допускается равенство э. д. с., индуктируемых на участках  $AB$  и  $CD$ . А это не так. Величина напряженности магнитного поля больше там, где движется проводник  $AB$ , а не  $CD$ . Поэтому в нем индуктируется и большая э. д. с. И в цепи  $ABCD$  идет ток, тормозящий движение рамки.

239. Подвижная система гальванометра имеет значительную массу, а электронный пучок осциллографа практически безынерционен.

240. Если бы энергия, отдаваемая током на нагревание проводника, была пропорциональна величине тока, то проводник остался бы всегда холодным. Но согласно закону Джоуля—Ленца она пропорциональна квадрату тока. А эта величина отрицательной быть не может. Значит, среднее значение ее за период не равно нулю, хотя среднее значение самого тока за период и равно нулю.

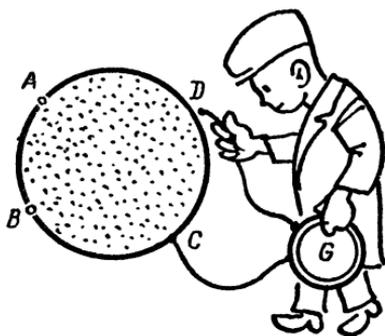


Рис. 172.

241. В решении допущена ошибка. Предполагается, что электрическая цепь одна и та же, как при замыкании, так и при размыкании. Но при замыкании имеются две параллельные ветви  $AB$  и  $CD$ , по которым текут различные токи. А при размыкании ключа (отсоединении батареи элементов) ветви  $AB$  и  $CD$  соединены последовательно, и в них возникает и исчезает один и тот же ток самоиндукции, и лампы гаснут одновременно.

242. Сопротивление катушки переменному току

$$R = \sqrt{R_{\text{акт}}^2 + R_{\text{инд}}^2}.$$

После присоединения второй катушки активное сопротивление  $R_{\text{акт}}$  стало вдвое меньше, а индуктивное  $R_{\text{инд}}$  осталось прежним (роль второй катушки сводится к увеличению поперечного сечения первой). Следовательно, общее сопротивление параллельно включенных катушек будет больше, чем  $\frac{1}{2}R$ .

243. Согласно закону Ленца для электромагнитной индукции, чтобы получить в генераторе постоянного тока ток такого направления, который вращал бы якорь машины в направлении движения часовой стрелки, надо вращать его против хода часовой стрелки.

244. Если б даже не было потерь на трение, имелись бы невосполнимые потери энергии на нагревание сердечников индуктора и якоря. Поэтому машина скоро бы остановилась.

Если бы удалось каким-то образом исключить все потери энергии, получилась бы вечно движущаяся машина, совершенно бесполезная в практическом отношении, так как стоило бы ее хоть чуть-чуть нагрузить, как она через определенный промежуток времени остановилась.

245. Аналогом описанному опыту является следующий: сердечник введен внутрь соленоида  $B$ , затем замыкают ключ  $K$ , в короткозамкнутой катушке  $A$  возникает ток. Описанная система является трансформатором. Как известно, расход энергии в первичной катушке  $B$  зависит от того, замкнута ли вторичная катушка  $A$  (трансформатор нагружен) или разомкнута (режим холостого хода). Если катушка  $A$  замкнута, то расход энергии в первичной цепи, совершаемый за счет аккумулятора  $E$ , больший, чем при разомкнутой катушке.

В случае, описанном в условии задачи, при введении сердечника энергия не должна расходоваться, так как соленоид «сам» вытягивает его. Значит, энергию расходует аккумулятор  $E$ .

246. Длинные волны распространяются вдоль поверхности Земли, вдоль естественного волновода — проводника, каким является поверхность Земли (суши и воды).

Ультракороткие волны распространяются прямолинейно. Поэтому они могут приниматься уверенно лишь на сегменте  $CBD$  (рис. 173) поверхности Земли, который покрывает конус  $CAD$ , где  $BA$  — высота телевизионной вышки.

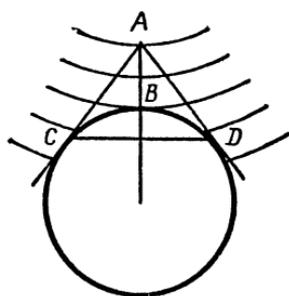


Рис. 173.

Несуразность объяснения в том, что ученик не уяснил понятия длины волны как расстояния между двумя ближайшими ее точками, находящимися в одинаковых фазах колебания. Он не представляет себе размеры длины волны и расстояния между передатчиком и приемником.

247. Короткие волны распространяются прямолинейно. Они хорошо принимаются на площади сегмента *CBD* (рис. 173). Поэтому, казалось бы, за линией *CD* они не должны бы приниматься вовсе. Однако это не так. Землю окружает слой ионосферы,

отражающей короткие радиоволны, если они падают под углом, большим предельного угла полного отражения. На рисунке 174 изображен пучок лучей, посылаемых передатчиком на ионосферу. Лучи 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 имеют углы падения большие, чем предельный, поэтому они испытывают полное отражение и снова попадают на Землю. Но при этом образуется зона, где нет отраженных радиоволн, так называемая зона молчания.

248. При размыкании тока в цепи электромагнита возникает электромагнитная волна, уносящая с собой какую-то энергию источника, который создал эту волну. Если кусок железа замыкает электромагнит, излучается меньшая энергия, чем если куска железа нет. Разность этих двух энергий излучения и равна потенциальной энергии удаленных друг от друга электромагнита и куска железа. Таким образом, энергия бесследно исчезнуть не может. При изменении магнитного поля после выключения тока возникает электромагнитная волна, которая и уносит с собой

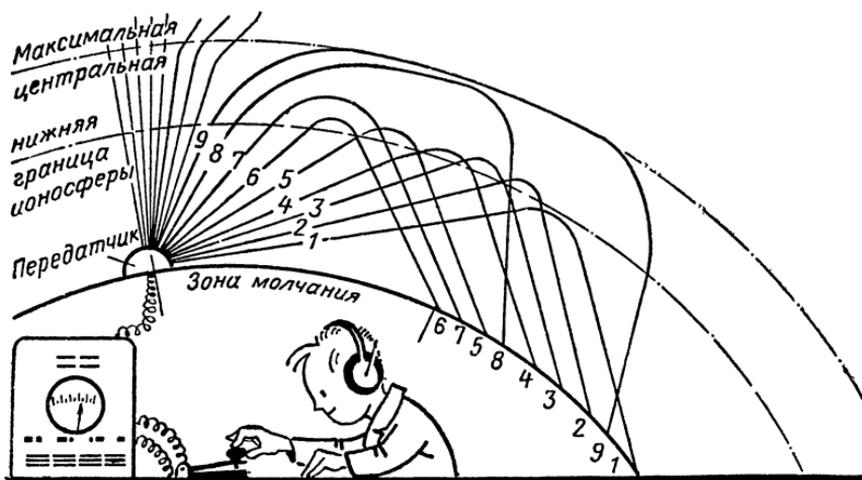


Рис. 174.

энергию, затраченную на удаление куска железа от электромагнита.

249. Потому что различные участки протяженного источника находятся на различных расстояниях от того места, где измеряется освещенность.

250. Формула  $W = \frac{K}{r^2}$  справедлива для точечного источника.

При  $r$ , близких к нулю, источник перестает быть точечным, и приведенная формула несправедлива.

251. В «доказательстве» не учтены два обстоятельства: 1) пламя свечи не является точечным источником света, поэтому не все отраженные лучи соберутся в центре зеркала; 2) коэффициент отражения  $\frac{m}{n}$  не может быть постоянной величиной, ибо излучение энергии через стенки зеркала пропорционально четвертой степени абсолютной температуры.

252. Освещенность данной площадки потоком энергии от точечного источника зависит не только от расстояния, но и от угла падения лучей на площадку:  $E = \frac{I}{r^2} \cos \alpha$ , где  $I$  — сила света источника лучистой энергии,  $r$  — расстояние,  $\alpha$  — угол падения. Хотя зимой Земля и ближе к Солнцу, чем летом, угол падения лучей зимой (в связи с наклоном земной оси к плоскости ее орбиты) на северное полушарие Земли больший, чем летом. Этот фактор оказывается более существенным, чем относительно небольшое приближение Земли к Солнцу.

253. В решении не учитывается, что при постоянстве расстояния от пленки до объектива при удалении предмета линейные размеры изображения на пленке также уменьшаются во столько раз, во сколько увеличивается расстояние от снимаемого предмета до объектива фотоаппарата. А это приводит к тому, что на каждый квадратный миллиметр пленки падает тот же световой поток.

254. См. ответ к задаче № 253. При изменении расстояния от глаза до лампы изменяется величина светового потока, попадающего в глаз, однако во столько же раз при этом изменяется площадь изображения на сетчатке глаза. Поэтому освещенность сетчатки (яркость лампы) не изменяется.

255. Разность хода, равная целому числу волн, может еще и не обеспечить максимум интерференции. Необходимо при этом, чтобы сами источники совершали колебания в одинаковых фазах.

256. См. ответ к задаче № 184. В бегущей волне энергия пропорциональна квадрату амплитуды вектора, описывающего колебание среды, в которой распространяется волна. При интерференции волн энергия сложного колебания также определяется квадратом амплитуды. И если суммарная амплитуда равна нулю, то нет и энергии колебаний. Это не противоречит закону со-

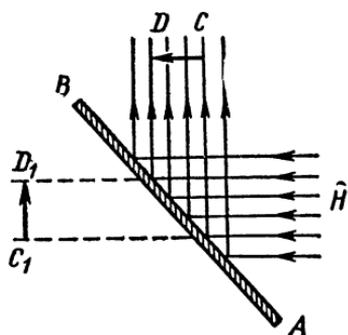


Рис. 175.

хранения энергии, так как при интерференции волн не происходит интерференции (сложения) энергий отдельных волн. При интерференции максимумы и минимумы освещенности не связаны, вообще говоря, с какими-либо превращениями лучистой энергии, т. е. в местах минимумов световая энергия отнюдь не переходит в другие формы, например во внутреннюю энергию. Дело сводится лишь к перераспределению светового потока, так что минимумы освещенности в одних местах компенсируются максимумами в других.

Если подсчитать энергию, проходящую через замкнутую поверхность, окружающую источник света и зеркало (два когерентных источника), а затем энергию, протекающую через ту же поверхность в отсутствие зеркала, то энергии в обоих случаях оказываются равными.

257. Малое отверстие от каждой точки поверхности светящегося тела дает на экране маленькое светлое пятнышко, форма которого подобна форме отверстия. Но совокупность всех малых пятнышек дает форму светлого пятна на экране, подобную форме светящегося тела (неровности линии, окаймляющей светлую фигуру на экране, практически незаметны). Поэтому при любой (но малой) форме отверстия от Солнца получится круглое пятно на экране.

Если размеры отверстия велики, то на экране наблюдается светлое пятно, подобное форме отверстия, как и при всяком тепловом проектировании.

258. Расстояния от предмета  $AB$  и его изображения  $A_1B_1$  до глаза различны. Поэтому глаз видит их под разными углами.

259. Поток лучей, исходящих из  $H$ , отражается зеркалом и падает на предмет  $CD$  (рис. 175), отражается от него, падает

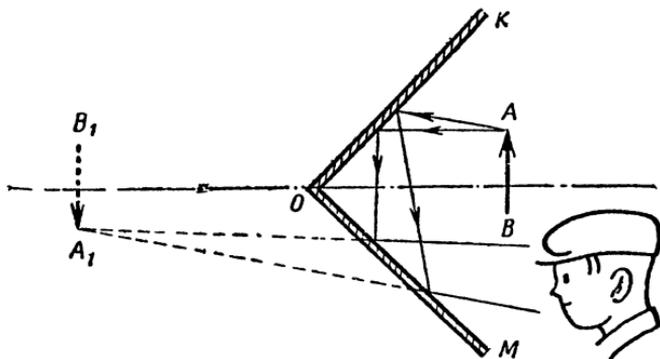


Рис. 176.

на зеркало и снова отражается к наблюдателю  $H$ . Наблюдатель воспринимает теперь не только те лучи, которые раньше исходили из самого предмета  $CD$ , но и часть того светового потока, который он направил на предмет  $CD$  и который возвратился к нему. Это создает представление, будто изображение  $C_1D_1$  стало светлее.

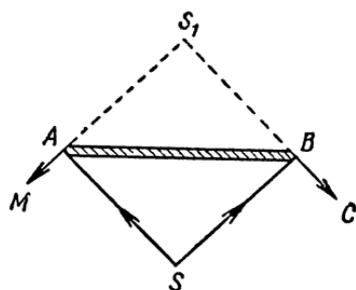


Рис. 177.

**260.** В первой фразе условия задачи допущена ошибка. Зеркало не меняет нашей правой стороны на левую. Это обман зрения, вызванный симметрией человеческого тела относительно вертикальной оси. Изображение нашей правой руки кажется нам левой нашего зеркального двойника не потому, что это изображение переместилось на левую сторону, а потому, что зеркальный двойник нам представляется повернутым к нам лицом, т. е. глядит сравнительно с нами в противоположную сторону. Противоречия нет — плоское зеркало не дает перевернутого изображения.

**261.** Построим ход лучей в данной системе зеркал, например, для точки  $A$  (рис. 176). Получим симметричную относительно вершины  $O$  прямого угла точку  $A_1$  — изображение точки  $A$ . Аналогично строится изображение  $B_1$ . В результате получается мнимое и перевернутое изображение предмета.

**262.** Изображение светящейся точки — это точка, откуда, как это представляется глазу, исходят лучи. Плоское зеркало, на которое падает расходящийся пучок лучей от светящейся точки,

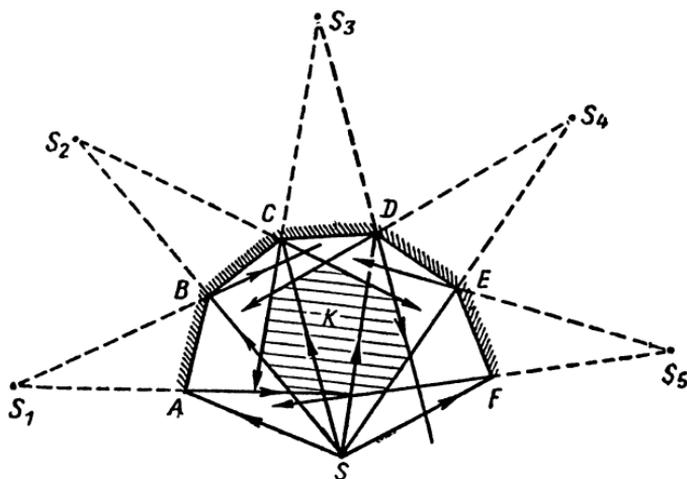


Рис. 178.

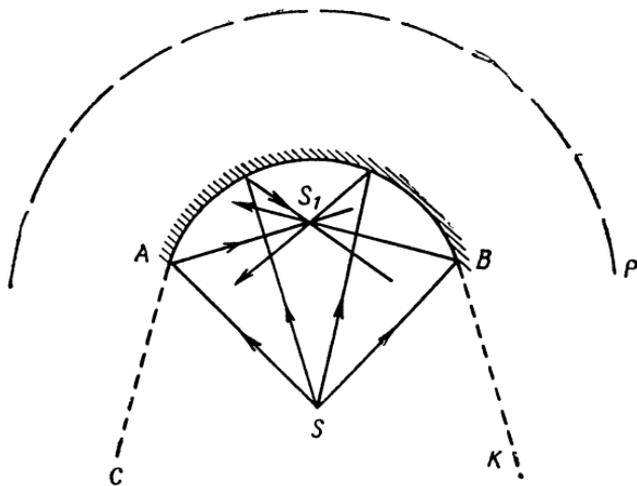


Рис. 179.

дает также расходящийся пучок. Часть этого пучка, падая на зрачок глаза, дает представление о мнимом изображении, находящемся за зеркалом. Область видения изображения (конус *CBAM* — рис. 177) зависит от размеров плоского зеркала *AB* и расстояния светящейся точки от зеркала. Чем меньше зеркальце, тем уже конус, в который надо поместить глаз, чтобы он видел изображение. Если имеется система плоских зеркал, то областью одновременного видения глазом всех изображений является часть пространства, где пересекаются пучки лучей, отраженных от всех зеркал.

Если на вогнутую поверхность *ABCDEF* (рис. 178), состоящую из многих плоских зеркалец, падает свет от точечного источника *S*, то одновременно можно в каждом из них увидеть мнимое изображение источника  $S_1, S_2, S_3, \dots$ , если поместить глаз в область *K*, где пересекаются все отраженные пучки.

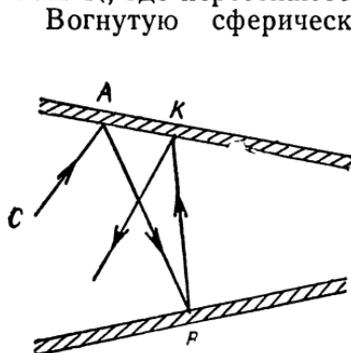


Рис. 180.

Вогнутую сферическую зеркальную поверхность можно рассматривать как бесконечно большое множество бесконечно малых плоских зеркал. В этом случае областью видения мнимых изображений будет точка  $S_1$ , где сходятся все отраженные от зеркала лучи. Если в эту точку поместить глаз, то он увидит всю поверхность зеркала светящейся — это видна поверхность *P* — совокупность мнимых изображений светящейся точки во всех элементах зеркала.

Если глаз поместить в любую точку внутри пространства  $SABK$  (рис. 179), то он увидит поверхность  $AB$  темной, а точку  $S_1$  светящейся. Точка  $S_1$ —действительное изображение точки  $S$ .

Таким образом, нет никакого противоречия в первой и второй частях условия задачи.

263. Противоречие возникло потому, что взяты лучи, расположенные далеко от главной оптической оси.

264. Противоречия нет. Пучок лучей света, попадающих в глаз, ограничен площадью зрачка.

265. Луна, подобно Земле, есть темный непрозрачный шар, освещенный Солнцем. Фазы Луны — следствие различной видимости с Земли той части поверхности Луны, которая освещена Солнцем. Конечно, физические размеры Луны-шара при новолунии и полнолунии одинаковы. Поэтому утверждение ученика никакого физического смысла не имеет.

266. На рисунке 136 неправильно изображены лучи, многократно отраженные от внутренней зеркальной поверхности конуса. Правильный дальнейший ход луча  $CA$  изображен на рисунке 180, из которого видно, что этот луч не достигнет отверстия  $O$ , а возвратится обратно. Так же будет вести себя и большинство других лучей, исходящих из точки  $C$ . Лишь небольшая часть лучей, посылаемых источником  $C$ , достигнет отверстия  $O$ .

267. Непрозрачность неоднородной среды обусловлена рассеянием света в этой среде: при каждом переходе света из одной среды в другую он частично отражается.

268. Размеры площади зрачка малы, в глаз попадает узкий пучок расходящихся лучей, дающий представление о некоторой светящейся площадке, настолько малой, что глаз воспринимает ее как светящуюся точку  $C_1$ .

269. Сделаем количественный и графический расчет видимой глубины водоема. Пусть  $KM$  — поверхность воды в водоеме,  $A$  — дно,  $O$  — зрачок наблюдателя (рис. 181). Из точек  $A$ ,  $B$ ,

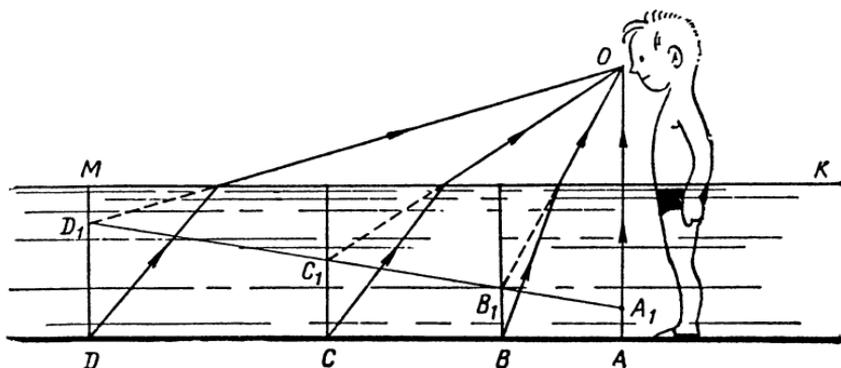


Рис. 181.

$C$ ,  $D$  в глаз наблюдателя попадают лучи. Но вследствие преломления на границе вода — воздух наблюдатель будет видеть эти точки в местах  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $C_1$ ,  $D_1$ , рассчитать которые легко по формуле

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}.$$

Расчеты, которые мы не проводим, дают видимый профиль дна таким, каким он изображен на рисунке 181.

270. См. ответ к задаче № 269. Чем дальше от наблюдателя находится точка внутри аквариума, тем ближе к стеклу она ему видна. Соответственно, если подойти к аквариуму, то это приближение уменьшится, видимые предметы как бы удаляются от стекла. Затем предметы снова как бы приблизятся к стеклу.

271. Обычно через стекло смотрят по направлению, перпендикулярному к поверхности стекла. Кроме того, толщина оконного стекла невелика. Поэтому смещения предметов не наблюдается.

272. Вследствие преломления лучей света в земной атмосфере (рефракции) Солнце видно восходящим несколько раньше, а заходящим несколько позже, чем следует из чисто геометрических построений. Поэтому во время равноденствия фактически день несколько продолжительнее, чем ночь.

273. Солнце и Луна находятся ниже плоскости горизонта, но вследствие атмосферной рефракции представляются нам находящимися над ней.

274. Непрозрачность бумаги и стеарина объясняется оптической неоднородностью этих веществ: попадающий в такое вещество луч света многократно преломляется и отражается на кристалликах и волокнах, заключенных в бумаге и стеарине. Стеариновое пятно на бумаге — среда, оптически более однородная, чем стеарин и бумага, отдельно взятые. Поэтому в нем свет менее рассеивается, и оно представляется прозрачным.

275. Понятие параллельного пучка так же, как понятие точечного источника света, является идеализированным; на практике параллельный пучок неосуществим, хотя реальные пучки могут быть близки к параллельному. В реальных условиях нельзя получить точечный источник света. Линза обладает аберрацией.

276. В глазу на сетчатке действительно получается перевернутое изображение предмета. Но условный рефлекс, выработанный человеком с момента его рождения, дает ему возможность правильно ориентироваться в мире окружающих предметов. Если свет падает на нижнюю часть сетчатки, человек знает, что он шел от верхней части предмета и наоборот. Если свет падает в левую часть сетчатки, человек знает, что он шел от правой части предмета, и наоборот. Таким образом, перевернутость изображения на сетчатке ничуть не мешает человеку правильно судить о действительном расположении предмета в пространстве.

277. См. ответ к задаче № 276.

278. Отверстие служит светящейся точкой. На сетчатке получается прямая тень булавки; такое расположение тени на сетчатке в соответствии с выработанным условным рефлексом дает представление о перевернутой булавке.

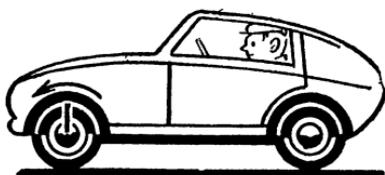
279. От каждой точки предмета, находящегося в фокальной плоскости линзы, лучи после преломления идут параллельным пучком. Глаз, аккомодированный на бесконечность, собирает каждый такой пучок в одну точку на сетчатке.

280. Глаз способен сохранять некоторое время зрительное впечатление. Поэтому изображение капли воды на сетчатке оставляет прямолинейный след.

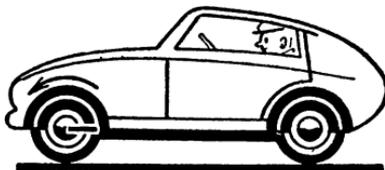
281. Это явление наблюдается, если скорость смены кадров близка к скорости вращения колеса автомобиля, но несколько больше ее: тогда за время смены кадров колесо успевает сделать несколько меньше полного оборота. Например, в случае, изображенном на рисунке 182, за время смены кадра колесо делает  $\frac{3}{4}$  оборота против часовой стрелки. Нам же кажется, что оно делает за то же время  $\frac{1}{4}$  оборота по часовой стрелке.

282. В соответствующих местах сетчаток глаз получают разные изображения: в правом изображении руки, в левом изображение отверстия. Это можно проверить, закрывая тот или другой глаз.

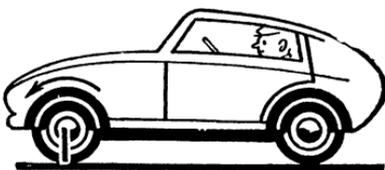
283. Глаз находится ближе главного фокуса линзы. Каждая линза очков с хрусталиком глаза составляет единую оптическую систему.



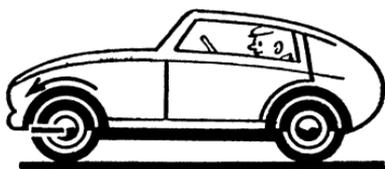
1-й кадр



2-й кадр

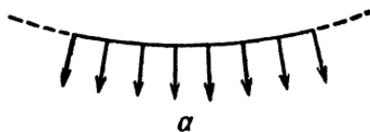


3-й кадр



4-й кадр

Рис. 182.



а



б

Рис. 183.

**284.** От далекой звезды свет распространяется в виде лишь одной сферической волны, лучи которой практически параллельны (рис. 183, *а*) и совпадают с направлением главной оптической оси глаза. Эти лучи дают на сетчатке одно-единственное изображение светящейся точки (звезды).

От светящейся же плоскости свет распространяется плоскими волнами, идущими во всевозможных направлениях (рис. 183, *б*). Каждая плоская волна, попадая в зрачок глаза, дает на сетчатке свое изображение. Бесконечно большое число плоских волн, ориентированных по всем направлениям, дает в глазу столько изображений, что они покрывают всю сетчатку. У наблюдателя возникает представление о светящейся плоскости.

Софизм условий задачи состоит в том, что неявно предполагается, будто светящаяся плоскость излучает единственную плоскую волну, фронт которой перпендикулярен главной оптической оси глаза.

**285.** Известен перспективный эффект схождения удаляющихся «на бесконечность» параллельных прямых. Видимая радиальность лучей Солнца есть следствие оптического обмана: нам представляется, будто Солнце, к которому сходятся параллельные лучи, находится в атмосфере тотчас за облаками и имеет небольшую видимую величину.

**286.** Большой поперечник Луны у горизонта есть лишь обман зрения. Фотографии Луны близ горизонта и вблизи зенита показывают, что угловой диаметр Луны в обоих случаях одинаков. В последнем можно убедиться и визуально, если посмотреть на Луну в зеркало, расположенное так, чтобы изображение Луны оказалось примерно в зените. Лучше применять зеркало поперечного сечения.

**287.** Явление объясняется иррадиацией: раздражение, если оно достаточно сильное (от светлого и яркого предмета), распространяется по сетчатке, и на соседние ее участки. Поэтому белые предметы кажутся всегда большими, чем в действительности.

**288.** Явление объясняется световым утомлением глаза. Если в глаз попадал свет от яркого предмета, то места сетчатки, на которые он падал, некоторое время не способны воспринимать свет. В это время, осветив сетчатку равномерно слабым источником света, можно видеть свет всюду, за исключением тех мест, которые перед этим были ярко освещены. Так возникает образ черного предмета на сером фоне. Яркая светлая молния быстро сменилась менее яркой, осветившей темно-серые облака. На этом сером фоне рассказчик увидел «черную молнию» — копию светлой молнии, блеснувшей незадолго перед этим.

**289.** Плитка обладает большой теплоотдачей. Поэтому она не нагревается до температуры накала нити лампы.

**290.** Луна рассеивает только 14-ю долю того света, который падает на ее поверхность. Поэтому астрономы с полным правом считают поверхность нашего спутника серой. Отраженный от темно-серой поверхности свет сохраняет тот цвет, какой имели падающие лучи. Если падающий свет был белый, то и отражающийся от поверхности Луны свет тоже будет белым. Солнечный свет, например, отраженный даже от черного предмета, остается белым. Самый черный дым из трубы, когда он освещается снопом солнечного света, отражает на всем протяжении белый свет от своих мельчайших частиц. Если бы луна была обтянута самым черным бархатом, она и тогда сияла бы на небе серебристым диском. Большую роль играет, конечно, и контраст с темным небом, на фоне которого даже слабые источники света кажутся яркими.

**291.** Противоречия нет. Синяя краска поглощает все цвета, но отражает синий, голубой и зеленый; желтая — поглощает все цвета, но отражает зеленый, желтый, оранжевый. Обе краски в смеси отражают лишь зеленый цвет.

При освещении экрана синим и желтым светом оба они отражаются, попадают в глаз, и возникает ощущение белого света.

**292.** Цвет листьев определяется частотой того света, который они рассеивают. Стекло обычной синей лампы пропускает не только синие, но частично и красные лучи. Из падающего на них света листья отражают не только зеленый (которого в данном случае не было), но отчасти и красный свет.

**293.** Длительное рассматривание зеленовато-голубого экрана телевизора приводит к цветовому утомлению глаза — в течение некоторого времени глаз не воспринимает зелено-голубые лучи. Поэтому при рассматривании белых предметов глаз видит их окрашенными в желто-оранжевый цвет.

**294.** Физическую сущность явления фотоэффекта раскрыл А. Эйнштейн в известном уравнении  $h\nu = P_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2}$ . Выбывание из металла каждого электрона происходит лишь в том случае, если в световом потоке содержатся такие кванты, энергии которых достаточно, чтобы совершить работу выхода и сообщить электрону некоторую кинетическую энергию.

**295.** Свинец состоит из тяжелых атомов, парафин — из легких (углерод и водород). При столкновении с тяжелым атомом нейтрон отскакивает от него, как мячик от стены, сохраняя величину своей скорости. При столкновении с равным по массе атомом водорода нейтрон передает ему почти всю свою энергию и сам останавливается (как это имеет место при ударе бильiardных шаров). Поэтому в качестве замедлителей нейтронов применяют тяжелую воду или графит.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие . . . . .	3
<b>Механика</b>	
1. Кинематика . . . . .	5
2. Законы Ньютона . . . . .	7
3. Статика . . . . .	11
4. Гидро- и аэростатика . . . . .	23
5. Работа и энергия . . . . .	37
6. Вращательное движение и закон всемирного тяготения . . . . .	40
7. Механические колебания и волны. Звук . . . . .	48
<b>Молекулярная физика</b>	
8. Теплота и работа . . . . .	51
9. Тепловое расширение . . . . .	52
10. Кинетическая теория газов . . . . .	—
11. Молекулярные свойства жидкости . . . . .	55
12. Изменение агрегатного состояния вещества . . . . .	58
13. Тепловые машины . . . . .	61
<b>Электродинамика</b>	
14. Электрическое поле . . . . .	63
15. Постоянный электрический ток . . . . .	71
16. Магнитное поле . . . . .	78
17. Электромагнитная индукция . . . . .	82
18. Переменный ток . . . . .	87
19. Электромагнитные колебания и волны . . . . .	88
<b>Оптика</b>	
20. Световые волны . . . . .	90
21. Геометрическая оптика . . . . .	92
22. Излучение и спектры. Кванты света . . . . .	100
Ответы . . . . .	101

*Мордехай Ейзикович Тульчинский*

### **ЗАНИМАТЕЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ-ПАРАДОКСЫ И СОФИЗМЫ ПО ФИЗИКЕ**

Редактор *Л. Л. Величко*

Оформление и рисунки художника *Л. С. Вендрова*

Художественный редактор *Л. Ф. Малышева*

Технический редактор *В. И. Корнеева*

Корректоры *Р. Б. Штутман, Г. С. Попкова*

Сдано в набор 6/VII 1970 г. Подписано к печати 6/IV 1971 г. А 07087, 60×90<sup>1/16</sup>. Бумага газетная. Печ. л. 10. Уч.-изд. л. 9,97. Тираж 150 000 экз. (Пл. 1971 г. № 240), Заказ № 6010.

Издательство «Просвещение» Комитета по печати при Совете Министров РСФСР. Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Типография изд-ва «Горьковская правда», г. Горький, ул. Фигурер. 32.

Цена 26 коп.

26 коп.

