

В. Г. РАЗУМОВСКИЙ
ТВОРЧЕСКИЕ
ЗАДАЧИ
ПО ФИЗИКЕ

АКАДЕМИЯ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ НАУК РСФСР

В. Г. РАЗУМОВСКИЙ

ТВОРЧЕСКИЕ
ЗАДАЧИ
ПО ФИЗИКЕ
В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПРОСВЕЩЕНИЕ» • Москва 1966

Рекомендована к изданию Ученым советом
Института общего и политехнического
образования Академии педагогических
наук РСФСР

ПРЕДИСЛОВИЕ

За последнее время возрастает тенденция к развитию самостоятельности и инициативы учащихся в процессе обучения. Это способствует формированию прочных знаний и развитию способностей. Предлагаемая вниманию читателей книга посвящена разрешению части этой проблемы при обучении учащихся физике.

В книге делается попытка осветить ряд методических проблем, связанных с важнейшим видом упражнений, с творческими задачами по физике. Какие упражнения следует считать творческими, какова их роль в учебном процессе, каким должно быть их содержание, каковы наиболее целесообразные виды творческих упражнений и методика их проведения — вот круг вопросов, которым посвящена первая часть книги.

Во второй части книги даны творческие упражнения различных видов: задачи, лабораторные работы и задания по механике, теплоте и молекулярной физике, электричеству, а также предложены возможные варианты их решений. Все эти упражнения составлены и проверены автором в процессе преподавания физики в школе № 315 Москвы. Эти задачи учителя физики могут использовать по своему усмотрению: давать их учащимся все подряд на соответствующем этапе изучения курса физики или давать только некоторые задачи, а другие использовать как

материал для составления более удачных вариантов упражнений.

Пользуясь случаем, выражаю глубокую признательность рецензентам, ценные замечания которых на разных этапах работы над книгой способствовали ее улучшению: В. П. Демковичу, Л. И. Резникову, Б. С. Зворыкину, В. В. Мултановскому, Б. Н. Седельникову, В. А. Бурову, И. М. Румянцеву и А. А. Покровскому.

Автор

$$\frac{mv^2}{R} = mgk$$
$$k = \frac{v^2 R}{g}$$



Методика
творческих
упражнений
по физике

Одна из важнейших задач советской школы — разработать новые эффективные методы обучения и воспитания подрастающего поколения. Перестройка школьного образования требует изменить не только содержание, но и методы обучения в сторону всемерного развития самостоятельности и инициативы учащихся. Это требование в полной мере относится и к преподаванию физики в средней школе. Важно, чтобы знания учащихся были не только глубокими и прочными, но и действенными, т. е. чтобы учащиеся умели применять их на практике.

Опыт показывает, что нередко учащиеся не получают таких знаний. Любой успевающий по физике десятиклассник сформулирует закон Ома, приведет примеры, решит по формуле задачи. Но, к сожалению, не каждый сообразит, почему иногда в доме меркнет электрический свет, почему при нормальном накале настольной лампы, включенный в ту же розетку кинопроектор «не тянет», как при этих условиях заставить его работать.

Это говорит о том, что учащиеся часто владеют знаниями формально, т. е. могут пересказать материал учебника, подтвердить его своими примерами, решить тренировочные задачи, но затрудняются применить свои знания на практике, в новых условиях.

Опыт работы показывает, что эти недостатки обучения в значительной мере можно устранить, если систематически давать учащимся творческие задачи, которые потребуют объяснить какое-то новое для них явление или найти способы достижения какого-то определенного эффекта на основе использования тех или иных физических закономерностей.

Такие задачи приучают учащихся осмысливать сообщаемые им знания, т. е. активизируют учебный процесс. Они способствуют созданию в классе правильной психологической обстановки. Учащиеся воспринимают новый материал не для того, чтобы изложить его учителю при ответе в том же виде, а для того, чтобы использовать на практике: сконструировать прибор, объяснить физическое явление. В результате у учащихся вырабатывается правильное отношение к учебному предмету — заинтересованность в действительных знаниях.

В педагогической литературе отражен и обобщен опыт учителей, которые используют творчество учащихся (главным образом техническое) как метод обучения физике. Этот вопрос в большей степени освещался приме-

нительно к внеклассным занятиям, а также к трудовой практике учащихся. Организации же творческой деятельности учащихся на уроке в процессе обучения физике уделяется недостаточное внимание. Более того, широко употребляемый термин «творчество» применительно к обучению не определен.

ЧТО ПОНИМАТЬ ПОД ТВОРЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ УЧЕНИКА ПРИ ОБУЧЕНИИ ФИЗИКЕ

В понимании творчества существуют две крайности. Одни относят к творчеству только то, что связано с объективной новизной и имеет общественную значимость. Например, каждый шаг вперед науки и техники в области освоения космического пространства справедливо расценивается как яркое проявление творчества прежде всего потому, что эти шаги делаются впервые, до сих пор человечество ничего подобного не знало.

Другие, также не без оснований, считают, что всякая человеческая деятельность, и в том числе любая учебная деятельность ученика, сопряжена с творчеством, поскольку для ученика «все ново».

Совершенно очевидно, что, придерживаясь любой из этих крайностей, бессмысленно говорить об организации творческой деятельности ученика в учебном процессе. В самом деле, с одной стороны, было бы утопией рассчитывать на то, что учащиеся в процессе обучения могут систематически делать какие-то научные открытия, изобретения или рационализаторские предложения. С другой стороны, если для учащихся «все ново», то, значит, каждый шаг в учебном процессе для ученика творческий и также нет смысла говорить о какой-то еще специально организованной творческой деятельности. Очевидно, что ни с тем, ни с другим утверждением о творческой деятельности в учебном процессе согласиться нельзя.

Действительно, учащиеся не могут в процессе обучения систематически делать объективно новые открытия и изобретения. Но они могут делать открытия и изобретения для себя, т. е. открытия и изобретения, обладающие лишь субъективной новизной. На этом строится эвристический метод обучения, на этом строится и самостоятельная исследовательская работа учащихся в процессе обучения. (Подробнее вопрос о субъективной новизне изложен мною в книге «Развитие технического творчества учащихся», Учпедгиз, 1961.— *Авт.*)

Вместе с тем, хотя творчество органически входит во всякую человеческую деятельность, все-таки целесообразно специально поговорить о творческой деятельности в процессе обучения. При этом в качестве критерия для оценки этой деятельности следует брать не новизну вообще, а новизну, касающуюся совершенно конкретных знаний.

Представим себе, что учащимся предлагается следующее задание: определить наиболее простым способом начальную скорость «снаряда»

баллистического пистолета. В ответ учащиеся дадут несколько самых разнообразных вариантов выполнения этого задания.

Одни предложат выстрелить из пистолета вверх, измерить высоту полета «снаряда» и по высоте вычислить начальную скорость; другие — выстрелить из пистолета, направив его ствол горизонтально, измерить дальность полета «снаряда» и затем вычислить его начальную скорость; третьи — воспользоваться баллистическим маятником; четвертые — измерить упругость пружины, массу «снаряда» и определить его скорость, основываясь на законе сохранения энергии. Возможно, что предложат и другие решения.

Следует ли все эти решения рассматривать как творческие? Можно было бы на этот вопрос ответить утвердительно, если было бы известно, что с тем или иным вариантом решения этой задачи учащиеся не были знакомы раньше. Действительно, было время, когда ни один из этих способов определения скорости полета снаряда не был известен человечеству и их открытие было результатом творчества.

В психологическом плане от того, что это изобретение оказалось уже сделанным, ничто не меняется. Основной признак творчества — новизна — существует, но новизна эта субъективная, это новизна только для ученика.

На эту субъективную новизну в творчестве учащихся и следует ориентироваться учителю в учебном процессе.

Однако если решение поставленной задачи (определить начальную скорость «снаряда», выпущенного из баллистического пистолета) считать творческим, то не будет ли творческим решение любой задачи по физике? Другими словами, не эквивалентна ли формулировка нашей задачи одной из следующих формулировок: определить начальную скорость «снаряда», если, выстреленный вертикально вверх, он поднялся на высоту h , если, выстреленный горизонтально на высоте h_1 , он пролетел над ровным горизонтальным полом расстояние s , если, обладая массой m и попав в баллистический маятник массой M , он вызвал отклонение последнего от вертикали на угол α , если масса «снаряда» m , а энергия сжатой пружины W и т. п? (В дальнейшем при сравнении этих задач будем говорить о задачах первого и второго типа.) Сравнение показывает, что формулировки задач первого и второго типа не равноценны.

В задаче первого типа дается одно лишь требование (определить начальную скорость) и нет никаких указаний на то, как можно выполнить это требование. В самом деле, прежде чем определить начальную скорость снаряда, надо еще найти, каким способом это можно сделать. Нужно найти подходящие для данного случая физические явления, закономерности которых известны и которые можно использовать для решения задачи. Из возможных способов надо отобрать простейший для данного конкретного случая (например, выстрелить из пистолета вверх, измерить высоту полета «снаряда» и рассчитать его начальную скорость), и тогда задача первого типа сведется к одному из вариантов задачи второго типа.

Задача второго типа значительно проще тем, что в ее условиях содержится не только требование определить начальную скорость, но и описывается конкретное физическое явление (тело брошено вертикально вверх), закономерности которого известны. Действительно, если известно, что из баллистического пистолета выстрелили вертикально вверх и «снаряд» при этом поднялся на высоту h , то начальную скорость снаряда определить просто, поскольку эта задача может быть рассмотрена как частный случай свободного движения тела, брошенного вертикально вверх. Следовательно, начальную скорость «снаряда» можно вычислить по формуле: $v = \sqrt{2gh}$.

Но, может быть, более высокая степень сложности задачи первого типа еще не дает возможности считать ее творческой, а задачу второго типа считать не творческой? Ведь очевидно, что, поскольку и та и другая задача будет решаться впервые, обе они будут содержать что-то новое — необходимый признак творческой деятельности. Для того чтобы убедиться, что такое предположение неверно, нужно выяснить, в чем новизна в задачах первого и второго типа.

В задачах первого типа требуется прежде всего найти принцип решения, а в задачах второго типа принцип решения, по существу, уже содержится в ее условиях. Творчеству присуща существенная новизна, и поэтому мы вправе назвать задачи первого типа творческими в отличие от задач второго типа, которые следует называть тренировочными.

Теперь нужно выяснить еще один важный вопрос: какое отношение творческая задача имеет к творчеству? Можно ли говорить об идентичности того и другого? Очень часто в литературе делается упор на то, что творчество — это «самовыражение» личности, ему присуща яркая индивидуальность, что нельзя давать тему для творчества, она сама «приходит». Кроме того, творческие идеи, замыслы вынашиваются и разрешаются нередко очень длительное время. Иногда на это уходят десятки лет, а то и целая жизнь ученого. Имеют ли какое-нибудь отношение к такому творчеству творческие задачи, о которых здесь говорится?

Для того чтобы установить соотношение между творческой задачей и творчеством, обратимся к анализу творческого процесса. Его можно подразделить на три основных этапа: формулировка проблемы; теоретическое ее решение; проверка правильности решения и (если требуется) материальное осуществление или опытная проверка найденного решения.

Из этого элементарного анализа творческой деятельности видно, что решение творческой задачи является центральным и основным звеном творческого процесса, вместе с тем оно может быть и тем частным случаем творческого процесса, когда проблема уже сформулирована и вся необходимая информация для решения уже имеется.

Следовательно, творческие задачи по физике, используемые на уроке и для домашних заданий, могут рассматриваться как вид творческой деятельности учащихся в учебном процессе.

ВИДЫ ТВОРЧЕСКИХ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

Исходя из всего сказанного, можно назвать следующие основные признаки творческой задачи по физике: это задача, в которой сформулировано определенное требование, выполнимое на основе знания физических законов, но в которой отсутствуют какие-либо прямые и косвенные указания на те физические явления, законами которых следует воспользоваться для решения этой задачи. Этих признаков вполне достаточно для распознавания творческой задачи, но недостаточно для составления творческих задач на любую физическую закономерность. Чтобы найти ключ к составлению творческих задач, можно сделать еще одно уточнение.

Обратимся к аналогии. В науке различают в основном два вида творчества: открытия и изобретения. Творческие задачи по физике очень условно можно подразделить также на два вида: «исследовательские» (требующие ответа на вопрос *почему?*) и «конструкторские» (требующие ответа на вопрос *как сделать?*). Такое подразделение творческих задач можно использовать в качестве ключа к их построению.

Предположим, что учащиеся изучили второй закон Ньютона, умеют его формулировать, приводят примеры, решают тренировочные задачи. Настало время дать учащимся творческие задачи. Составим задачу исследовательского типа. Для этого опишем внешне какое-то явление и предложим учащимся объяснить, почему оно так происходит. Например, почему при одних и тех же патронах длинноствольные охотничьи ружья обычно обладают большей дальностью? Почему при попытках укоротить ствол ружья («обрез»), его дальность резко падает?

Для решения этой задачи недостаточно знать формулы. Необходимо глубоко осмыслить физические явления, происходящие при выстреле, и установить связывающие их закономерности. Решая такую задачу, учащиеся придут к выводу, что, чем больше время действия пороховых газов на снаряд, тем больше импульс силы и тем больше начальная скорость снаряда, от которой зависит дальность ружья. Очевидно, что в укороченном стволе снаряд получает меньший импульс.

Здесь опять-таки не столько важно объяснить и осмыслить технические подробности устройства ружья, сколько важен сам процесс творческого анализа, когда в условиях задачи говорится об одной стороне явления, а причина, обуславливающая характер этого явления, кроется совсем в другом — в закономерности, на которую даже и намек нет в условиях задачи.

Составим теперь задачу конструкторского типа. Надо предложить учащимся что-то сделать, построить, измерить, добиться какого-то эффекта. Например, учащимся задается сконструировать прибор, который бы позволял измерять ускорение прямолинейного движения.

Учащиеся не сумеют сконструировать прибор, если они плохо знают второй закон Ньютона, который связывает физические величины: силу,

массу и ускорение. Здесь мало знать только формулы. Необходимо понимать закон по существу. Если тело движется с ускорением, то на него действует сила, и величина ускорения пропорциональна этой силе. Если, например, внутри движущегося транспорта помещено тело определенной массы, соединенное с транспортом пружиной, то величина деформации пружины будет прямо пропорциональна ускорению. Следовательно, по деформации пружины можно измерить ускорение. После того как эта взаимосвязь явлений осмыслена, принцип конструкции становится ясным.

Следует подчеркнуть, что главное здесь не конечная цель мыслительного процесса, не понимание принципа устройства акселерометра (хотя и это важно), а сам процесс творческого поиска. В условиях задачи не говорится ни о массе, ни о силе деформации пружины. Ученик сам находит те явления, которые связаны с ускорением, и те законы, которым эти явления подчиняются. Ведь можно было бы просто познакомить учащихся с готовым акселерометром и объяснить им его устройство. Но совершенно очевидно, что при этом никакой творческой деятельности учащихся не было бы.

Творческие упражнения, отличаясь принципиально от тренировочных, не имеют своей какой-то особой формы. В физике творческие упражнения могут выступать в форме расчетных, качественных или экспериментальных задач, в форме вопросов, поставленных на лабораторных работах, и в форме проблем, выдвинутых для работ физического практикума. Исключение составляют «конструкторские» творческие задачи, которые получили совершенно новую, неизвестную до сих пор форму работы. Слово «конструкторские» при этом имеет чаще всего совершенно условный смысл, т. е. имеется в виду лишь мысленное построение, и от учащихся требуется лишь найти принцип действия, схему устройства в самом общем виде. «Изобретенные» учащимися конструкции не всегда даже практически осуществимы, потому что учащиеся не имеют достаточной подготовки и не учитывают массу побочных явлений, которые могут свести на нет весь ожидаемый положительный эффект. Это обстоятельство, конечно, ни в какой мере не снижает огромного значения этих упражнений для творческого усвоения учебного материала по физике, но оно не может не учитываться. Полезно не только каждый раз делать критические замечания о слабых местах конструкции, но и предложить учащимся изготовить некоторые из них во внеурочное время, дома или в школьной мастерской. Известен опыт работы многих учителей, которые придают этой форме работы с учащимися большое значение и добиваются хороших результатов в развертывании творческой активности учащихся и в сообщении им на этой основе прочных знаний¹.

¹ Б. Т. Войцеховский. Развитие творчества учащихся при конструировании. Учпедгиз, 1962.

В. Я. Волентинавичус. Экспериментальные задания по конструированию приборов, моделей и простейших технических установок в курсе физики восьмилетней школы, «Известия АПН РСФСР», вып. 129, 1963 и вып. 133, 1964.

Практическое осуществление творческого замысла помогает учащимся еще больше оценить действенную силу знаний и вместе с тем найти правильный критический подход ко всякой творческой идее. Опыт работы автора в школе № 315 Москвы показал действительно большую эффективность этой формы работы.

ЗНАЧЕНИЕ ТВОРЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Учебную деятельность ученика по степени усвоения им данного учебного материала можно подразделить по крайней мере на три крупные стадии.

Вначале ученик усваивает материал настолько, что в состоянии воспроизвести его в том виде, в каком получил: изложить то, что было сказано учителем, или пересказать текст учебника, воспроизвести тот или иной опыт, рисунок и т. п.

На второй стадии ученик способен использовать этот материал для решения тренировочной задачи, условия которой прямо указывают на то, какие правила или законы надо применить, чтобы решить данную задачу.

На третьей, самой высокой стадии усвоения материала ученик использует имеющиеся у него знания для решения творческой задачи, условия которой не подсказывают ученику (ни прямо, ни косвенно), какие правила или законы надо применить для ее решения.

Смысл деятельности ученика в том и заключается, чтобы прежде всего определить, какими правилами или законами надо воспользоваться для решения задачи.

Если характеризовать учебный процесс по этим трем стадиям обучения, то следует отметить, что очень часто учащиеся останавливаются в изучении предмета на первых двух стадиях, т. е. они могут воспроизвести учебный материал и решить типовые задачи. Это важный этап в обучении, но нельзя на нем останавливаться. По-настоящему глубокие знания приобретаются на третьей стадии усвоения материала и неразрывно связаны с творческой деятельностью учащихся, со способностью применять свои знания в соответствии с конкретными условиями практики.

Было бы ошибкой думать, что стадии усвоения материала переходят одна в другую автоматически, в зависимости от количества упражнений, расположенных в порядке нарастания трудности. Чем больше сделано упражнений, тем лучше учащиеся усвоят материал.

На самом же деле большое количество однообразных упражнений приводит к бездумному их выполнению: ученик, усвоив внешнюю сторону хода решения, успешно справляется с задачей, весьма смутно сознавая, на основе какого физического закона она решается.

Например, учащиеся изучили закон Ома. Они хорошо решают тренировочные задачи, рассчитывают сопротивление проводника, если известны

напряжение на его концах и величина тока. Могут определить величину тока по напряжению и сопротивлению и т. д.

Но стоит только в аналогичной задаче дать, например, лишнее данное, как учащиеся нередко становятся в тупик. Например, железный проводник длиной 3 м сопротивлением 30 Ом находится под напряжением 120 в. Определить величину тока. Учащиеся не могут решить эту задачу, потому что не знают, «что делать с длиной проводника», «зачем в задаче сказано, что проводник железный».

Между тем по существу ничего не изменилось: длина проводника и материал, из которого он сделан, в данном случае не имеют никакого значения, поскольку сопротивление проводника уже известно. Изменилось совсем несущественное: количество данных задачи не соответствует количеству букв формулы.

Этот пример еще раз говорит о том, что нельзя знания учащихся проверять только на обычных тренировочных упражнениях. Необходимы упражнения, которые нельзя решить формально.

Отсюда не следует делать вывод, что тренировочные упражнения не нужны. Каждой стадии усвоения материала должны соответствовать специальные упражнения. Важно вовремя перейти от одного вида упражнений к другим: от воспроизведения материала к применению его по данным образцу или формуле и от тренировочных задач к творческим.

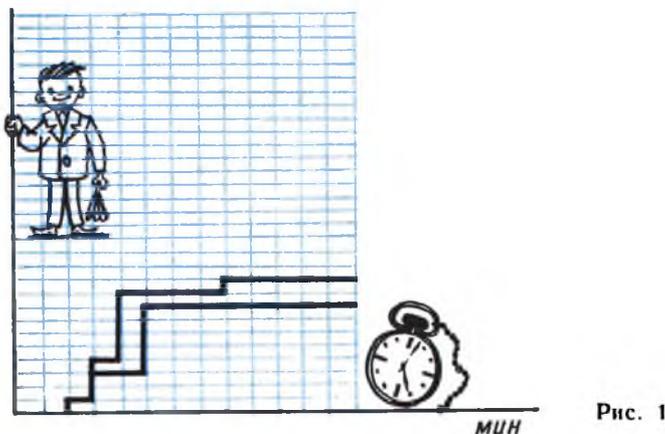
Плохо, если учитель рано перейдет от одного вида упражнения к следующему виду. Бесплезно давать творческие упражнения ученику, который не может сформулировать правил и не умеет решить тренировочную задачу. Но нежелательно и обратное явление, когда учащиеся теряют интерес к изучаемому, слишком долго занимаясь однообразными тренировочными работами.

Для оценки готовности учащихся перейти к творческим упражнениям можно пользоваться временной характеристикой успешности их деятельности. Классу для самостоятельного решения дается задача, и учитель наблюдает, уложились ли учащиеся по времени. Если подавляющее большинство учащихся в отведенное время сумели решить задачу, то можно переходить к творческим упражнениям. Точно так же можно оценивать способность учащихся к решению творческих задач, чтобы потом перейти к новой теме.

При систематическом упражнении учащихся в решении творческих задач способности учащихся к их решению развиваются.

Для того чтобы выяснить, насколько систематические упражнения в решении творческих задач влияют на развитие способностей, проводился специальный хронометраж решения задач учащимися в двух классах (в одном классе давались систематически творческие упражнения, а в другом — учащиеся систематически решали только тренировочные упражнения).

Учащимся двух параллельных классов в начале года, после того как было закончено изучение темы «Равнопеременное движение», были предложены творческие задачи. Проведенный хронометраж показал, что успешность решения задач в обоих классах примерно одинакова. За десять минут с одной и той же задачей справились в одном классе четыре, а в другом пять учащихся. График хода решения одной из задач в обоих классах показан на рисунке 1. Примерно такие результаты получились и при решении других творческих задач на ту же тему.



По истечении учебного полугодия, после того как была изучена тема «Движение жидкостей и газов», в обоих классах были предложены творческие задачи на эту тему. На этот раз результат был в значительной степени различным. В классе, где творческие задачи решались систематически с начала учебного года, за десять минут с задачей справлялись в среднем 27 учащихся. В классе, где творческие задачи систематически не решались, с задачей за то же время справлялись в среднем восемь учащихся. График хода решения одной из задач в обоих классах показан на рисунке 2. Различная успешность решения творческой задачи в двух классах с «одинаковой» успеваемостью очень хорошо видна из сравнения этих графиков. Это сравнение показывает не только то, что систематические упражнения в решении творческих задач способствуют развитию творческих способностей, но и то, что творческие задачи могут быть использованы как средство проверки знаний учащихся, в особенности — применимости, действенности, гибкости и глубины знаний. Таким образом, творческие упражнения следует расценивать прежде всего как необходимый завершающий этап в овладении знаниями. В этом состоит их главное значение.

Творческие задачи по физике являются одним из средств политехнического обучения.

Политехнический материал курса физики можно условно подразделить на две части. Первая часть включает в себе тенденции современного производства и их научное обоснование. Эта часть нашла свое место в курсе физики. Учащиеся в соответствующих разделах знакомятся с принципами электрификации и теплофикации, механизации и автоматизации производства.

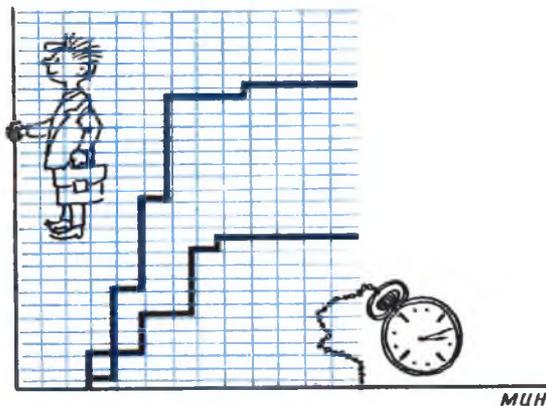


Рис. 2

Другую часть политехнического материала составляют конкретные технические применения законов физики. Наиболее важные типичные и доступные технические объекты также изучаются в курсе физики с большей или меньшей степенью детализации. Реактивное движение, центробежные механизмы, искусственные спутники Земли, подъемная сила, действующая на крыло самолета, понятие об устройстве гидротурбины, двухэлектродная лампа и ее использование для выпрямления переменного тока, трехэлектродная лампа и ее использование в качестве усилителя, дуговая электросварка и многие другие вопросы технического использования законов физики включены в программу по физике.

Много этих вопросов или мало? Здесь борются две противоречивые тенденции. С одной стороны, чем больше технических примеров, тем более полное представление сложится у учащихся о практическом использовании данной физической закономерности, тем шире будет политехнический кругозор учащихся. С другой стороны, количество технических примеров, предусмотренных программой по физике для обязательного изучения, должно быть обязательно ограничено, иначе большое количество сложного

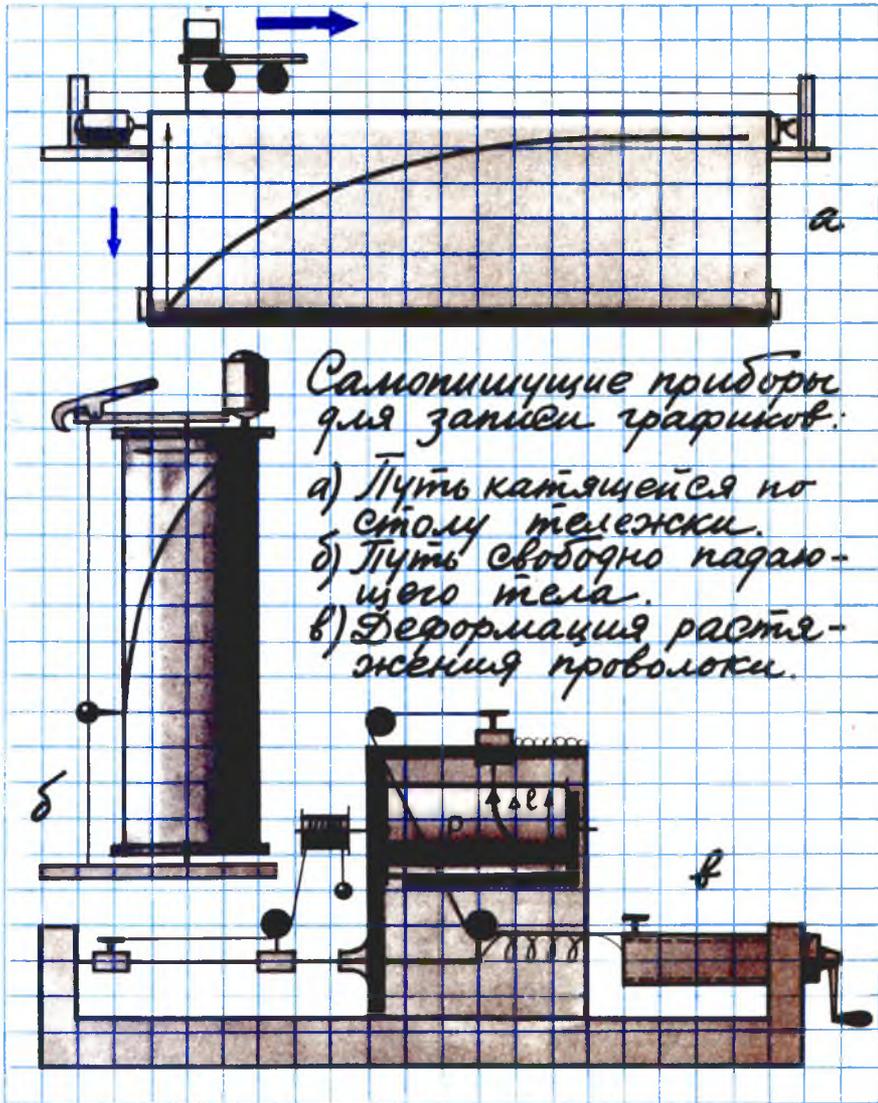


Рис. 3

технического материала нарушит логику построения курса физики, будет причиной перегрузки учащихся. Это противоречие в значительной мере может быть преодолено творческими упражнениями.

В эти упражнения может быть включен очень ценный политехнический материал, необязательный для заучивания. Материал, который имеет большее значение для развития мышления, чем для обогащения памяти.

При этом рассмотрение физических явлений и закономерностей на большом количестве технических объектов не войдет в противоречие с логикой учебного предмета физики и не будет чрезмерно перегружать память учащихся, поскольку основная нагрузка при выполнении творческих упражнений ложится на установление смысловых связей между множеством фактов, а не на их запоминание.

Так, например, познакомив учащихся с устройством какого-либо самопишущего прибора (рис. 3), можно в дальнейшем предложить им, хотя бы мысленно, в самых общих чертах, сконструировать самопишущие приборы для записи графиков: пути катящейся по столу тележки, пути свободно падающего тела, гармонического колебания маятника, деформации растяжения проволоки и др. Основной целью этих упражнений будет развитие творческих способностей и овладение глубокими знаниями физических явлений и их закономерностей. Но вместе с тем знакомство со всеми этими приборами будет способствовать и расширению политехнического кругозора учащихся.

По отзывам многих десятиклассников школы № 315 Москвы, они почувствовали глубокий интерес к физике, после того как им пришлось применить свои знания в новых конкретных условиях практики. Устойчивый интерес является основой определенной психической настроенности: изучать, чтобы затем применить, а не просто запомнить и пересказать. Ученица Т. сказала об этом так: «Конструируя на уроке, получаешь практику, поэтому дома, читая параграф, невольно придумываешь различные способы применения того, что изучаешь . . .»

Деятельность ученика приобретает определенную направленность, благодаря которой ученик проявляет творческую активность. Ученик Р. высказался об этом так: «Когда я читаю художественную и научно-фантастическую литературу о технике, я думаю, как можно осуществить те механизмы, которые там описаны».

Творчески активный ученик невольно постоянно вспоминает изученный материал и критически его перерабатывает. На основе имеющихся знаний он анализирует жизненные наблюдения, систематизирует факты, в результате чего знания становятся полнее и глубже. Вот что рассказал о себе по этому поводу ученик Р.: «Задачи решаются легко, если с такими явлениями приходилось встречаться в прошлом. Так, однажды дома я включил телефон в гнезда усилителя радиоприемника, дал этот наушник сестре, а сам сел у приемника. Получился телефон, который очень хорошо работал.

Это я запомнил и задачу с телефонами (требовалось объяснить, каким образом может работать телефон, состоящий из двух наушников и проводов) решил очень быстро.

Ученник Н.: «Понравилась мне задача на конструирование дефектоскопа для нахождения раковин и трещин в рельсах. Перед этим мы на опытах установили, что магнитный поток в соленоиде зависит от многих причин.

1. Задача.

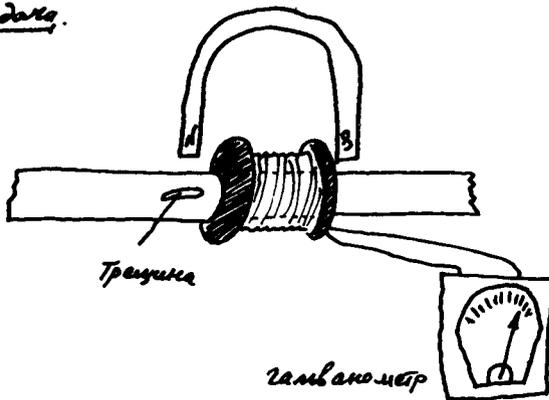


Рис. 4

В частности, он зависит от массы находящегося внутри него сердечника. И как только дали задачу, я сразу ухватился за мысль: а что если взять соленоид, а рельсы в качестве сердечника пропускать через магнитное поле соленоида (рис. 4). Если попадет трещина, то магнитный поток сразу изменится. Это изменение можно регистрировать по току индукции».

Ученник А.: «Решение творческих упражнений заставляет более внимательно относиться к технике, к разным машинам.

В Сокольниках, гуляя по парку, я видел «колесо смеха». Все люди, находящиеся на колесе, с течением времени сползали к краю колеса и сбрасывались. Причем те, кто был ближе к оси вращения, оставались дольше на колесе.

В классе нам предложили придумать конструкцию прибора для определения коэффициента трения без динамометра. Я вспомнил про это колесо и рассчитал:

$$\frac{mv^2}{R} = mgk; k = \frac{\omega^2 R}{g}.$$

Коэффициент трения равен отношению центростремительного ускорения точки на диске, на которой находится тело, к ускорению свободного падения (в момент соскальзывания тела)».

Таким образом, творческие упражнения следует рассматривать как важнейшее средство борьбы с формализмом в знаниях учащихся, как важный и неизбежный этап в учебном процессе, на котором происходит осмысление понятого, но еще не усвоенного материала.

Творческие упражнения активизируют мышление учащихся, в результате чего учащиеся устанавливают связь изучаемого с уже известным самостоятельно.

МЕСТО ТВОРЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Творческие упражнения используются на завершающей стадии овладения учебным материалом учащимися. Однако эти упражнения не требуются для усвоения всякого материала. Творчество связано с применением знаний в новых условиях, поэтому творческие упражнения по физике должны быть связаны прежде всего с использованием законов, принципов, правил, формул, аналогий и т. п.

Что же касается понятий, различных исходных и иллюстративных экспериментальных фактов, то для их усвоения достаточно тренировочных упражнений.

Обратимся для примера к теме «Равномерное движение материальной точки по окружности». Изучение этой темы связано прежде всего с усвоением понятий: «окружная (линейная) скорость», «угловая скорость», «центростремительное ускорение», «центростремительная сила», а также с выяснением и запоминанием многих экспериментальных фактов: вектор скорости при движении по окружности направлен по касательной (движение искр от точила), центробежный эффект используется во многих технических устройствах (регулятор Уатта, тахометр, центрифуга, сушилка) и т. д. Все эти понятия и факты усваиваются в процессе тренировочных упражнений: пересказа урока, повторения определений, отыскания примеров и т. д. Однако наиболее важная и существенная часть учебного материала данной темы не может быть усвоена учащимися без творческих упражнений. Глубокое понимание и усвоение механизма явления и его закономерностей невозможны без достаточной практики раскрытия его в любых новых условиях. Перечислим закономерности и формулы по теме «Движение по окружности», которые должны быть изучены в процессе выполнения творческих упражнений:

а) при равномерном движении по окружности существует ускорение, которое перпендикулярно скорости (т. е. к касательной) и направлено к центру окружности:

$$a = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = 4\pi^2 n^2 R;$$

б) следовательно, необходимое условие равномерного движения по окружности — это действие центростремительной силы:

$$F = ma = \frac{mv^2}{R} = m\omega^2 R = m4\pi^2 n^2 R;$$

в) природа центростремительной силы может быть самой разнообразной, она может быть результатом тяготения, трения, деформации или любой комбинации различных взаимодействий.

После того как весь этот материал изложен учащимся и поняты ими, следует перейти к тренировочным упражнениям. При этом целесообразно разобрать в классе задачи на движение по окружности под действием центростремительной силы различной природы. Целесообразно в связи с этим решить задачи, например, таких типов:

а) Гирька массой m , привязанная к нити длиной l , движется равномерно по окружности, совершая n оборотов в минуту. Определить натяжение нити.

б) На какой угол отклонится канат от столба при условии, что человек бежит «гигантскими шагами» со скоростью v ? Решив по две-три задачи на каждый из этих типов, учащиеся обычно получают достаточные знания, умения и навыки для того, чтобы перейти к решению творческих задач.

Можно предложить следующие творческие экспериментальные задачи на эту тему.

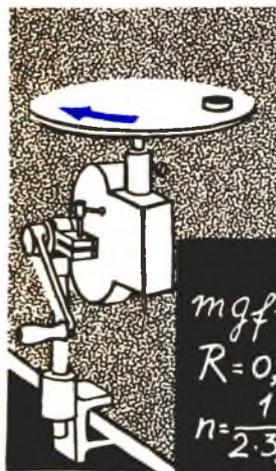
а) На диске центробежной машины лежит шайба (рис. 5). Если постепенно увеличивать скорость вращения диска, то наступит момент, когда шайба соскользнет с диска. Как объяснить это явление? Как рассчитать заранее угловую скорость вращения диска, при которой произойдет соскальзывание шайбы? Расчет проверить экспериментально.

Р е ш е н и е

При малой угловой скорости диска шайба удерживается на круговой орбите силой трения, которая играет роль центростремительной силы.

При возрастании угловой скорости наступает момент, когда эта сила достигает максимума и в дальнейшем становится недостаточной для удержания шайбы на окружности. В этот момент шайба соскальзывает и движется по инерции с той скоростью, которую она имеет в данный мо-

мент. Зная коэффициент трения покоя шайбы по поверхности диска, можно заранее рассчитать, при каком максимальном числе оборотов в секунду она будет удерживаться на поверхности диска:



$$mgf = 4\pi^2 R n^2 m, \text{ отсюда } n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{fg}{R}}$$

$$R = 0,25 \text{ м.}, f = 0,15$$

$$n = \frac{1}{2 \cdot 3,14} \sqrt{\frac{0,15 \cdot 9,8}{0,25}} \approx \frac{0,38 \cdot 3,14}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,5} \approx 0,38 (\text{сек}^{-1})$$



где n — максимальное число оборотов в секунду, f — коэффициент трения, g — ускорение свободного падения, R — радиус орбиты гирьки.

Измерив радиус орбиты ($R = 0,25 \text{ м}$) и определив по таблицам коэффициент трения (железо по железу $f = 0,15$), сделаем приближенные вычисления.

Расчет проверяем экспериментально. Для этого настраиваем метроном на $60 \times 0,38 \approx 23$ удара в минуту, устанавливаем гирьку на диске и, постепенно раскручивая диск, добиваемся синхронности ударов метронома и оборотов диска. Малейшее превышение угловой скорости диска ведет к соскальзыванию гирьки, следовательно, задача решена правильно.

б) Гладкий стальной обруч укреплен в вертикальной плоскости (рис. 6). Из верхней точки обруча по наружной его стороне скользит гладкая стальная шайба. Кажется бы, что шайба должна соскользнуть по ободу до точки В, т. е.

по четверти окружности. На самом же деле шайба срывается с обода несколько раньше. Объяснить это явление. Рассчитать, в какой точке обода должна соскользнуть шайба. Расчет проверить экспериментально.

Решение

Для того чтобы шайба соприкасалась с ободом, необходима центростремительная сила, которая бы постоянно изменяла скорость движения шайбы по направлению. Этой силой является составляющая силы тяжести. Впрочем, эта составляющая изменяется от mg в точке A до 0 в точке B . Следовательно, наступит момент, после которого составляющая силы тяжести будет недостаточной для сообщения нужного центростремительного ускорения, и шайба оторвется от обода. В этот момент составляющая силы тяжести равна центростремительной силе.

Имея в виду, что шайба получает скорость в результате превращения потенциальной энергии в кинетическую, получим:

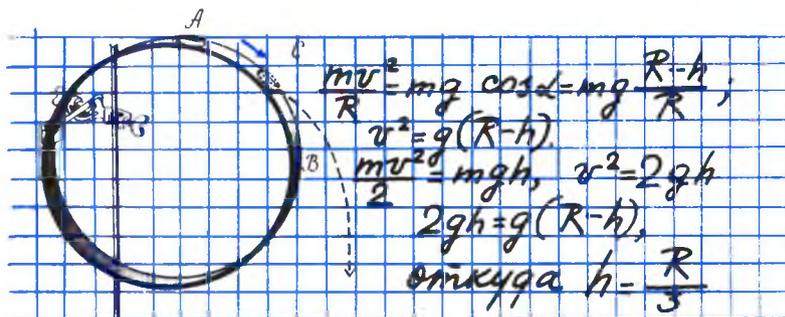


Рис. 6

Проверяя найденное условие экспериментально, не следует забывать, что при расчете не учитывалось действие силы трения. Поэтому отрыв шайбы от обруча фактически должен происходить несколько ниже найденной точки C .

в) Сквозь стеклянную трубку с оплавленными краями продернута нитка. К концам нити привязаны неодинаковые грузы (рис. 7). Определить условие, при котором вращающийся в горизонтальной плоскости малый груз и висающий на вертикальной нити большой груз взаимно уравновешиваются, т. е. свободная нить в трубке не перемещается.

Решение

Равновесие наступит в том случае, если вес груза, висящего на вертикальном конце нити, будет равен векторной разности центростремительной силы, удерживающей второй груз на круговой орбите, и силы тяжести малого груза:

$$Mg = \sqrt{16\pi^4 n^4 R^2 m^2 + m^2 g^2}$$
$$n = \sqrt[4]{\frac{M^2 g^2 - m^2 g^2}{16\pi^4 R^2 m^2}}$$

Если положить $m = 1$, $M = 10$ и $R = 0,25$ м, то при периоде обращения $T = 0,2$ сек наступит равновесие грузов. Эксперимент подтверждает правильность расчета.

Творческие задачи, решаемые в классе фронтально, имеют огромное значение, они учат учащихся мыслить. В процессе этой работы к решению творческих задач постепенно приобщаются все учащиеся, начиная от самых сильных и кончая самыми слабыми. Вместе с тем фронтальными творческими задачами нельзя ограничиться по следующим причинам. Во-первых, главный этап решения творческой задачи — нахождение основной идеи — при фронтальном решении может ускользнуть для многих учащихся, после того как идея будет высказана в классе. Во-вторых, изучаемая в данный момент в классе тема сама по себе служит подсказкой к решению задачи в том отношении, что указывает на ту область знаний, которые должны быть использованы. Поэтому чрезвычайно полезно после прохождения раздела курса физики провести творческие лабораторные работы в форме практикума. Творческие лабораторные работы отличаются от обычных по существу. В них прежде всего нужно решить проблему в общем виде, затем наметить план работы, провести необходимые наблюдения и измерения, а затем экспериментально проверить правильность своего решения. Поэтому эти лабораторные работы проводятся индивидуально и без подробных инструкций. Например, вариацией на тему задачи об уравнивающих грузах, один из которых описывает окружность



Рис. 7

в горизонтальной плоскости, а другой висит вертикально, может быть следующая лабораторная работа. На одном конце нити — груз, на другом — петля для разновесок. Нить продернута через трубку и удерживается в ней пальцем. Груз раскручивается в горизонтальной плоскости до определенной частоты. Определить, какой груз нужно подвесить к вертикальному концу нити, чтобы нить можно было не держать у края трубки. (Подробное описание этой работы см. на стр. 56—57.)

Кроме обязательных творческих задач и лабораторных работ, полезно давать учащимся творческие задания исследовательского и конструкторского характера, рассчитанные на продолжительное время. Например, такого типа: на ветроколесе школьной ветроэлектрической станции требуется установить ограничители угловой скорости, которые защищали бы ветроколесо от разноса при сильных ветрах.

Возможный вариант решения

Основная идея решения состоит в том, что при возрастании скорости движения какой-либо точки с массой m по окружности радиуса R должна возрастать и центробежная сила $\frac{mv^2}{R}$. Следовательно, груз, удерживаемый на конце лопасти пружиной, может при определенном числе

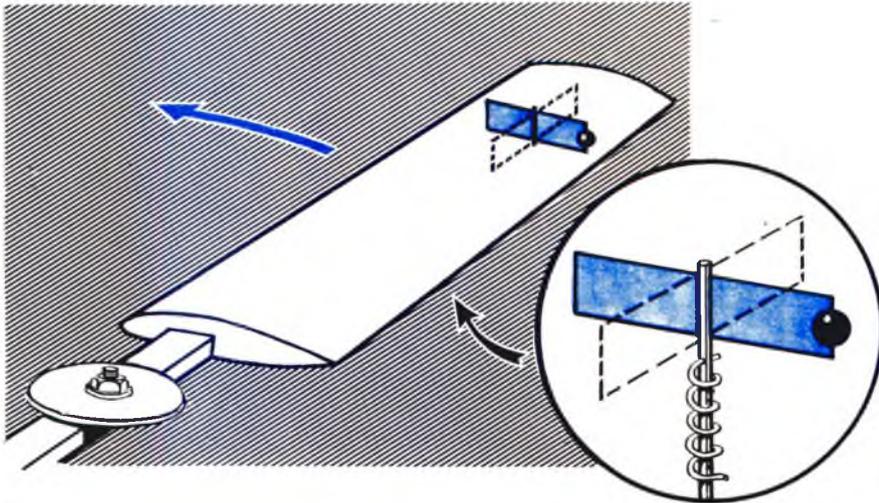


Рис. 8

оборотов ветрового колеса открывать клапан, который и будет тормозить движение колеса. Практически ограничитель можно сконструировать так, как показано на рисунке 8. Воздушный тормоз в виде лопатки укрепляется на оси. Ось параллельно оси вращения ветроколеса вставляется в патрон, который укрепляется в теле лопасти. Лопатка тормоза удерживается пружиной вразрез набегающему на лопасть потоку. Измерив момент силы упругости пружины при ее закручивании, можно рассчитать, какой массы груз следует укрепить на конце лопатки тормоза:

$$F = \frac{mv^2}{R}, \quad m = \frac{FR}{v^2},$$

где m — масса грузика, F — сила упругости пружины на конце лопатки тормоза, R — расстояние тормоза от оси вращения ветроколеса, v — линейная скорость груза ограничителя.

Творческие задания, рассчитанные на более или менее длительный промежуток времени, имеют очень большую ценность. Во-первых, усилия учащихся здесь направлены на решение естественных, а не искусственных задач. Решение их, как правило, связано с созданием материальных ценностей. Это очень важный психологический фактор, который создает тот моральный подъем, который присущ творчеству. Во-вторых, в отличие от задач и лабораторных работ решение творческих заданий ничем не регламентируется. Творческие задания могут иметь множество решений, что также характерно для творческой деятельности вообще. Вместе с тем их выполнение связано с большими трудностями для учащихся. Поэтому нельзя злоупотреблять ими. Как показывает опыт, без перегрузки учащиеся в течение года могут выполнить одно-два таких задания.

Для того чтобы представление об использовании системы творческих упражнений было более полным, обратимся еще к одной теме: «Кинетическая энергия вращательного движения». Главное при изучении этой темы — понимание того, что полная кинетическая энергия твердого тела равна сумме кинетической энергии поступательного движения и кинетической энергии вращательного движения вокруг оси, проходящей через центр массы:

$$E_k = \frac{mv^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2}.$$

Эту энергию твердое тело может отдавать или получать в соответствии с законом сохранения энергии. Особое внимание учащихся здесь следует обратить на два возможных случая: рассматриваемая система может быть замкнутой и незамкнутой. В первом случае происходят взаимопревращения кинетической и потенциальной энергии $E = E_p + E_k$, во втором — потеря или получение энергии телом происходит за счет работы внешних сил $E_2 - E_1 = A$. Изучению этих двух случаев и должны служить тренировочные и творческие упражнения к этой теме.

В качестве тренировочных задач целесообразно взять задачи следующих типов:

а) По горизонтальной плоскости (рис. 9) катится обруч массой m , радиусом R со скоростью v . На какую высоту он может вкатиться на горку? (Работу силы трения не учитывать.)

Решение

$E_k = E_p, \frac{mv^2}{2} + \frac{\gamma\omega^2}{2} = mgh$
 $\gamma = mR^2, \frac{\gamma\omega^2}{2} = \frac{mR^2\omega^2}{2}$
 $h = \frac{v^2 + R^2\omega^2}{2g} = \frac{v^2}{g}$

Рис 9

б) Маховое колесо (рис. 10) с моментом инерции J вращается с угловой скоростью ω . Сколько оборотов сделает колесо до остановки, если на него подействует тормозящий момент M ?

Решение

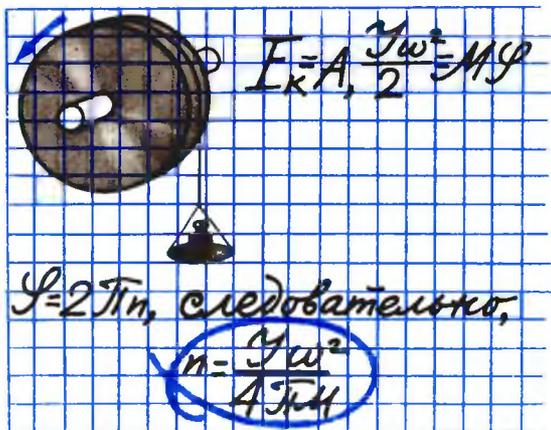


Рис. 10

Обычно решения двух-трех задач на каждый из этих типов бывает достаточно для того, чтобы перейти к решению творческих задач.

а) С наклонной плоскости (рис. 11) скатываются два одинаковых по форме, размерам и массе цилиндра. Будучи пущены одновременно с одной и той же высоты, цилиндры, скатываясь с наклонной плоскости, набирают разную скорость — один цилиндр обгоняет другой. Почему?

Решение

Скатившись с одной и той же высоты, одинаковые по массе цилиндры приобретают одинаковую кинетическую энергию. Эта энергия состоит из суммы энергий поступательного и вращательного движений. Можно предположить, что цилиндры обладают разными моментами инерции и соответственно получают разное распределение энергий поступательного и вращательного движений.

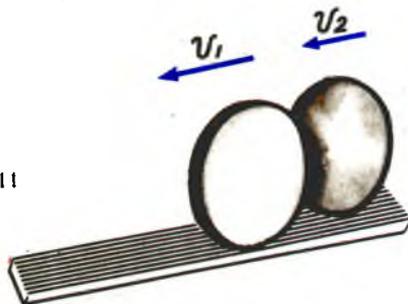


Рис. 11

Это предположение можно обосновать аналитически. Энергия цилиндра равна:

$$P_h = \frac{J\omega^2}{2} + \frac{mv^2}{2}$$

откуда, так как $\omega = \frac{v}{R}$, то

$$P_h = \frac{Jv^2}{2R^2} + \frac{mv^2}{2}$$

Следовательно, если моменты инерции цилиндров разные, при прочих равных условиях, то разными будут и скорости поступательного движения.

Этот вывод можно проверить экспериментально. При проверке структуры цилиндров можно обнаружить, что они неодинаковы. Если же взять совершенно одинаковые цилиндры, то они будут скатываться по наклонной плоскости из одной и той же точки с одинаковыми скоростями.

б) Два одинаковых по форме, размерам и массе волчка запускаются одновременно с помощью одной и той же нити. При этом волчки получают одну и ту же угловую скорость (рис. 12). В одинаковых подшипниках волчки испытывают одинаковый тормозящий момент. Однако один волчок вращается значительно дольше другого. Почему?

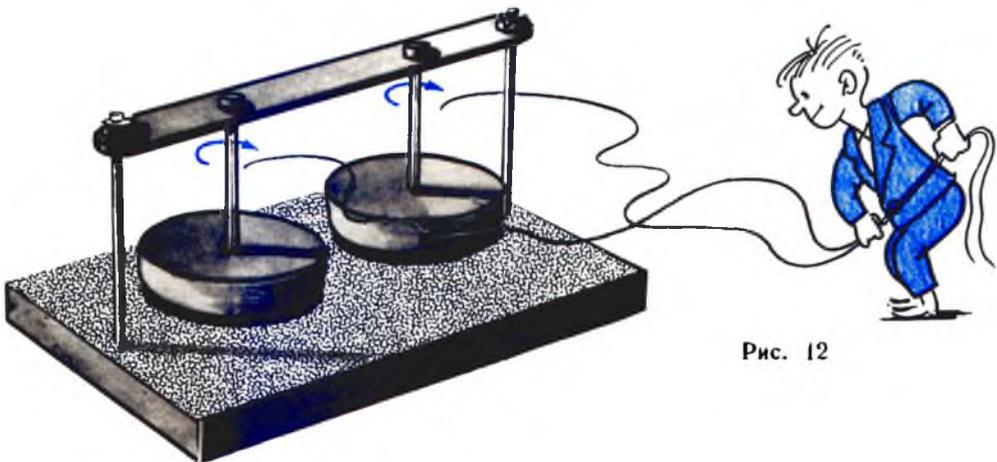


Рис. 12

Решение

Волчки вращаются разное время потому, что при запуске они получают разное количество энергии. Волчок, обладающий большим моментом инерции, при одной и той же угловой скорости, получает большую кинетическую энергию. Значит причина в том, что при одинаковых формах, размерах и массе волчки обладают различным моментом инерции. Это предположение проверяется аналитически:

$$M\varphi_1 = \frac{I_1 \omega^2}{2}; M\varphi_2 = \frac{I_2 \omega^2}{2}$$

Проверка подтверждает предположение, что если в двух случаях угловая скорость и тормозящий момент одинаковы, а углы поворота φ до остановки различны, то различными должны быть и моменты инерции тел. При одинаковой форме и размерах это возможно тогда, когда тело волчков неоднородно.

Это предположение можно проверить экспериментально, исследовав строение волчков и установив их неоднородность. Можно далее проделать опыт с двумя одинаковыми по форме, размерам, массе и структуре волчками и убедиться, что на этот раз их движение практически не отличается.

В лабораторный практикум на эту тему целесообразно включить следующие лабораторные работы.

а) По линейке, используемой в качестве наклонной плоскости (рис. 13), скатываются круглые тела (обод, диск и шар). Определить до опыта, какой путь пройдет каждое тело за полсекунды, скатившись из определенной точки. (Подробное описание работы см. на стр. 57.)

б) Диск укреплен в обойме на оси с малым трением. С помощью груза, привязанного к нити, намотанной на обод диска, требуется раскрутить диск до заданного числа оборотов в секунду (рис. 14). (Подробное описание работы см. на стр. 57.)

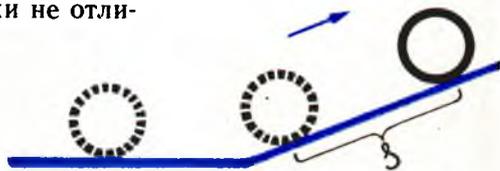


Рис. 13

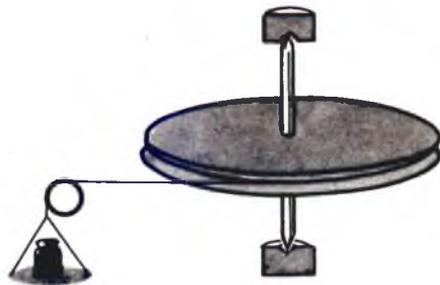


Рис. 14

В качестве творческого задания, рассчитанного на выполнение в течение длительного промежутка времени, учащимся можно предложить сконструировать прибор — два цилиндра, не отличающихся друг от друга по форме, размерам и массе, чтобы при одновременном их скатывании без скольжения по наклонной плоскости можно было бы по желанию наблюдать один из трех вариантов явления:

- первый цилиндр обгоняет второй;
- цилиндры скатываются одновременно;
- второй цилиндр обгоняет первый.

Возможный вариант решения

Изготавливаются два цилиндра — один сплошной, другой полый. Взвешиванием определяется разность масс этих цилиндров. Далее изготавливаются грузы (2—4 шт.), масса которых в сумме равна разности масс цилиндров. В полем цилиндре симметрично относительно оси делаются гнезда для этих грузов так, чтобы можно было менять их расстояние от оси цилиндра (рис. 15). Эту конструкцию можно, так же как и в предыдущих случаях, обосновать аналитически и проверить экспериментально.

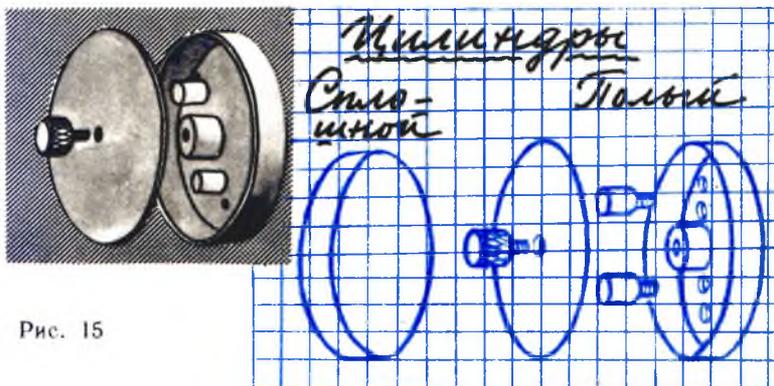


Рис. 15

Таким образом, при изучении каждой темы по физике вычлняются основные закономерности. Первоначальное представление о действии этих закономерностей и их запоминание происходит в тренировочных упражнениях. Далее углубленное знание этих закономерностей и умение их применять в любых новых условиях формируется в про-

цессе творческих упражнений: задач, лабораторных работ и заданий на продолжительное время.

Несмотря на то, что творческие задачи могут быть предложены учащимся в любой форме, следует особо остановиться на тех формах учебных занятий, которые в наибольшей степени оправдывают себя в практике работы. Это творческие задания в форме решения качественных и расчетных задач на уроке, в форме лабораторного практикума и в форме домашних заданий. Выбор формы работы зависит от того, какую дидактическую задачу ставит перед собой учитель. Очень часто в зависимости от педагогической целесообразности по существу одну и ту же задачу можно дать в разных формах. Например, задача: сконструировать дефектоскоп — устройство для обнаружения трещин, раковин, полостей или неоднородностей внутри стальных балок, рельсов и т. п. К решению этой задачи можно предъявить разные требования. Можно ограничиться решением задачи в самом общем виде — нахождением принципа действия конструкции, а можно пойти дальше — потребовать, чтобы не только был найден принцип действия, но и были бы сделаны все необходимые расчеты и была бы изготовлена модель прибора.

В первом случае задача может быть предложена учащимся на уроке, а во втором случае следует дать задание на дом, так как очевидно, что для выполнения такого задания потребуются большая затрата времени и специальные условия: рабочее место, инструмент, материалы и т. д.

Совершенно очевидно, что и педагогический эффект от выполнения этой работы будет различен. В первом случае от учащихся требуется активизировать запас своих знаний физических закономерностей, которые выражаются функциональными зависимостями физических величин. Во втором случае учащимся, кроме того, придется использовать многие свои практические умения и навыки, но зато и затрата времени и сил учителя и учащихся во втором случае несравненно больше.

Чрезвычайно эффективная форма работы — лабораторный практикум. Выполняя творческую работу, учащиеся сталкиваются с необходимостью сначала решить задачу в самом общем виде — найти принцип действия, а затем конкретизировать свое решение и практически осуществить его. Например, учащемуся выдается оборудование: пружинная пушка на колесах, снаряд, весы с разновесом,

измерительная лента с сантиметровыми делениями, динамометр. Рекомендуется зарядить пушку и легким нажимом на спусковой крючок выстрелить, а затем измерить дальность отката пушки. На основании этих исходных данных формулируется задание: путем дальнейших измерений и вычислений определить скорость снаряда и по скорости рассчитать дальность его полета, повторить эксперимент и проверить правильность найденного решения.

При выполнении этой лабораторной работы учащиеся должны обнаружить знание законов Ньютона, умение видеть действие этих законов в новых конкретных условиях, умение использовать найденные функциональные зависимости, а также проявить многие лабораторные навыки: взвешивание, измерение длины и др.

Творческие лабораторные работы рекомендуется проводить в виде практикума: каждый учащийся выполняет индивидуальное задание. Это вызвано тем, что в отличие от фронтальных лабораторных работ учащиеся здесь не получают инструкции о порядке выполнения работы. Они находят принципиальное решение, составляют план проведения исследования и только затем переходят к его осуществлению. При фронтальной постановке творческих лабораторных работ для очень многих учащихся они неизбежно потеряют свою ценность после того, как учащиеся узнают от соседей принципиальное решение или увидят ход выполнения работы.

Творческие лабораторные работы соединяют в себе достоинства и творческих задач, которые решаются в классе, и творческих заданий, связанных с проведением эксперимента или с изготовлением оригинального прибора, которые задаются учащимся на дом. Тем не менее лабораторные работы не заменяют последних по следующим причинам. Во-первых, теоретическое решение проблемы в творческой лабораторной работе, как правило, проще: выданный ученику комплект приборов является косвенной подсказкой (весы даются для того, чтобы взвешивать, определять массу тел). Во-вторых, скорое выполнение творческих задач и лабораторных работ (специально подобранных) может породить у учащихся неверную иллюзию о простоте и легкости творческого труда. Таким образом, различные формы творческих упражнений должны использоваться учителем соответственно дидактическим целям, которые он ставит перед очередными занятиями с учащимися.

К МЕТОДИКЕ ТВОРЧЕСКИХ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

Творческие задачи, лабораторные работы и задания об­ладают рядом особенностей, которые надо учитывать при их проведении. В своих исходных данных, в своих условиях они не содержат указаний на те знания, на те идеи, кото­рыми следует воспользоваться для решения основной за­дачи. Поэтому прямые или косвенные подсказки здесь мо­гут иметь решающее значение. Удачно приведенный при­мер, демонстрация простого опыта, умело заданный вопрос, мысль, высказанная вслух, — все это может быть средст­вом помощи учащимся в развитии их способностей к реше­нию творческих задач. Для примера сошлемся на конкрет­ный случай, который имел место в практике учебной ра­боты в девятом классе школы № 315 Москвы.

Учащимся предложили творческую задачу: сконструиро­вать прибор, который, будучи установленным на тележке, регистрировал бы ускорение движения этой тележки. Тележка движется по горизонтальной плоскости demonstra­ционного стола.

На протяжении 5 мин эту задачу никто решить не мог. Тогда учитель сделал замечание: «Нужно иметь в виду, чем обусловлено ускоренное движение. Нельзя ли это использовать для регистрации ускорения?» Эта реплика сразу же многим помогла. Несколько учащихся подняли руки. Одна ученица предложила такой вариант:

«Если тележка движется ускоренно под действием силы тяжести груза, то можно в точке *A* (рис. 17) установить динамометр. Этот динамометр будет показывать величину силы, которая вызывает ускоренное движение тележки. Зная массу тележки, шкалу динамометра можно перевести на единицы ускорения».

«Это верно. А как быть, если к тележке не привязана нить, если эта тележка — детский заводной автомобиль, который движется равноускоренно под действием заведен­ной пружины?»

«Тогда . . . в этом случае я не представляю себе, как можно это сделать».

«А что вы испытываете, сидя в автобусе, когда он тро­гается и набирает скорость?»

«Я все поняла! Нужно на тележке установить подставку, на которую следует подвесить грузик. Этот грузик при

ускоренном движении будет давить на пружину динамометра» (рис. 16).

Поднялось еще несколько рук, и учащиеся предложили самые разнообразные варианты конструкций акселерометра. Вопросами и замечаниями учитель направил ход мыслей учащихся и, не подавляя их инициативы, обеспечил успешность их творческой деятельности.

Надо иметь в виду, что неосторожно брошенное слово или неожиданное высказывание вслух какого-нибудь ученика при решении таких задач нередко может испортить все дело. Например, в десятом классе той же школы решалась такая задача. Были взяты телефоны-наушники, и они использовались для телефонной связи в качестве микрофонов и телефонов. Требовалось объяснить, как работает телефон в качестве микрофона. Задача решалась с большим интересом. После урока во время беседы один из наиболее активных учащихся с увлечением рассказал о том, что ему она очень понравилась. Но его сосед решил эту задачу раньше его и успел шепнуть словечко об изменении магнитной проницаемости и связанного с ней магнитного поля катушки. Остальное было для него совершенно ясно — закончил ученик с сожалением.

Творческие лабораторные работы имеют ту же особенность, что и творческие задачи. Центром тяжести при их выполнении для ученика должно быть проведение теорети-

Рис. 16



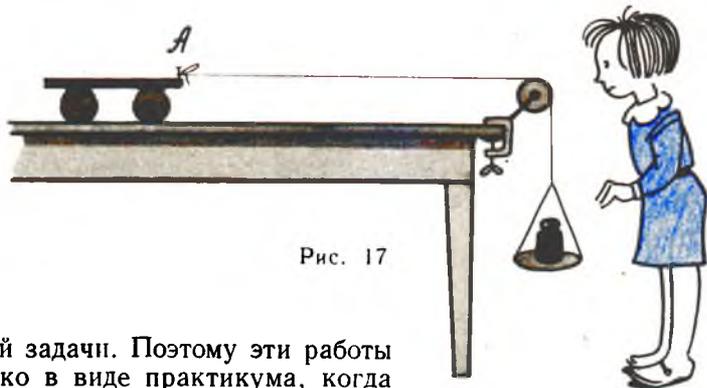


Рис. 17

ческого анализа поставленной задачи. Поэтому эти работы могут быть поставлены только в виде практикума, когда каждый ученик работает над своей темой и на своей лабораторной установке. Ученик при этом получает, в отличие от обычных лабораторных работ, очень краткую инструкцию, состоящую из описания оборудования и формулировки задачи: что должно быть объяснено и экспериментально проверено или что должно быть экспериментально достигнуто, какой эффект должен быть получен.

В силу особенностей творческих лабораторных работ, когда ставится задача получить какой-то эффект или объяснить тот или иной эффект, гораздо целесообразнее при их выполнении пользоваться методом приближенных вычислений, нежели вычислять относительные и абсолютные ошибки. Дело в том, что при экспериментальной проверке теоретических расчетов ученику гораздо легче и убедительнее увидеть свою правоту при численном совпадении приближенных чисел, чем при обнаружении численного несовпадения предвиденного и практического результатов, когда разница заключена в пределах вычисленной ошибки. Для примера приведем решение одной из лабораторных работ. Требуется запустить тележку с заданным ускорением при помощи груза на нити, перекинутой через блок (рис. 17). Масса груза определяется из уравнения: \longrightarrow

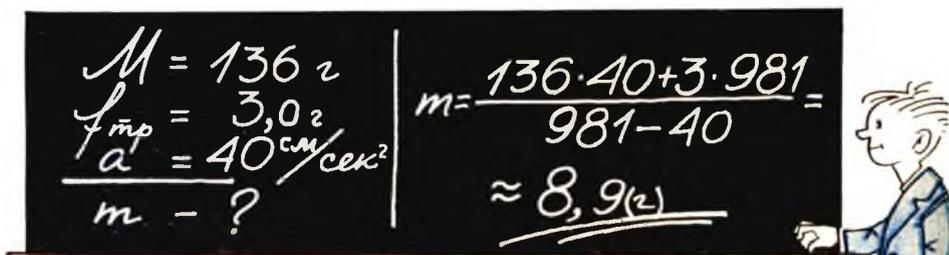
Очевидно, что, проведя измерения, можно рассчитать величину m и ее абсолютную ошибку $\pm \Delta m$. Однако дальнейший ход работы для ученика будет слишком сложным. В самом деле, какую ошибку он должен ожидать при экспериментальном определении ускорения, которое он определяет из соображений кинематики, а не динамики (см. лабораторную работу по механике № 1)?

$$(M+m)a = mg - f_{\text{тр}}$$

где M - масса тележки,
 m - масса груза,
 $f_{\text{тр}}$ - сила трения,
откуда -

$$m = \frac{Ma + f_{\text{тр}}}{g - a}$$

В случае же приближенных вычислений все гораздо проще:



The blackboard contains the following equations:

$$M = 136 \text{ г}$$

$$f_{\text{тр}} = 3,0 \text{ г}$$

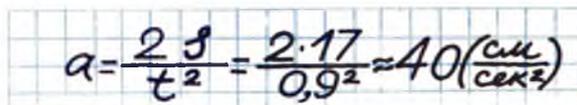
$$\frac{a}{m} = 40 \frac{\text{см}}{\text{сек}^2}$$

$$m - ?$$

$$m = \frac{136 \cdot 40 + 3 \cdot 981}{981 - 40} = \underline{\underline{\approx 8,9 \text{ г}}}$$

A cartoon boy in a blue suit is standing to the right of the blackboard, pointing at the result of the calculation.

Следовательно, чтобы получить движение с ускорением 40 см/сек^2 с точностью до 1 см/сек^2 , нужно взять груз $8,9 \text{ г}$. Далее проделываем эксперимент и обнаруживаем, что за время $t = 0,9 \text{ сек}$ тележка проходит путь $16,5 \approx 17 \text{ см}$. Следовательно, ускорение равно:



The calculation is written on a grid background:

$$a = \frac{2s}{t^2} = \frac{2 \cdot 17}{0,9^2} = 40 \left(\frac{\text{см}}{\text{сек}^2} \right)$$

Таким образом, результат эксперимента вполне совпадает с предвиденным в пределах точности измерений.

Надо заметить также, что метод приближенных вычислений проще для учащихся и занимает меньше времени, чем вычисление ошибок. Это обстоятельство очень важно, так как краткие письменные отчеты о результатах творческих лабораторных работ учащиеся обязаны сдавать тотчас же после окончания урока.

В связи с указанными особенностями творческих лабораторных работ возникает ряд требований к их оборудованию. Во-первых, оборудование для таких лабораторных работ должно быть по возможности простым, чтобы обращение с ним не вызывало дополнительных трудностей для ученика. Оборудование должно помещаться на половине лабораторного стола с тем, чтобы оно не мешало в проведении работы соседнему ученику. Наконец, что оборудование должно быть дешево, поскольку требуется по комплекту

на каждого ученика. Совершенно очевидно, что, учитывая все эти требования, нужно стремиться максимально использовать имеющееся в школе лабораторное оборудование, соответствующее приспособив его. В тех же случаях, когда этого оборудования нет или недостает, его можно изготовить в школьных мастерских. Например, по механике недостающее оборудование можно изготовить из специальных полуфабрикатов, автором которых является Н. М. Митрофанов. Эти полуфабрикаты можно приобрести в магазине «Юный техник» или в отделах детских магазинов. Впрочем, их можно изготовить и в школьной мастерской. Конструкция простейших необходимых штампов для их изготовления показана на чертеже (рис. 18). Для гнутья уголков можно пользоваться брусками из твердых пород дерева или специальными гибочными приспособлениями. В комплект полуфабрикатов (рис. 19) входят: стальная проволока диаметром 1,5 мм, полосы жести шириной 5, 10, 20 мм, уголки 5 × 5 мм, 10 × 10 мм и швеллер 5 × 10 и 5 × 26 мм. Для колес, блоков и шайб в комплект входят плоские и профилированные диски диаметром 10, 15 и 30 мм. Неподвижное соединение всех деталей осуществляется пайкой.

Остановимся, наконец, на некоторых особенностях творческих заданий. Творческие задания по физике знакомы в той или иной мере каждому учителю, хотя бы потому, что редкий учитель физики в своей практике работы не давал учащимся заданий сконструировать прибор, модель, механизм, устройство и т. п. Реже, но все-таки практикуются учителями и задания исследовательского характера.

Нередко, давая творческое задание, учитель еще сам не знает решения этих задач. А ведь он должен предусмотреть, чтобы при решении задач учащиеся применяли совершенно определенные знания по физике.

Очень благодатной темой в этом отношении является конструирование физических приборов.

В выполнении творческих заданий по-прежнему наиболее ответственным этапом остается принципиальное решение проблемы, и на него должно быть обращено особое внимание. Очень целесообразно, чтобы этот первый этап проходил на уроке под наблюдением учителя. Эта работа проводится фронтально, аналогично тому, как решаются творческие задачи. Когда учитель вполне уверен в усвоении учащимися изучаемой закономерности, он ставит перед

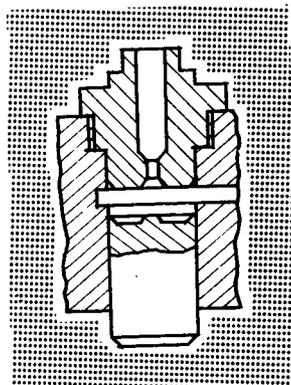


Рис. 18

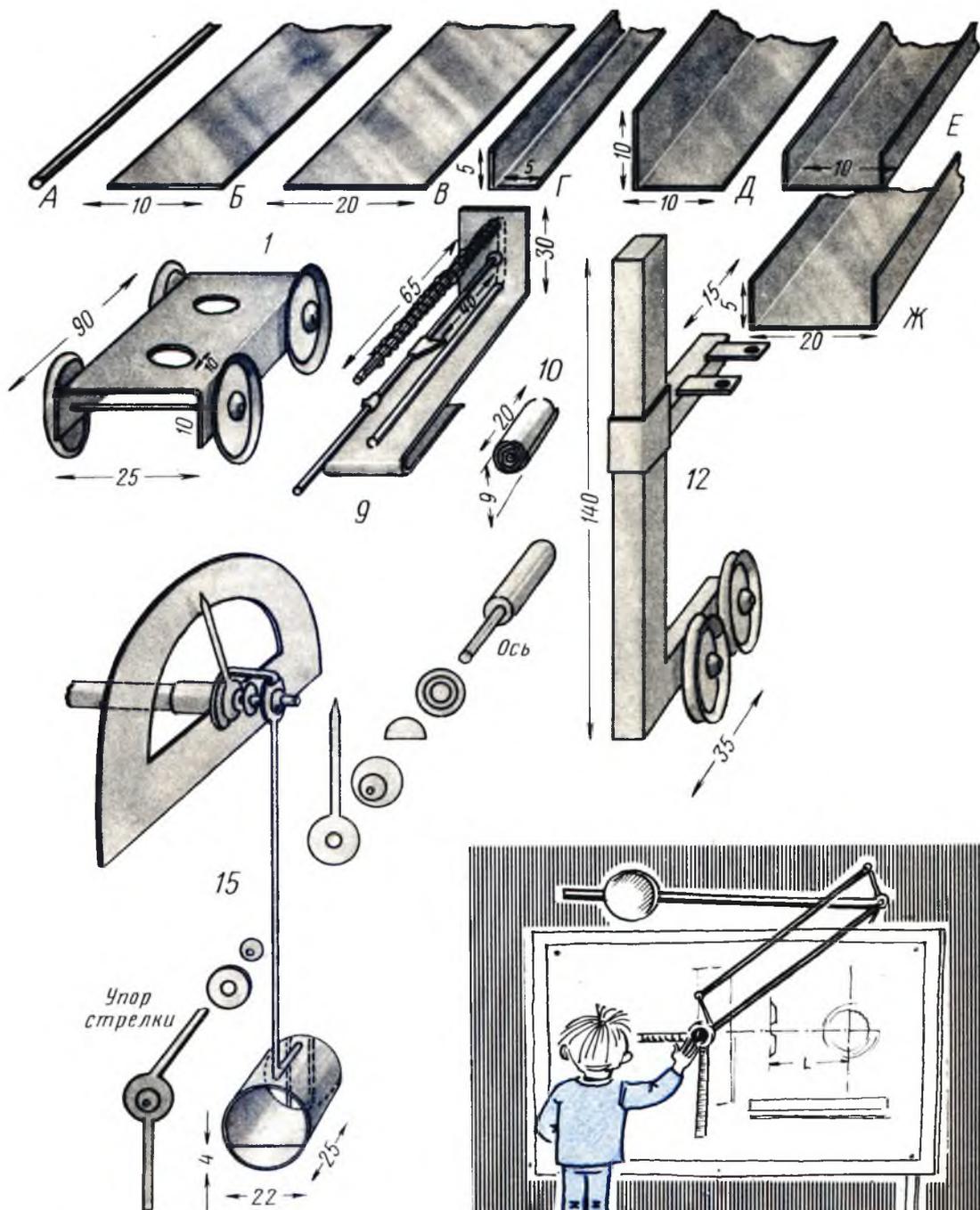
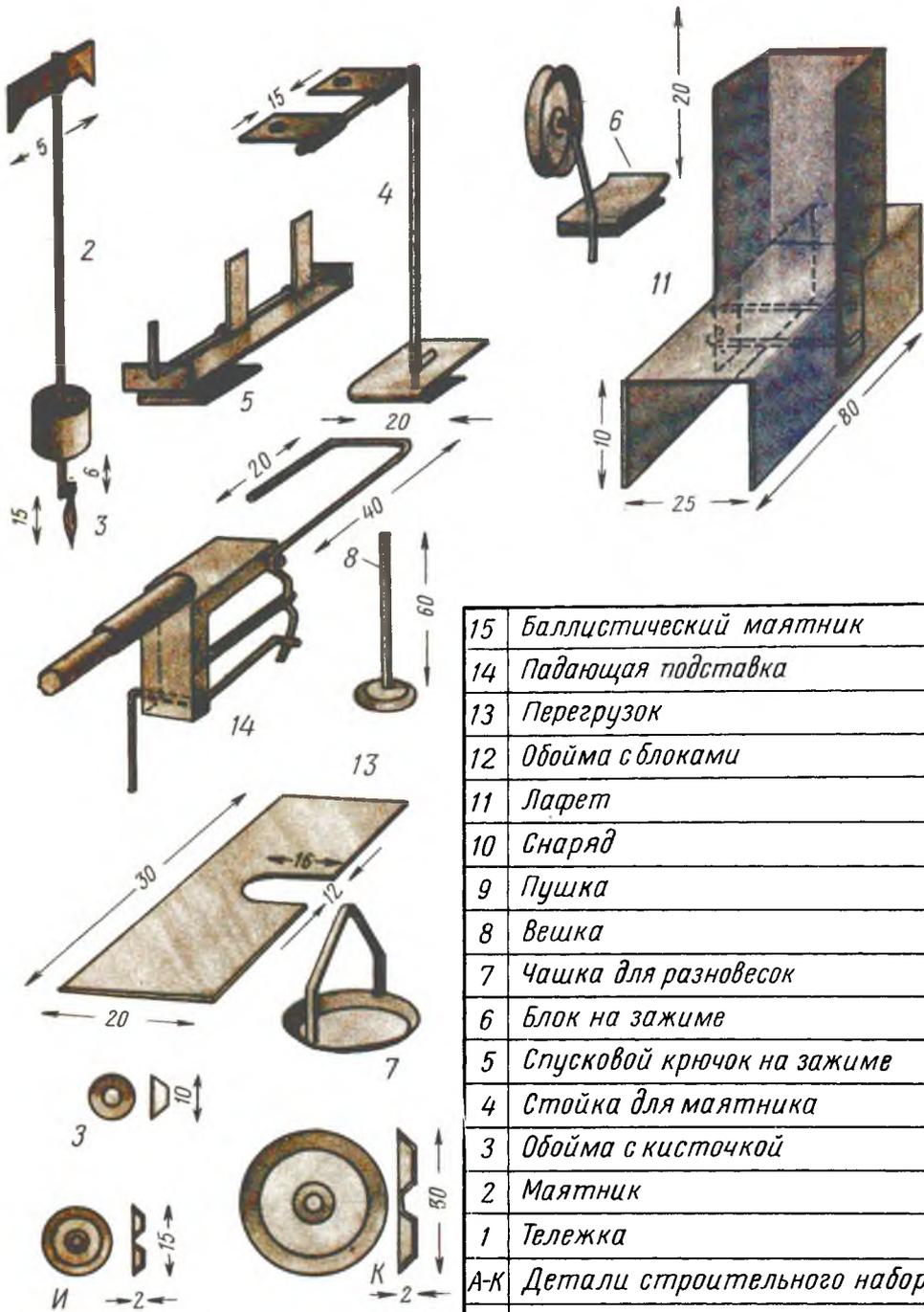
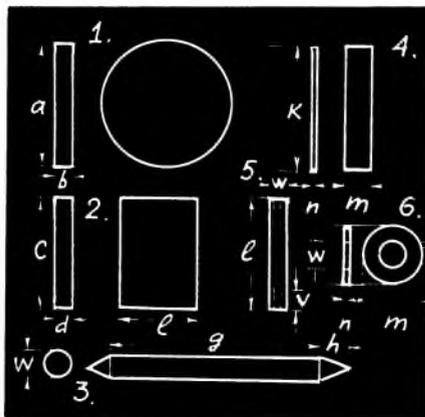


Рис. 19



15	Баллистический маятник
14	Падающая подставка
13	Перегрузок
12	Обойма с блоками
11	Лафет
10	Снаряд
9	Пушка
8	Вешка
7	Чашка для разновесок
6	Блок на зажиме
5	Спусковой крючок на зажиме
4	Стойка для маятника
3	Обойма с кисточкой
2	Маятник
1	Тележка
А-К	Детали строительного набора

ними задачу. Учащиеся высказывают свои идеи об использовании различных датчиков: отвес, груз на плоской пружине, скользящий груз на спиральной пружине, сообщающиеся сосуды и др. Все высказываемые идеи сопровождаются рисунками на доске. Когда все идеи высказаны, начинается обсуждение. Выясняется, что одни предположения осуществимы, другие — нет. После этого отбираются наиболее удачные варианты, и учитель предлагает их авторам изготовить модели. На следующих уроках учитель ставит новые проблемы и постепенно добивается, чтобы каждый ученик «заработал» себе задание.



6б	Шайба	$m=18; w=8; n=1$	Металл
6а	Шайба	$m=20; w=10; n=1$	Металл
5б	Стержень	$l=200; w=8; v=10$	Металл
5а	Стержень	$l=300; w=10; v=10$	Металл
4б	Пластина	$k=100; m=15; n=3$	Металл
4а	Пластина	$k=200; m=15; n=3$	Металл
3б	Ось	$g=50; w=3; h=5$	Металл
3а	Ось	$g=150; w=6; h=10$	Металл
2в	Плита	$l=50; c=100; d=5$	Металл
2б	Плита	$l=120; c=200; d=5$	Металл
2а	Плита	$l=150; c=300; d=20$	Дерево
1в	Диск	$a=30; b=5$	Металл
1б	Диск	$a=80; b=5$	Металл
1а	Диск	$a=100; b=20$	Дерево
№	НАЗВАНИЕ	РАЗМЕРЫ	МАТЕРИАЛ

НАБОР ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ САМОДЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ ПО МЕХАНИКЕ

Следующий этап выполнения творческого задания — детальная разработка проекта. Учитель обращает внимание учащихся на то, что выбор размеров деталей, их параметров, выбор материалов и технологии изготовления не могут быть случайными. Учащиеся должны исходить из назначения прибора, требований к нему, а также из возможностей использовать те или иные материалы и инструменты. Назначив определенный срок, учитель проводит индивидуальные собеседования с учащимися во внеурочное время и делает необходимые поправки и рекомендации.

Заключительный очень ответственный этап выполнения творческих заданий — осуществление разработанного проекта. Необходимо обязательно добиваться того, чтобы проект был осуществлен. Это имеет не только огромное психологическое значение, так как укрепляет у школьника веру в свои творческие силы, но и познавательное. Изготавливая прибор, модель или какое-то устройство, учащиеся «вдруг видят» взаимосвязь явлений, видят, что иногда ожидаемый эффект «гасится» другим непредвиденным эффектом. Все это заставляет ученика переосмысливать явления, более глубоко продумывать изученное и более критически подходить к вновь изучаемому. (См. рис. 120—122 и 125—128, на которых изображены фотографии приборов, изобретенные учащимися школы № 314 Москвы.)

Готовя творческие задания, учителю необходимо позаботиться о том, чтобы технические трудности не только не были непреодолимыми в выполнении задания, но и не были бы главной трудностью для ученика. Составляя систему заданий по конструированию приборов, необходимо продумать, какие детали и полуфабрикаты можно заготовить, чтобы облегчить заключительную фазу творческого процесса. При заготовке полуфабрикатов можно использовать различные покупные «конструкторы», а также самодельные наборы деталей. На рисунке 20 показан один из возможных вариантов набора полуфабрикатов для изготовления приборов по механике. Эти детали следует раздавать учащимся после того, как будут готовы проекты приборов.

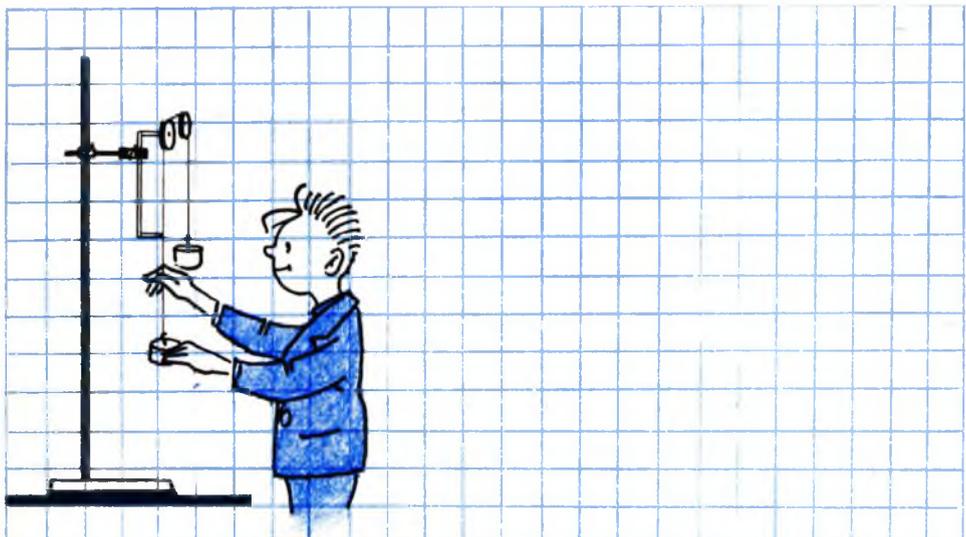
При организации технического творчества как завершающего этапа овладения определенными знаниями по физике основной упор должен быть сделан на практическое использование этих знаний. Для этого важно высвободить время от мало что дающих в этом отношении трудоемких

операций ручной работы. Необходимо обеспечить все условия для возможно быстрого материального воплощения творческого замысла.

Большой эффект в этом отношении дает использование механического инструмента, штампов, конструкторов, шаблонов и других приспособлений, облегчающих труд и способствующих повышению его качества.

Только в деятельности закрепляются знания и развиваются творческие способности. Поэтому, чем больше удастся учителю организовать актов творчества,— от постановки проблемы до материального воплощения проекта, тем эффективнее будет учебный процесс.

Ту же цель, максимальное ускорение материального осуществления творческого замысла, преследует правильная организация работы учащихся в мастерской. Необходимо позаботиться о том, чтобы каждый учащийся был обеспечен всеми необходимыми инструментами, материалами, а также квалифицированной помощью со стороны учителя труда. В случае трудоемких изделий, требующих изготовления большого количества разных деталей, полезно организовать бригады учащихся, распределить между ними работу и постоянно контролировать ее выполнение.



Творческие задачи,
лабораторные работы
и задания

МЕХАНИКА

ЗАДАЧИ

Равнопеременное движение

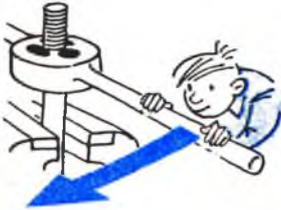


Рис. 21

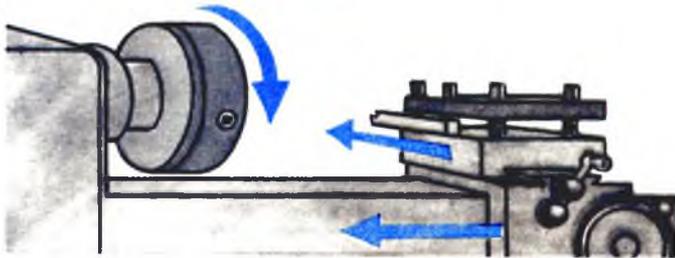


Рис. 22

1.2. Мостовой кран (рис. 23) устроен так, что может перемещать тяжелые детали по трем прямолинейным взаимно перпендикулярным направлениям (вперед — назад, вправо — влево и вверх — вниз) параллельно стенам цеха. Од-

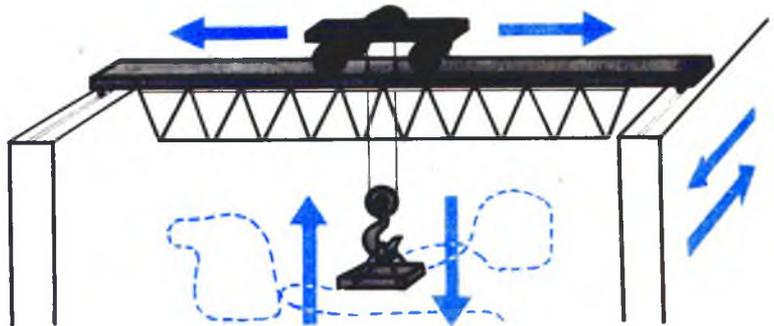


Рис. 23

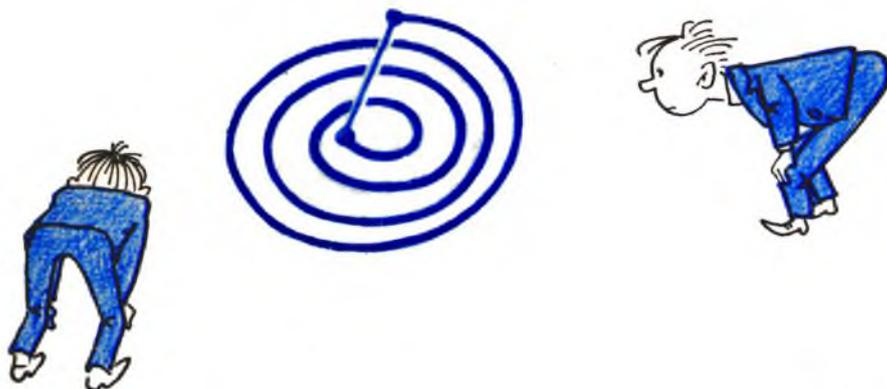


Рис. 24

нако если проследить за траекториями движения деталей, то окажется, что не все они прямолинейны и не все параллельны стенам цеха. Почему это возможно?

1.3. По утверждению одного наблюдателя материальная точка движется прямолинейно, по утверждению другого наблюдателя та же точка движется по плоской спирали (рис. 24). Почему это возможно? Подтвердите возможность этого явления экспериментом.

1.4. Как преобразовать движение по окружности в прямолинейное? Привести пример.

1.5. Сконструировать устройство, которое позволяло бы преобразовать круговое движение в движение по одной из траекторий, показанных на рисунке 25.

1.6. Прибор по динамике позволяет определить скорость движения тележки благодаря отметкам, которые через равные промежутки времени наносятся на экран кисточкой (рис. 26). Почему штрихи получаются наклонными, хотя



Рис. 25

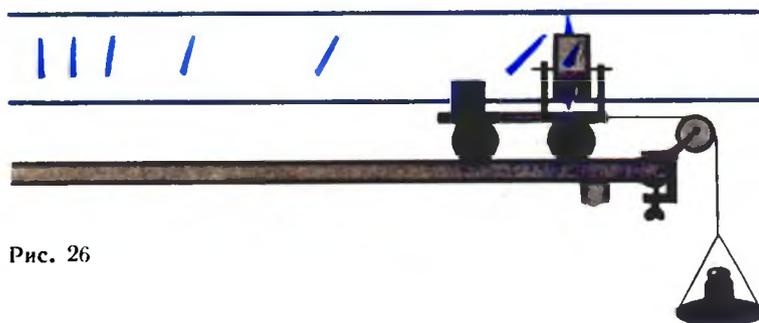


Рис. 26

кисточка вращается в плоскости, перпендикулярной к экрану, и казалось бы, что штрихи должны быть вертикальными?

1.7. Сконструировать прибор для автоматической записи графика пути горизонтально движущейся тележки (можно в дополнение к прибору Глазырина, описанному в задаче 1.6).

1.8. Сконструировать прибор для автоматической записи графика пути свободно падающего тела.



Законы движения Ньютона

1.9. Один изобретатель предложил следующий способ для измерения скорости корабля. В каюте к потолку подвешен груз на нити. По мысли изобретателя в покоящемся корабле отвес должен располагаться вертикально, а в движущемся — наклонно к горизонту. По углу отклонения отвеса изобретатель и предложил измерять скорость корабля. Осуществим ли этот проект?

1.10. Тележка (рис. 27) находится на горизонтальной плоскости. Сконструировать устройство, которое позволяло бы приводить тележку в равномерное движение или равноускоренное движение с заданным ускорением. Сделать необходимые расчеты.

1.11. Сконструировать устройство (см. задачу 1.10), которое позволяло бы приводить тележку из состояния покоя в состояние равномерного движения с заданной скоростью.

1.12. Как определить силу сопротивления движению лодки по воде, не располагая динамометром?

1.13. Для моделей ракет моделисты получают стандартные двигатели. Что нужно предусмотреть при конструировании ракеты для того, чтобы обеспечить максимальную высоту ее полета?

1.14. Почему при снаряжении охотничьих патронов массу снаряда определяют в зависимости от массы ружья? Для легких ружей снаряд делается меньшим, для тяжелых он может быть большим.

1.15. Давление пороховых газов на снаряд в канале ствола составляет $2500\text{--}3500 \text{ кг/см}^2$. Тем не менее пушка оказалась непригодной для запуска космических кораблей, а с помощью реактивного двигателя кораблю удастся сообщить космическую скорость. Почему?

1.16. Определить экспериментально скорость дробины, вылетевшей из пружинного ружья. Придумать наиболее подходящий эксперимент.

1.17. Имеется пружинный пистолет. Каким образом, не прибегая к помощи баллистического маятника, определить начальную скорость вылетающей из него дробины?

1.18. Почему из ракетного противотанкового ружья, которое представляет собой сквозную трубу, можно стрелять снарядами такого большого калибра, какой для ружья с затвором был недопустим?

Элементы статики. Деформации

1.19. На столе установлен трибометр (рис. 28). Требуется, не прибегая к динамометру, определить коэффициент трения.

1.20. Сконструировать прибор, позволяющий определить силу нормального давления на наклонной плоскости при различных углах наклона.

1.21. Почему показание динамометра (рис. 29) не совпадает с величиной силы, найденной по правилу параллелограмма?

1.22. Сконструировать модель кронштейна, которая бы давала возможность наблюдать разложение силы по правилу параллелограмма.

1.23. Сконструировать прибор для проверки правила разложения силы на клине.



Рис. 28

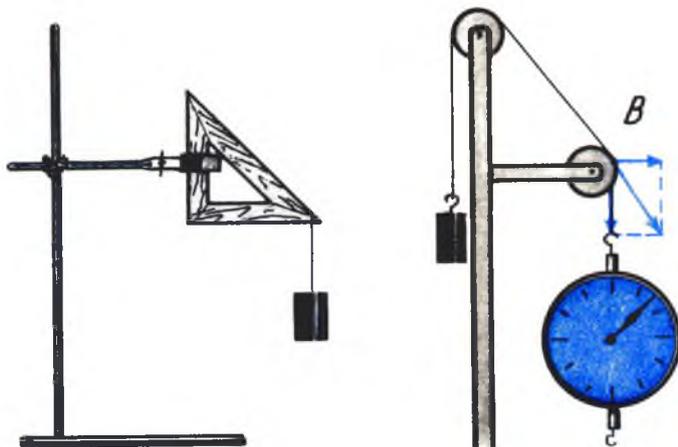


Рис. 29

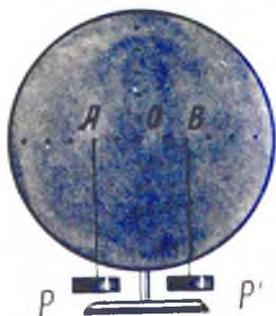


Рис. 30

1.24. На диске, свободно вращающемся вокруг оси, на равном расстоянии от оси по диаметру диска расположены крючки (рис. 30). Груз P уравнивается равным грузом P' . Возможно ли, не меняя точек приложения сил, той же силой P уравновесить большую силу? Как это сделать?

1.25. Сконструировать устройство для регулирования давления пара в котле (рис. 31). При давлении в котле выше нормального устройство должно выпускать часть пара и при нормальном давлении вновь закрывать котел. Оно должно позволять в определенных пределах менять максимальное давление в котле.

1.26. Тело, имеющее ось вращения, находится в равновесии, если сумма моментов сил, вращающих тело по часовой стрелке, равна сумме моментов сил, вращающих тело против часовой стрелки. Поэтому казалось бы, что находящийся в равновесии башенный кран должен выйти из положения равновесия (упасть) в тот момент, когда он будет поднимать груз (рис. 32). Ведь сумма моментов сил, вращающих кран против часовой стрелки, сильно возрастает. Однако кран при работе не падает. Почему?

1.27. Сконструировать кусачки, которые при обычной длине ручек и губок давали бы в несколько раз больший выигрыш в силе, чем обычные.

1.28. Сконструировать прибор, позволяющий проверить правило равновесия сил, приложенных к винту.



Рис. 31



1.29. Почему нельзя увеличить шаг винта слесарных тисков? Ведь при большом шаге можно зажимать деталь гораздо скорее (меньшим числом оборотов винта).

1.30. При сборке некоторых конструкций требуется большая точность затяжки болтов: при недостаточном усилии болты затягиваются недостаточно, а при слишком большом — может произойти неупругая деформация болта, и резьба будет сорвана. Сконструировать гаечный ключ, который бы позволял затягивать болты и гайки всегда определенным моментом силы.

1.31. Выигрыш в силе при работе всяким режущим инструментом тем больше, чем меньше угол клина. Почему же тогда угол заточки резцов, например, токарного станка большой (рис. 33)? Во всяком случае угол заточки резца непохож на угол заточки перочинного ножа.

1.32. Для чего сабле придают изогнутую форму, выпуклую со стороны лезвия?

1.33. Сконструировать самопишущий прибор (составить кинематическую схему) для записи графика деформации растяжения проволоки в зависимости от действующей силы.

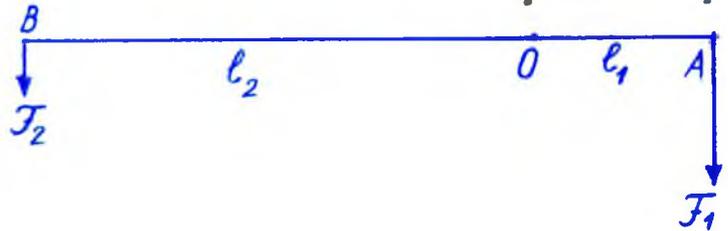
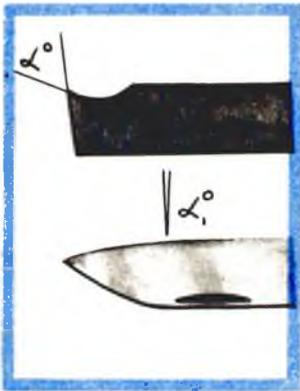


Рис. 32

Рис. 33

Криволинейное движение. Движение по окружности

1.34. Имеется пружинная пушка, стреляющая шариком. Определить скорость вылета шарика из пушки.

1.35. Сконструировать прибор для измерения центростремительной силы при движении тела по окружности.

1.36. Сконструировать прибор, который показывал бы, что движущийся по выпуклому мосту транспорт оказывает на мост давление меньше своего веса, а по вогнутому— больше своего веса.

1.37. Сконструировать прибор для определения скорости велосипеда (спидометр), найти принцип действия и составить кинематическую схему.

Всемирное тяготение

1.38. Как известно, И. Ньютон открыл закон всемирного тяготения, основываясь на законе Кеплера: квадраты времен обращения планет вокруг Солнца относятся как кубы

радиусов орбит, т. е. $\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{R_1^3}{R_2^3}$. Как это сделать?

1.39. Визуальные наблюдения, проведенные за спутниками и ракетносителями, показали, что последние, не смотря на свою необтекаемую форму, обгоняют спутник. Почему?

1.40. Почему, имея в виду спутники, говорят о невесомости? Действительно ли на спутники не действует сила тяжести?

1.41. Как следует располагаться космонавту в кабине космического корабля, чтобы испытывать при запуске возможно меньшее давление со стороны «давящей» стенки корабля?

1.42. В целях радиосвязи намечается запустить «неподвижный» искусственный спутник Земли, который, обращаясь по своей орбите с угловой скоростью, равной скорости суточного вращения Земли, как бы повиснет над одной ее точкой. Как запустить такой спутник?

Работа и энергия

1.43. Имеется пружинный пистолет, стреляющий дробишками известной массы. Требуется, пользуясь одной

только масштабной линейкой, определить коэффициент упругости пружины.

1.44. На крючок надет шарик (рис. 34). Если крючок отпустить, то он будет вращаться вокруг своей оси, стремясь занять вертикальное положение. Дойдя до опоры K , крючок остановится, а шарик сорвется и будет падать. Определить условие, при котором шарик упадет в некоторую точку.

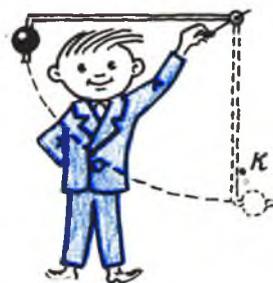


Рис. 34

Движение жидкостей и газов

1.45. Сконструировать прибор, который бы позволял устанавливать зависимость лобового сопротивления от формы тела.

1.46. Сконструировать прибор, который бы позволил пронаблюдать разность статического давления над крылом самолета и под крылом, находящимся в воздушном потоке.

1.47. Сконструировать прибор, демонстрирующий изменение давления в зависимости от скорости струи.

1.48. Сконструировать прибор, позволяющий наблюдать зависимость статического давления в струе от сечения (скорости) струи.

1.49. Почему шарик устойчиво парит в струе воздуха (например, шар от настольного тенниса в струе воздуха из шланга пылесоса), не падая в сторону (рис. 35)?

Механические колебания и волны

1.50. Сконструировать устройство — «среду», обладающую продольной и поперечной упругостью, для получения продольных и поперечных волн.

1.51. Если подержать некоторое время один из одинаковых камертонов в руке, а потом заставить звучать их одновременно, то вместо привычного звучания в унисон будут слышны бения. Почему?

1.52. Сконструировать устройство, которое бы позволило наблюдать стоячие волны, образующиеся в пружине.



Рис. 35

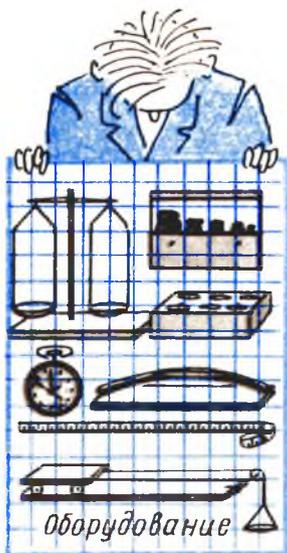


Рис. 36

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

1.53. Равнопеременное и равноускоренное движение тележки.

Оборудовани е: 1) Линейка от трибометра, 2) тележка, 3) блок на зажиме, 4) спусковой крючок на зажиме, 5) бумажная лента (600×60 мм), 6) чашка для разновесов, 7) маятник с кисточкой на зажиме, 8) весы с разновесом, 9) набор грузов, 10) масштабная линейка, 11) уровень, 12) клинышки, 13) нитки машинные, 14) чернила, 15) часы с секундной стрелкой (рис. 36).

Бумажную ленту накладывают на линейку трибометра. Концы ленты подгибают и зажимают с одного конца зажимом с блоком, а с другого — зажимом со спусковым крючком. После этого линейку при помощи уровня и клинышков устанавливают горизонтально, так чтобы блок свешивался над краем стола. На противоположном конце линейки устанавливают тележку с одним или двумя грузами из набора. Тележку прикрепляют к зажиму спусковым крючком. Затем к ней привязывают тонкую нить и перекидывают ее через блок. К свободному концу нити привязывают чашку для разновесов. На тележке укрепляют маятник с кисточкой так, чтобы при пуске тележки одновременно приводился в колебательное движение маятник с кисточкой. При колебаниях маятника кисточка, смоченная чернилами, должна делать метки на бумажной ленте. Для этого кисточку нужно установить на стержне маятника так, чтобы она слегка касалась бумаги.

Задание: а) Определить условие, при котором тележка будет двигаться равномерно. Проверить правильность найденного решения экспериментально. б) Определить условие, при котором тележка будет двигаться с заданным ускорением (например, $a = 40$ см/сек²). Проверить правильность найденного решения экспериментально.

1.54. Определение условий, при которых тележка, двигаясь по горизонтальной плоскости равноускоренно, проходит определенный отрезок пути в заданное время.

Оборудовани е: 1) Линейка от трибометра, 2) тележка, 3) блок на зажиме, 4) спусковой крючок на зажиме, 5) чашка для разновесов, 6) весы с разновесом, 7) набор

грузов, 8) нитки машинные, 9) масштабная линейка, 10) уровень, 11) клинышки, 12) метроном (один на весь класс).

Закрепляют блок и спусковой крючок на концах линейки от трибометра, устанавливают линейку горизонтально и на ней тележку с одним или двумя грузиками из набора. Тележку прикрепляют к зажиму спусковым крючком. Нить от тележки перекидывают через блок.

З а д а н и е: а) Определить условия, при которых тележка будет двигаться равномерно. Проверить правильность найденного решения экспериментально. б) Определить условия, при которых тележка будет двигаться равноускоренно и заданный путь (40 см) пройдет за определенный промежуток времени (2 сек). Проверить правильность найденного решения экспериментально.

1.55. Определение условий, при которых тележка, двигаясь по наклонной плоскости равноускоренно, проходит определенный отрезок пути в заданное время.

О б о р у д о в а н и е: 1) Линейка от трибометра, 2) тележка, 3) блок на зажиме, 4) спусковой крючок на зажиме, 5) чашка для разновесов, 6) весы с разновесом, 7) набор грузов, 8) нитки машинные, 9) масштабная линейка, 10) транспортер, 11) штатив школьный с одной муфтой и одной лапкой, 12) метроном (один на весь класс).

Насаживают зажим с блоком на конец линейки от трибометра. С помощью штатива устанавливают линейку наклонно к плоскости стола (например, под углом 12°). Ставят на тележку один или два груза из набора. Привязывают к тележке нить и перекидывают ее через блок. К свободному концу нити привязывают чашку для разновесов (рис. 37).

З а д а н и е: Определить условие, при котором тележка, двигаясь равноускоренно, будет проходить заданный путь (40 см) за определенный промежуток времени (2 сек). Проверить правильность найденного решения экспериментально.

1.56. Определение условия, при котором грузы, привязанные к нити, перекинутой через неподвижные блоки, движутся равноускоренно с заданным ускорением.



Рис. 37

Оборудование: 1) Набор грузов, 2) обойма с блоками и маятником с кисточкой, 3) падающая подставка, 4) нитки белые машинные, 5) чернила, 6) лента измерительная с сантиметровыми делениями, 7) штатив с двумя муфтами и двумя лапками, 8) разновес.

Обойму блоков зажимают в штатив на высоте 50—60 см. Через блоки перекидывают нить, на концах которой привязаны грузы по 50—100 г. Сверху над блоками устанавливают маятник. Кисточка маятника, смоченная чернилами, касается нити и делает на ней метку (рис. 38).

Задача: Определить условие, при котором грузы будут двигаться равноускоренно с заданным ускорением 30 см/сек^2 . Правильность решения проверить экспериментально.

1.57. Определение условия, при котором грузы, привязанные к нити, перекинутой через неподвижные блоки, движутся равномерно с заданной скоростью.

Оборудование: 1) Обойма с блоками и маятником с кисточкой; 2) перегрузки в виде пластинок, снимающиеся с груза при прохождении его через кольцо; 3) блоки; 4) нитки белые машинные; 5) лента измерительная с сантиметровыми делениями; 6) штатив с тремя муфтами, двумя лапками и одним кольцом; 7) метроном (общий на весь класс); 8) падающая подставка; 9) набор грузов.

Обойму блоков зажимают в штатив на высоте 50—60 см. Через блоки перекидывают нить, на концах которой привязаны грузы по 50—100 г. Чуть ниже обоймы устанавливается вторая лапка штатива. В этой лапке закрепляется подставка под один из грузов с перегрузом. Нажимом рычажка подставку в какой-то момент, совпадающий с моментом прохождения маятника через положение равновесия, можно убрать (она падает на шарнире) и тем самым привести грузы в движение. Под этой подставкой, на некотором расстоянии от нее, укрепляется кольцо, так что при прохождении сквозь кольцо грузика перегрузок снимается.

Задача: Определить условия, при которых грузы придут в равномерное движение с заданной скоростью 20 см/сек . Найденное решение проверить экспериментально.

1.58. Определение скорости полета снаряда по откату пушки и вычисление дальности полета снаряда.



Рис. 38

Оборудование: 1) Пружинная пушка на лафете с колесами, 2) снаряд, 3) весы с разновесом, 4) чашка для разновесок, 5) лента измерительная с сантиметровыми делениями, 6) пружинный динамометр, 7) кусочек проволоки (вешка).

Пушку на колесах устанавливают на горизонтальной плоскости стола, заряжают и легким нажимом кончика проволоки на спусковой рычаг производят выстрел. Измеряют дальность отката пушки.

Задача: Путем дальнейших необходимых измерений и вычислений определить скорость полета снаряда. На основании полученного результата рассчитать дальность полета снаряда при горизонтальном выстреле. Повторить первоначальный эксперимент и проверить правильность полученного решения.

1.59. Определение скорости полета снаряда по отклонению баллистического маятника и вычисление дальности полета снаряда.

Оборудование: 1) Баллистический маятник, 2) пружинная пушка на неподвижном лафете, 3) весы с разновесом, 4) лента измерительная с сантиметровыми делениями, 5) штатив с одной муфтой и одной лапкой.

Зажимают ось баллистического маятника в лапку штатива. Устанавливают пружинную пушку и маятник так, чтобы горизонтально расположенный ствол пушки и тело маятника находились на одинаковой высоте. Заряжают пушку и стреляют так, чтобы снаряд попадал в тело маятника и застревал в нем.

Задача: По углу отклонения баллистического маятника и на основании других измерений определить скорость полета снаряда. Рассчитать дальность его полета при условии, что снаряд пущен параллельно горизонтальной плоскости стола. Проверить правильность расчета экспериментально.

1.60. Определение высоты подъема снаряда, пущенного под углом к горизонту, по дальности его полета.

Оборудование: 1) Пружинная пушка, которую можно установить под любым углом к горизонту; 2) лента измерительная с сантиметровыми делениями; 3) транспорт; 4) штатив с муфтой и кольцом.

Устанавливают пушку под некоторым углом к горизонту. На одинаковой высоте с концом ее ствола устанавливают кольцо. Пристреливают пушку и устанавливают ее таким образом, чтобы снаряд падал в середину отверстия кольца. Измеряют дальность полета снаряда по горизонтали.

З а д а н и е: а) Рассчитать наибольшую высоту подъема снаряда при выстреле под заданным углом. б) Рассчитать наибольшую высоту подъема снаряда при выстреле вертикально вверх. Расчеты проверить экспериментально, установив на найденной высоте кольцо так, чтобы в случае (а) снаряд пролетал через кольцо, а в случае (б) достигал его.

1.61. Определение дальности полета снаряда, пущенного под углом к горизонту, по деформации пружины.

О б о р у д о в а н и е: 1) Пружинная пушка, которая может быть установлена под любым углом к горизонту; 2) динамометр; 3) масштабная линейка; 4) штатив с одной муфтой и одним кольцом.

Устанавливают пушку под некоторым углом к горизонту. Следят, чтобы конец ее ствола был на одинаковой высоте с плоскостью кольца штатива.

З а д а н и е: а) При помощи измерительных приборов определить коэффициент упругости пружины. б) На основании полученных данных и других измерений рассчитать максимальную дальность полета снаряда. Проверить расчеты экспериментально, установив до опыта кольцо штатива в той точке, куда должен упасть снаряд.

1.62. Уравновешивание груза, движущегося по окружности с определенной частотой.

О б о р у д о в а н и е: 1) Стекло́нная трубка ($l \approx 10$ см) с ровными оплавленными концами, 2) нитка ($l_1 \approx 60$ см), 3) небольшой грузик ($m \approx 5$ г), 4) разновес, 5) чашка под разновески, 6) измерительная лента с сантиметровыми делениями, 7) метроном (один на весь класс).

Нитку продевают сквозь стеклянную трубку. К одному концу ее привязывают грузик, к другому — чашку под разновески. Вытянув конец нити с грузиком сантиметров на 30—35, приводят его в круговое движение, прижав другой конец нити к нижнему краю трубки. Добиваются, чтобы грузик обращался по окружности с определенной частотой,

например один оборот за полсекунды (за время между двумя ударами метронома).

З а д а н и е: Определить величину груза (чашка с разновесами), который удерживал бы нить при равномерном движении грузика по окружности заданного радиуса, благодаря чему можно было бы не удерживать нить у края трубки.

1.63¹. Определение скорости, которую приобретают обод, диск и шарик, скатываясь по наклонной плоскости.

О б о р у д о в а н и е: 1) Круглые тела (диск и обод), 2) линейка трибометра, 3) штатив с двумя муфтами и двумя лапками, 4) пусковое приспособление, 5) масштабная линейка, 6) вешки (2 шт.), 7) метроном (один на весь класс).

Устанавливают линейку трибометра под небольшим углом к горизонту, положив ее одним концом на основание штатива, и пускают свободно скатываться круглые тела от некоторой ее точки.

З а д а н и е: Рассчитать, какую скорость приобретает каждое из тел, скатившись с наклонной плоскости из выбранной точки. Расчет проверить экспериментально, измеряя путь, пройденный телом по горизонтальной плоскости за полсекунды.

1.64. Раскручивание диска до заданной угловой скорости с помощью груза, привязанного к нити, намотанной на обод диска.

О б о р у д о в а н и е: 1) Диск на тонкой оси в обойме с пренебрежимо малым трением в подшипниках (диск может выниматься из обоймы), 2) штатив с двумя муфтами и двумя лапками, 3) нить (~ 60 см), 4) разновес специальная (с дырками на разновесках), 5) лента измерительная с сантиметровыми делениями, 6) блок, 7) крючок под разновески, 8) секундомер.

Обойму диска зажимают в штатив. На обод диска наматывают нить (один или два оборота). К свободному концу нити привязывают крючок под разновески.

¹ Работы 1.63, 1.64 и 1.66 можно предложить учащимся при условии, если они изучили тему «Вращательное движение твердого тела».

З а д а н и е: Определить условия, при которых диск получит постоянную заданную угловую скорость (4 об/сек). Расчеты проверить экспериментально, отсчитав, например, 20 оборотов диска и заметив по секундомеру время, в течение которого эти 20 оборотов совершились.

1.65. Определение длины математического маятника, период собственных колебаний которого равен периоду собственных колебаний данного пружинного маятника.

О б о р у д о в а н и е: 1) Пружинный маятник (груз, подвешенный на пружинке); 2) набор грузов равного веса; 3) штатив с двумя муфтами, лапкой и кольцом с отверстием в ободе; 4) масштабная линейка; 5) нитка (~ 100 см); 6) клинышек.

Закрепляют пружинный маятник в лапке на штативе. На том же штативе закрепляют кольцо с маленьким отверстием в ободе. Через отверстие пропускают конец нити и зажимают его клинышком. На свободном конце нити подвешивают маленький грузик.

З а д а н и е: На основании исследования упругих свойств пружины рассчитать длину математического маятника с одинаковым периодом собственных колебаний. Правильность расчетов проверить экспериментально.

1.66. Определение длины математического маятника, период собственных колебаний которого равен периоду собственных колебаний данного однородного стержня.

О б о р у д о в а н и е: 1) Однородный стержень с тонким отверстием и осью перпендикулярно длине его; 2) измерительная лента с сантиметровыми делениями; 3) штатив с двумя муфтами, лапкой и кольцом с тонким отверстием в ободе; 4) нитка (100 см); 5) клинышек; 6) грузик.

Тонкую ось зажимают в лапке штатива горизонтально. На ось надевают стержень. На том же штативе закрепляют кольцо с тонким отверстием в ободе. Через отверстие продевают конец нити и закрепляют его клинышком. На свободный конец нити привязывают грузик.

З а д а н и е: После необходимых измерений параметров стержня рассчитать период его собственных колебаний. Рассчитать длину математического маятника с одинаковым периодом собственных колебаний. Правильность расчета проверить экспериментально.

ЗАДАНИЯ

1.67. Радиолюбители для намотки катушек пользуются намоточным станком (рис. 39). Этот станок обладает тем недостатком, что на нем очень трудно наматывать витки ровными рядами. Придумать устройство, которое бы автоматически регулировало ровную намотку проволоки на катушку.

1.68. Сконструировать устройство, позволяющее в условиях классной комнаты определить скорость полета пули, пущенной из духового ружья.

1.69. Сконструировать прибор — акселерометр — для измерения ускорения тележки, движущейся по горизонтальной плоскости (демонстрационный стол).

1.70. Сконструировать прибор — спидометр — для измерения мгновенной скорости движения тележки или заводного автомобиля.

1.71. Сконструировать два волчка, которые бы при одинаковой форме, размерах и массе, будучи запущены с одинаковой скоростью, могли бы за счет своей энергии совершить разную по величине работу по преодолению силы трения, т. е. вращались бы разное время (рис. 40).

1.72. Маятник Максвелла движется неравномерно: при движении вниз — ускоряется, а при движении вверх — замедляется.

Сконструировать устройство, которое бы выравнивало скорость движения маятника вниз и вверх. (Регулятор должен работать не за счет сил трения, иначе колебания маятника будут сильно затухающими.)

1.73. Сконструировать прибор, демонстрирующий действие закона сохранения момента количества движения.

1.74. Сконструировать метроном для отсчета регулируемых равных промежутков времени (порядка одной секунды).



Рис. 39

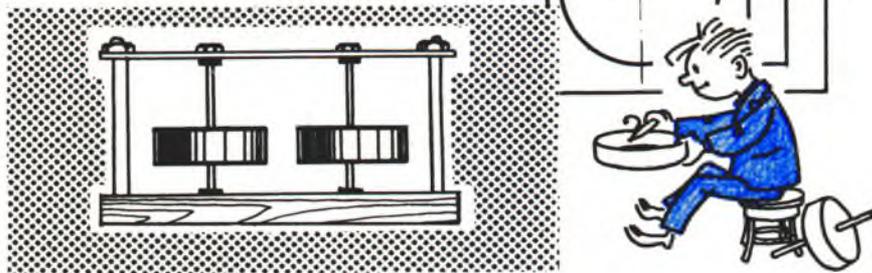


Рис. 40

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕПЛОТА

ЗАДАЧИ

Основа молекулярно-кинетической теории строения вещества

2.1. Краска представляет собой взвесь мельчайших частиц красителя в растворителе. Почему частицы красителя очень долго не осаждаются на дно банки, хотя удельный вес этих частиц значительно больше удельного веса растворителя? Ответ обосновать.

2.2. Молоко представляет собой суспензию, в которой нерастворимые мельчайшие капельки жира находятся во взвешенном состоянии. Что нужно сделать, чтобы в молоке поскорее отстоялись сливки?

2.3. В 1883 г. в Индонезии на острове Кракатау произошло сильнейшее извержение вулкана, наполовину разрушившее остров и выбросившее в атмосферу огромное количество мельчайшей пыли. Присутствие пыли в атмосфере после этого извержения обнаруживалось в течение нескольких лет. Жители многих стран в эти годы наблюдали необыкновенно интенсивные красные зори.

Почему такое продолжительное время пыль держалась в воздухе?

2.4. Почему испытания атомных и водородных бомб, сопровождающиеся образованием большого количества радиоактивной пыли, особенно опасны для человечества, когда они проводятся в атмосфере и в океане?

2.5. Почему твердые тела склеиваются труднее, чем пластичные?

2.6. Опыты. В одном углу классной комнаты разбрызгать духи или одеколон. Через некоторое время запах распространится по всему классу. Как объяснить явление? Имея часы с секундной стрелкой, можно подсчитать среднюю скорость распространения запаха (примерно 0,6—0,9 м/сек). Как согласовать такую скорость распространения запаха с большой скоростью движения молекул порядка сотен метров в секунду?

2.7. Придумать конструкцию механической модели опыта Штерна по определению скорости движения молекул.

2.8. Придумать конструкцию механической модели опыта по определению размеров молекул.

2.9. Опыт. Сосуд из пористой глины, соединенный резиновой трубкой с манометром (рис. 41), позволяет демонстрировать диффузию газа через пористую перегородку. Исходя из свойств газов, предсказать до опыта, как будет изменяться показание манометра при погружении пористого сосуда: а) в водород, б) в углекислый газ.

Предположения проверить на опыте.

2.10. Для шахтеров большую опасность представляют отравляющие, удушающие и взрывчатые газы (см. табл.). Для борьбы с этими газами используются мощные вентиляторы, подающие в шахты свежий воздух. Для контроля за составом воздуха применяются различные приборы. Предлагается придумать конструкцию сигнализирующего прибора, основанного на различной скорости диффузии газов через пористую перегородку. При этом следует иметь в виду, что при нормальных условиях воздух по объему содержит 78,10% азота, 20,93% кислорода, 0,93% аргона и 0,03% углекислого газа (примеси других газов незначительны).

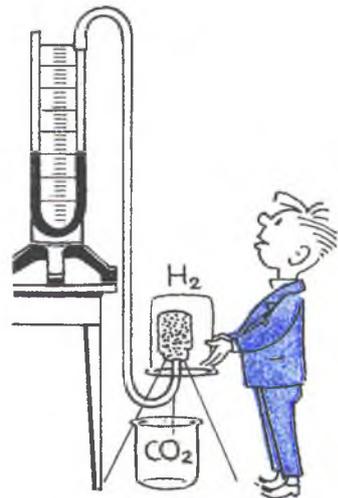


Рис. 41

Т а б л и ц а

Газ	Химическая формула	Атомный или молекулярный вес
Воздух		29,00
Азот	N	14,018
Кислород	O	16,00
Этилен	C ₂ H ₄	28,03
Метан	CH ₄	16,03
Этан	C ₂ H ₆	30,05
Пропан	C ₃ H ₈	44,06
Бутан	C ₄ H ₁₀	58,08
Окись углерода	CO	28,00
Углекислый газ	CO ₂	44,0

2.11. Опыт. Две одинаковые банки наполняются одна холодной, а другая горячей водой. В банки одновременно из двух пипеток или авторучек пускают по капле чернил. Капли принимают причудливую форму и постепенно расходятся (рис. 42).



Рис. 42

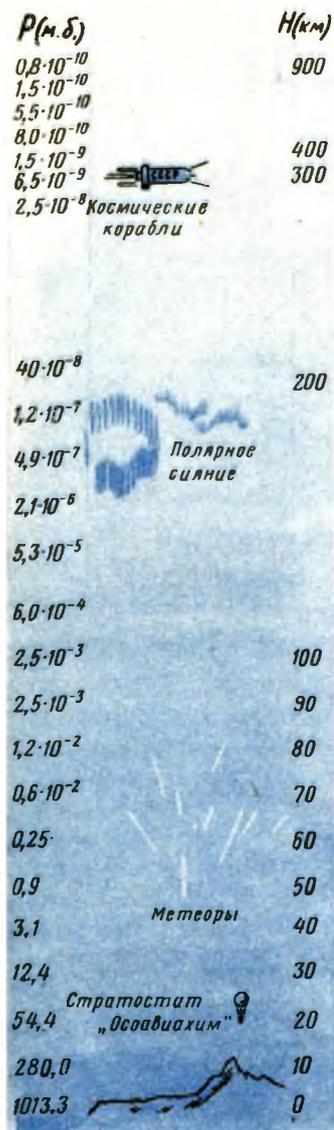


Рис. 43

З а д а н и е: а) Определить приблизительно скорость распространения окраски в воде. б) Сравнить средние скорости распространения окраски в холодной и горячей воде, сопоставить среднюю скорость распространения чернил в воде со средней скоростью распространения запаха в воздухе (задача 2.6).

2.12. Имеется неизвестное вещество. Как наиболее простым способом определить молекулярный вес этого вещества?

Внутренняя энергия. Теплота и работа

2.13. Один изобретатель предложил использовать энергию ветра для обогрева жилых помещений, теплиц и других сельскохозяйственных построек. При этом он сконструировал «генератор тепла» для непосредственного использования механической энергии ветра для нагрева воды. а) Как это можно осуществить? б) Какое количество воды от 0° до 50° С может нагреть ветродвигатель с диаметром колеса 6 м за один час при скорости ветра 10 м/сек. К. п. д. установки принять равным 20%.

2.14. Для того чтобы предохранить столярный клей от подгорания, его варят в специальных клееварках. Банка с клеем ставится в кастрюлю с водой и нагревается. Объяснить, почему клееварка предохраняет клей от пригорания.

2.15. Почему в качестве эталона международной свечи (единица силы света) взята светящаяся поверхность платины (площадью $0,0053 \text{ см}^2$) при температуре ее отвердевания $2046,5^\circ \text{ К}$? Почему нельзя было выбрать какую-то другую температуру, например 2000° К или 2500° К ?

2.16. Температура земной атмосферы сильно меняется с расстоянием от земной поверхности. Так на высоте 80 км температура около -80° С , а на высоте 300—400 км достигает нескольких сот градусов выше нуля. На высоте 100 км температура около 2000° С . Между тем космические корабли нисколько не страдают от перегрева на высоких орбитах. По рассказам космонавтов оболочка корабля «горит» как раз в тех слоях атмосферы, температура которых низкая (рис. 43). Нет ли тут какого-нибудь противоречия?

2.17. При попытке определить удельную теплоемкость вещества, из которого сделан исследуемый образец, обнару-

жилось, что вода в калориметре при погружении нагретого образца нагревается очень слабо. Вследствие этого термометр показывает ничтожно малое изменение температуры и точность измерения получается очень малой. Как нужно поставить опыт, чтобы повысить точность измерения?

2.18. Опыт. Прилепить на дно стеклянной банки огарок свечи. Зажечь свечу и поднять ее вертикально над ящиком с песком. Затем выпустить банку из рук и наблюдать за пламенем свечи. Какое явление происходит и как его можно объяснить? Какие выводы из этого опыта следует сделать в отношении оборудования космических кораблей?

2.19. Опыт. Берутся два стакана, стеклянный и алюминиевый, одинаковой массы и емкости. В стаканы одновременно наливается одинаковое количество горячей воды при некоторой температуре $t^{\circ}\text{C}$. Прикосновение рукой к стаканам показывает, что один стакан прогревается скорее, хотя удельные теплоемкости стекла и алюминия одинаковы ($\sim 0,2$). Объяснить явление.

2.20. Опыт. Противень или маленькая сковородка нагревается на пламени газовой горелки или спиртовки. Время от времени на нагретый металл пускаются капли воды.

Задание: Наблюдать за скоростью испарения капель по мере нагревания металла. Объяснить, почему при очень высокой температуре пластинки капля на ее поверхности держится неожиданно долго, не испаряясь.

Свойства газов

2.21. Объяснить механизм дыхания у человека и животных.

2.22. Объяснить механизм процесса питья у человека и животных.

2.23. Почему невозможно подводное плавание с очень простым приспособлением для дыхания — с резиновой трубкой, один конец которой во рту у ныряльщика, а другой, открытый — на поверхности воды (рис. 44). Сконструировать простейшее приспособление для дыхания под водой.

2.24. Опыт. Под колокол воздушного насоса кладется ненадутый резиновый мячик или камера волейбольного мяча. Из-под колокола с помощью насоса откачивается воздух.

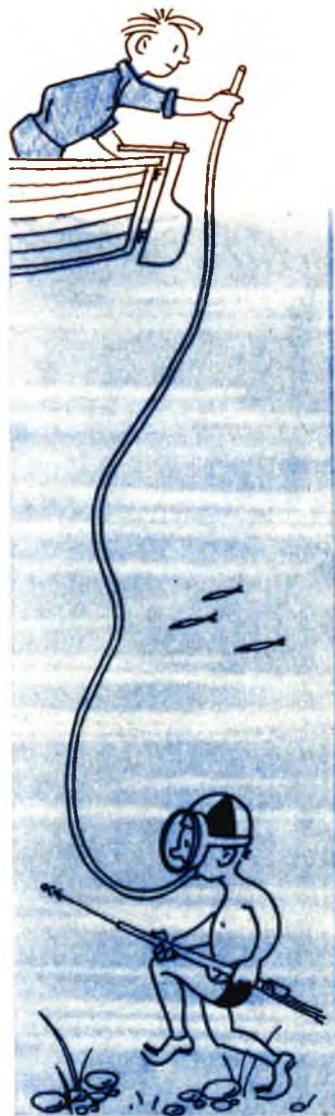


Рис 44



Рис. 45

З а д а н и е: Наблюдать, что происходит с мячиком по мере откачивания из-под колокола воздуха. Объяснить наблюдаемое явление.

2.25. Как определить вес автомобиля, не взвешивая его, а лишь исследуя его баллоны?

2.26. **О п ы т.** Как, не имея динамометра, с помощью цилиндра с поршнем измерить физическую силу рук на растяжение и сжатие?

2.27. Вода, идущая из водопроводного крана, иногда бывает белой как молоко. Впрочем, налитая вода в сосуде быстро светлеет и становится прозрачной. Объяснить это явление.

2.28. Насос Шинца соединен ниппелем с дном высокого стеклянного сосуда, наполненного водой. В воду пускают небольшой пузырек воздуха и наблюдают за его движением. Можно ли считать движение пузыря равномерным или равноускоренным? Как объяснить характер его движения?

2.29. Медицинские банки ставят так. На пинцет или толстый гвоздь наматывают кусок ваты. Вату смачивают спиртом и зажигают. Внеся на мгновение получившийся факел в банку, последнюю быстро ставят на кожу больного. Банка присасывается. Объяснить механизм этого явления.

2.30. **О п ы т.** Газ находится в металлической бомбе (корпус реактивной тележки) (рис. 45) под давлением. Если открыть кран, то слышен шум выходящего под напором газа.

З а д а н и е: Соединить бомбу с водяным манометром и убедиться, что давление внутри бомбы равно атмосферному. Наблюдать за показанием манометра еще некоторое время (1—2 мин). Объяснить наблюдаемое явление.

2.31. **О п ы т.** Цилиндр, закрытый поршнем, соединен с манометром (рис. 46). На поршень резко ставится большая гиля весом 20 кг.

З а д а н и е: Наблюдать за показанием манометра некоторое время и объяснить наблюдаемое явление.

2.32. **О п ы т.** Воздушный шарик «уйди-уйди» надувается, и мундштук его плотно закрывается пальцем. Для определения объема шарика с воздухом используются два отливных стакана (рис. 47). Один стакан наполнен водой комнатной температуры, а другой — горячей.



Рис. 46



Рис. 47

З а д а н и е: Определить объем шарика сначала в холодной воде, а потом в горячей. Объяснить разницу.

2.33. Имеется цилиндр с поршнем. Каким образом можно осуществить замкнутый цикл, изображенный на рисунке 48, используя в качестве рабочего тела водяной пар?

2.34. Описать, как можно осуществить замкнутый цикл (цикл Карно) преобразования состояния газа, который изображен на графике (рис. 49).

2.35. Опыт с водяным молотком. В стеклянной, запаянной с обоих концов, трубке заключен столбик воды. При встряхивании трубки столбик ударяет в концы трубки так, словно не испытывает никакого сопротивления. Однако ведь известно, что, хотя из трубки и выкачан воздух, пространство над поверхностью жидкости заполняется насыщающими парами. Причем определенной температуре соответствует определенное давление этих паров. Объяснить наблюдаемое явление.

2.36. Опыт с кипятильником Фрэнклина. Кипятильник Фрэнклина представляет собой две стеклянные колбы, соединенные трубкой. Сосуд эвакуирован и частично заполнен спиртом. Если укрепить кипятильник на горизонтальной оси над кюветой с подогретой водой (рис. 50), то будет наблюдаться интересное явление.

З а д а н и е. Наблюдать явление и объяснить механизм его.

2.37. Сконструировать двигатель, подобный описанному в предыдущей задаче, но работающий не на принципе нагревания насыщающего пара, а на принципе его охлаждения.

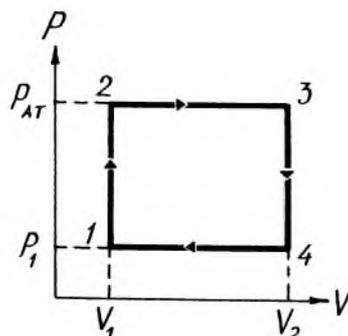


Рис. 48

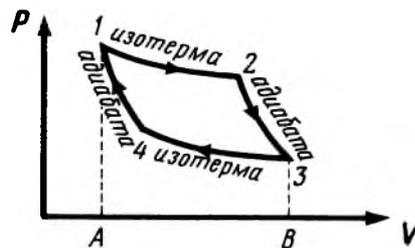


Рис. 49

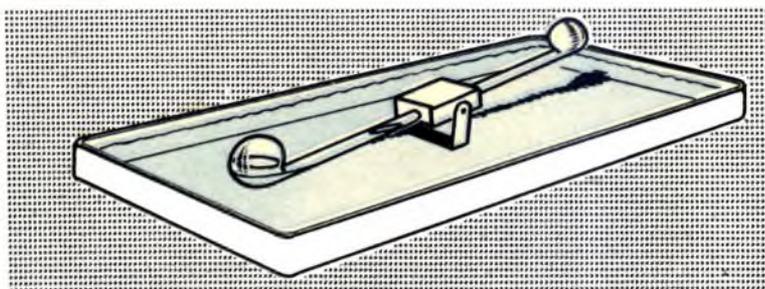


Рис. 50

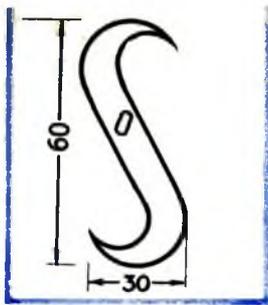


Рис. 51

Свойства жидкостей

2.38. Опы т. Стекло́нная трубка с неровным ломаным краем нагревается в пламени спиртовки или газовой горелки. При плавлении стекла край приобретает округлую форму. Почему?

2.39. Опы т. Вырезать из плотной бумаги или картона фигурку S-образной формы (рис. 51). Намылить с одной стороны и аккуратно положить на поверхность воды. Наблюдаемое явление объяснить.

2.40. Опы т. Выдуть мыльный шар. Не отрывая шара от трубки, последнюю отнять ото рта. а) Объяснить наблюдаемое явление. б) Исходя из определения коэффициента поверхностного натяжения, вывести формулу для добавочного давления, которое оказывает сферическая поверхность жидкости.

2.41. Опы т. Используя стеклянную трубку — тройник, выдуть два мыльных пузыря разных диаметров. Для этого сначала выдувается один пузырь при закрытом другом конце тройника (рис. 52). Затем свободный конец тройника обмакивается в мыльный раствор, и далее оба пузыря выдуваются одновременно. После того как два пузыря разных диаметров выдуты, закрыть мундштук и наблюдать явление, которое будет происходить с пузырями. Объяснить наблюдаемое явление. (См. предыдущую задачу.)

2.42. Опы т. В проволочное сито, покрытое тонким слоем парафина, наливается небольшой слой воды. Почему вода не протекает сквозь сито? При каком условии сито не будет пропускать воду?

2.43. При сильном дожде не рекомендуется прикасаться к внутренней стороне палатки, изготовленной из водоотталкивающей ткани. Бывает достаточно в каком-нибудь месте прикоснуться, как палатка будет пропускать воду. Объяснить это явление.



Рис. 52

2.44. Капиллярная трубка с внутренним радиусом r опускается в смачивающую жидкость. При этом жидкость в капиллярной трубке поднимается на высоту h . Определить работу силы поверхностного натяжения жидкости и сравнить ее с потенциальной энергией, которую получает столбик жидкости внутри капилляра. Объяснить обнаруженное явление.

Свойства твердых тел

2.45. Почему кристаллы поваренной соли при разламывании разваливаются на куски, имеющие обязательно форму параллелепипеда?

2.46. Все металлы имеют кристаллическую структуру, однако явление анизотропии в механических, тепловых, электрических свойствах у металлов на практике проявляется очень редко. Объяснить, почему.

2.47. О п ы т. Тонкая железная проволока нагревается электрическим током до вишнево-красного каления. Один конец проволоки перекидывается через блок (можно надеть на гвоздь деревянную катушку из-под ниток) и нагружается. К блоку прикрепляется длинная легкая бумажная стрелка. Разомкнуть электрическую цепь и наблюдать за движением стрелки. Объяснить наблюдаемое явление (рис. 53).

2.48. Упругой деформацией является такая деформация, при которой тело при устранении напряжения полностью восстанавливает свою первоначальную форму. Это значит, что пружина при устранении нагрузки должна полностью отдать в процессе работы ту энергию $\frac{kx^2}{2}$ (k — коэффициент упругости, x — сжатие), которую она получила. Но при



Рис. 53



быстром (адиабатическом) сжатии часть энергии рассеивается, так как пружина при этом нагревается. Откуда же берется эта часть энергии при обратном процессе?

2.49. Почему большинство сплавов (чугун, бронза, дюраль) гораздо менее подвержены пластическим деформациям, чем чистые металлы.

2.50. Какими способами можно повысить прочность металла?

Тепловые двигатели

2.51. Опыт. Демонстрируется игрушка «пьющий утенок» (рис. 54).

Это два полых стеклянных шарика, соединенных трубкой. Верхний шарик покрыт гигроскопической ватой. Нижний шарик частично заполнен летучей жидкостью. К трубке этот шарик припаян так, что конец трубки находится ниже уровня жидкости.

З а д а н и е: а) Объяснить, как действует игрушка, за счет какой энергии; б) Вычертить диаграмму работы пара в стеклянном резервуаре игрушки. Показать на диаграмме полезную работу, которую совершает «утенок».

2.52. Сконструировать (начертить кинематическую схему) приспособление — самописец для автоматической записи диаграммы работы газа в цилиндре теплового двигателя.

2.53. На рисунке 55 изображены диаграммы циклов двух тепловых машин. Объяснить, в чем состоит основная разница этих тепловых машин. Изобразить кинематические схемы тепловых машин, которым соответствуют эти диаграммы. Объяснить, как осуществляется в машине превращение состояния рабочего газа, находящегося в цилиндре.

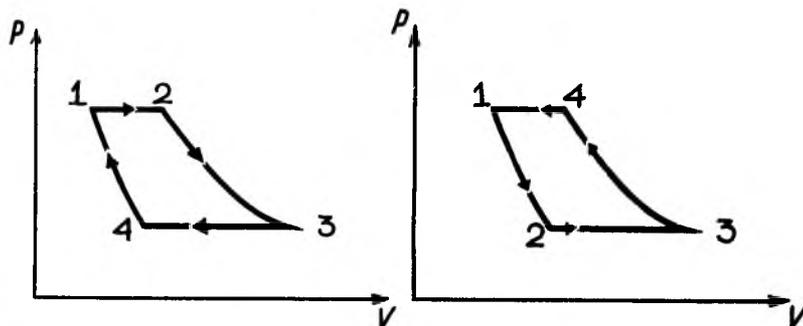


Рис. 55

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

2.54. Определение порядка величины диаметра молекул олеиновой кислоты.

Оборудование: 1) Раствор олеиновой кислоты в спирте (1 : 50 000), 2) бюретка, 3) лycopодий, 4) кристаллизатор, 5) стакан, 6) штатив с одной муфтой и одной лапкой.

Бюретка укрепляется в штативе и на 5—7 мл наполняется раствором олеиновой кислоты в спирте. Под бюретку ставится химический стакан. После этого поворотом крана можно отрегулировать вытекание раствора редкими каплями.

Кристаллизатор на 0,5 своего объема наполняется водой. Поверхность воды посыпается лycopодием.

Задание: а) Осторожно освободить бюретку из лапки штатива и, выбрав момент, капнуть одной каплей в середину поверхности воды, покрытой лycopодием. Объяснить наблюдаемое явление. б) Полагая, что пятно образовано мономолекулярным слоем олеиновой кислоты (спирт растворится в воде), определить диаметр молекул.

2.55. Определение молекулярного веса неизвестного газа.

Оборудование: 1) Прибор для получения газа или наполненный газовый баллон (на столе или у стола учителя), 2) весы с разновесом, 3) колба с пробкой, 4) вода, 5) мензурка.

Задание: а) Определить, газ тяжелее или легче воздуха. б) Определить молекулярный вес газа. в) Попытаться определить по молекулярному весу, каков исследуемый газ.

2.56. Конструирование газового термометра.

Оборудование: 1) Штатив с тремя муфтами и с тремя лапками, 2) колба, 3) стеклянная трубка длиной 30—40 см, 4) две резиновые трубки длиной 60 и 120 см, 5) большая стеклянная воронка, 6) химический стакан с теплой водой, 7) вода комнатной температуры, 8) машинное масло, 9) линейка метровая с сантиметровыми делениями, 10) термометр на 100° С.

З а д а н и е: а) Сконструировать газовый термометр. Для изоляции воздуха в колбе от насыщающих водяных паров на поверхность воды в трубке пустить каплю машинного масла. б) Проверить действие термометра, определив с его помощью температуру нагретой воды.

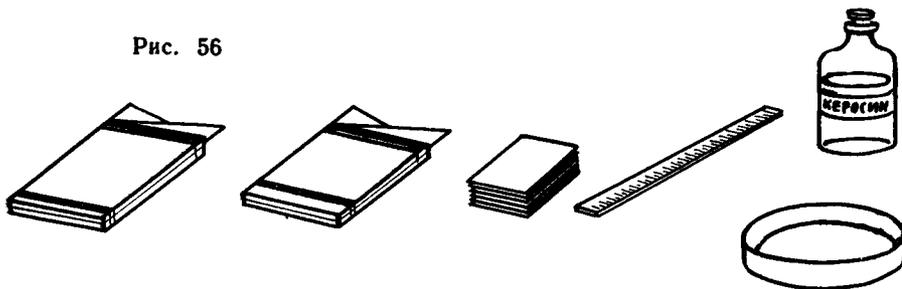
Сведения об атмосферном давлении и температуре воздуха получить от учителя или по показаниям приборов на классной приборной доске. в) Тотчас же по снятии показаний газового термометра измерить температуру воды при помощи ртутного термометра с тем, чтобы в дальнейшем убедиться в совпадении показаний обоих термометров.

2.57. Определение величины зазора между стеклянными пластинками.

О б о р у д о в а н и е: 1) Две пары стеклянных пластинок 4×10 см, между связанными концами которых проложены соответственно две и три полоски писчей бумаги; 2) стопка той же самой писчей бумаги толщиной 1,5—2 см, 3) масштабная линейка, 4) кристаллизатор или широкая стеклянная банка, 5) керосин. В кристаллизатор или в банку наливается керосин слоем толщиной 2—2,5 см (рис. 56).

З а д а н и е: а) Взять одну пару стеклянных пластин и ровным концом опустить в керосин. Объяснить наблюдаемое явление. б) Проверить сделанное предположение, сравнивая высоту подъема керосина между пластинами с зазором в толщину двух листов бумаги и трех листов бумаги. в) Получив, если нужно, дополнительные сведения о свойствах жидкости из справочника, определить толщину листа бумаги, заложенной между стеклянными пластинами. г) Правильность расчета проверить путем измерения толщины стопки бумаги и подсчета количества листов в этой стопке.

Рис. 56



ЗАДАНИЯ

2.58. Сконструировать механическую модель броуновского движения, используя в качестве моделей молекул мелкие стальные шарики или охотничью свинцовую дробь, а в качестве модели частицы, совершающей броуновское движение, — кусочек пробки.

2.59. Домашний опыт. Литровую стеклянную банку наполнить чистой кипяченой водой. Прodelать в ней несколько опытов.

а) Опустить в банку помидор, ягоду вишни или винограда. Наблюдать за объемом плодов. Что с ними произойдет через некоторое время? Объяснить наблюдаемое явление.

б) Взять морковь средней величины. Срезать ее верхушку. Срезанный конец обмотать изоляционной лентой, тесьмой или просто толстой ниткой. После этого высверлить в верхнем конце полость диаметром 1 см и глубиной 5—6 см. Наполнить полость концентрированным раствором сахара. Закрывать отверстие сверху пробкой, в которую вставлена стеклянная трубка длиной около 30 см так, чтобы в трубке был виден уровень раствора сахара. Затем следует взять кусок картона или фанеры, вырезать в нем круглое отверстие по толщине моркови, всадить в него морковь и накрыть этим куском банку так, чтобы почти вся морковь была погружена в воду (рис. 57). Наблюдать за уровнем сахарного раствора в трубке. Для этой цели удобно использовать резиновое колечко, которое следует надеть на то место, где был начальный уровень раствора. Отметки уровня следует делать каждый час в течение 4—5 ч.

в) Начертить график зависимости высоты уровня раствора в трубке от времени.

2.60. Сконструировать пневматические весы для взвешивания почтовых конвертов, используя манометр и резиновый воздушный шарик.

2.61. Сконструировать воздушный или биметаллический терморегулятор к электрическому нагревателю для школьного инкубатора или термостата.

Рис. 57



ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

ЗАДАЧИ

Электрические заряды и поле

3.1. В разных отраслях промышленности, в частности в текстильной, полиграфической, химической и других, приходится вести борьбу с электризацией материалов. Наэлектризованные материалы прилипают друг к другу и к окружающим предметам. Какие можно было бы предложить средства борьбы с электризацией?

3.2. Имеется металлический заряженный шарик на изолирующей ручке. Необходимо заряд шарика полностью передать электрометру с тем, чтобы измерить его. Как это сделать? Прodelать соответствующий опыт.

3.3. Опыт. Шарик из металлической фольги на шелковой нити прикоснулся к наэлектризованной палочке и отклонился от нее на 4 см. Что нужно сделать, чтобы расстояние между палочкой и шариком уменьшилось в два раза.

3.4. На режим работы радиоламп в сильной степени могут влиять электрические поля. Как защитить радиолампу от влияния посторонних электрических полей?

3.5. Опыт. Два электрометра, один с большим шаровым кондуктором, а другой с малым, заряжаются одним и тем же шариком на изолированной ручке от высоковольтного выпрямителя. Наблюдать за отклонением стрелок электрометров и объяснить наблюдаемое явление.

3.6. Как, располагая только весами и двумя металлическими пластинками известной площади, измерить разность потенциалов на зажимах источника постоянного напряжения?

3.7. Опыт. Конденсатор переменной емкости заряжается от высоковольтного выпрямителя. Как будет изменяться показание соединенного с ним электрометра: а) при уменьшении емкости, б) при увеличении емкости?

3.8. Опыт. К источнику постоянного напряжения присоединяются последовательно конденсатор с раздвижными пластинами и гальванометр (рис. 58). Перечислить все возможные случаи, когда стрелка гальванометра будет отклоняться и в какую сторону.

3.9. Опыт. Неоновая лампа может быть зажжена от выпрямителя и от заряженной конденсаторной батареи при той же разности потенциалов. В чем разница наблюдаемых явлений? Объяснить и проверить на опыте.

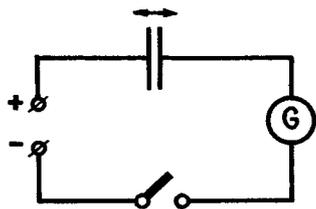


Рис. 58

**Электрический ток
в металлах.
Законы постоянного тока**

3.10. Придумать механическую модель опыта Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси, доказывающего электронную природу проводимости металлов (рис. 59: 1 — обмотка; 2 — контактное кольцо; 3 — щетки).

3.11. Придумать схему опыта, показывающего электронную природу тока в металле, аналогично опыту Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси, но используя не вращающуюся катушку, а вращающийся металлический диск. Рассчитать параметры устройства, имея в виду, что в распоряжении экспериментаторов имеется гальванометр чувствительностью 10^{-8} в.

3.12. В проводнике длиной l требуется создать электрическое поле, напряженность которого показана на графике (рис. 60). Как это сделать?

3.13. В длинном коридоре к одной лампе требуется сделать два выключателя так, чтобы, находясь в любом конце коридора, лампочку можно было включить и выключить. Как это сделать?

3.14. Почему при определении сопротивления проводника с помощью амперметра и вольтметра (рис. 61) берут тем более высокоомный вольтметр, чем большая точность требуется от результата измерения?

3.15. При определении сопротивления проводника с помощью амперметра и вольтметра (рис. 61) возникает погрешность, связанная с тем, что вольтметр является шунтом по отношению к измеряемому сопротивлению. Эту погрешность можно избежать, если известно сопротивление вольтметра. Как это сделать?

3.16. Измерение сопротивления с помощью амперметра и вольтметра (рис. 61) приводит к погрешности, которую можно определить или избежать в том случае, когда известно сопротивление вольтметра. Однако есть остроумный способ¹ исключения погрешности, связанной с сопротивлением вольтметра, когда последнее

¹ Я. Ковалинский, Измерение сопротивлений вольтметром и амперметром, «Политехническое обучение», 1958, № 12.

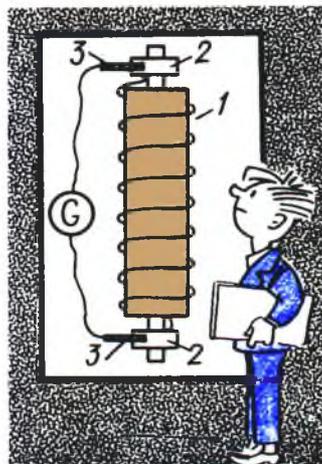


Рис. 59

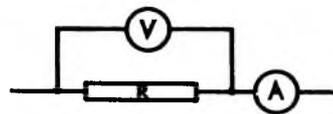


Рис. 61

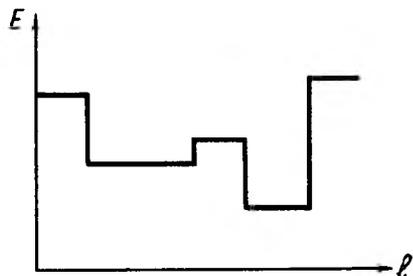


Рис. 60

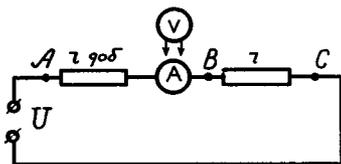


Рис. 62

неизвестно. Для этого собирается электрическая цепь по схеме (рис. 62). Последовательно с измеряемым сопротивлением r соединяется добавочное сопротивление $r_{доб}$ (приблизительно такой же величины, как и измеряемое). Показание амперметра снимается тогда, когда вольтметр подключен к точкам AB . Показание вольтметра снимается тогда, когда он подключен к точкам BC . При этом искомое сопротивление $r = \frac{U}{i}$.

Доказать, что сила тока в проводнике r при подключении вольтметра к точкам BC равна силе тока, которую показывает амперметр, при подключении вольтметра к точкам AB .

3.17. Опыт. Имеется лампочка от карманного фонарика ($3,5$ в; $0,28$ а) и реостат со скользящим контактом на 5000 ом. Требуется включить лампочку в осветительную сеть (127 в), определив заранее положение скользящего контакта на реостате. Начертить схему, сделать расчет и проверить решение экспериментально.

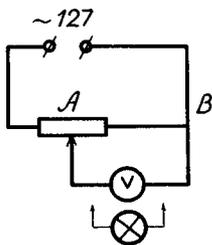


Рис. 63

3.18. Опыт. Реостат со скользящим контактом сопротивлением 5000 ом включен в осветительную сеть (127 в) как потенциометр. К его ползунку подсоединен вольтметр (рис. 63), который показывает $3,5$ в.

Задача: а) Присоединить к зажимам потенциометра лампочку от карманного фонаря. Объяснить наблюдаемое явление. б) Проверить высказанное предположение, снова подключить вольтметр параллельно лампочке. Добиться нормального горения лампочки.

3.19. Опыт. Голый провод AB длиной 1 м, сопротивлением 6 ом подключается последовательно с реостатом к батарее аккумуляторов. В проводе устанавливается ток 1 а (рис. 64). Требуется подключить параллельно к проводу лампочку от карманного фонаря ($3,5$ в; $0,28$ а). Начертить схему, сделать расчет, решение проверить экспериментально.

3.20. Опыт. К анодной батарее гальванических элементов подключается сначала сетевая лампа на 127 в; 25 вт, а затем автомобильная лампа на 6 в; 20 вт. Объяснить наблюдаемое явление.

3.21. Один из проводов двужильного кабеля соединился с землей. Длина кабеля несколько километров, и проложен он под землей. Как наиболее простым способом определить место повреждения кабеля?

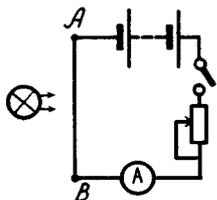


Рис. 64

3.22. Как вольтметр можно переделать в омметр? Начертить схему. Решение математически обосновать. Определить цену деления омметра.

3.23. О п ы т. Имеются приборы: 1) батарея аккумуляторов, 2) магазин сопротивлений, 3) неизвестное сопротивление, 4) лампочка от карманного фонаря, 5) реохорд.

З а д а н и е. Определить величину неизвестного сопротивления. Начертить схему цепи, проделать эксперимент и по данным эксперимента сделать вычисления.

3.24. Используя зависимость сопротивления металлического проводника от температуры, сконструировать прибор для определения скорости ветра — анемометр. Начертить схему электрической цепи и объяснить принцип действия прибора.

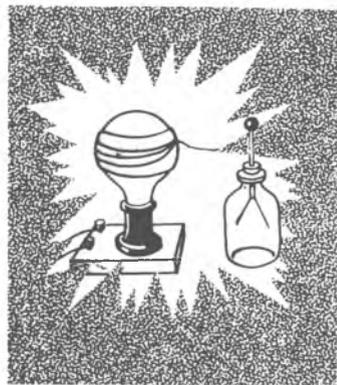


Рис. 65

Электронные явления в вакууме

3.25. Электрическая лампа, включенная в сеть через реостат, устанавливается на оптической скамье проекционного аппарата. Проекционный аппарат наводится так, что нить лампочки отчетливо видна на экране.

З а д а н и е. Наэлектризовать стеклянную палочку положительно и поднести ее к баллону лампы. Сравнить действие наэлектризованной палочки на нить накала в трех случаях: а) нить слабо накалена, б) средне накалена и в) сильно накалена. Объяснить наблюдаемое явление.

3.26. О п ы т. Обернуть баллон электрической лампы станиоловой лентой (от конденсатора или от шоколадной обертки) и замотать сверху эту ленту тонкой зачищенной медной проволокой. Свободный конец проволоки присоединить к электроскопу. Последовательно с лампой соединить реостат с тем, чтобы при включении лампа горела с недокалом (рис. 65).

З а д а н и е: а) Зарядить электроскоп положительно и включить лампу. б) Зарядить электроскоп отрицательно и включить лампу. в) Продолжая опыт (б), передвинуть ползунок реостата и заставить гореть лампу полным накалом. Объяснить все три наблюдаемых явления.

3.27. О п ы т. Лампа — диод на демонстрационной панели — включается в цепи батареи накала и анодной батареи (рис. 66). Для регистрации анодного тока служит гальванометр. При замыкании обоих ключей стрелка гальванометра отклоняется, двухэлектродная лампа — проводник.

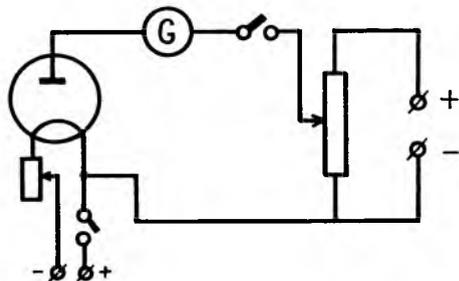


Рис. 66

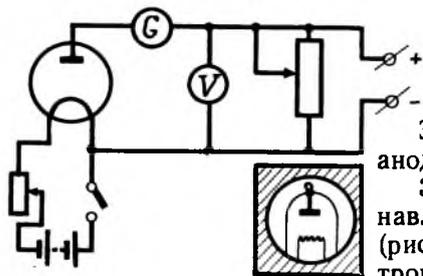


Рис. 67

З а д а н и е. Разомкнуть обе цепи и тут же замкнуть анодную цепь. Объяснить наблюдаемое явление.

3.28. О п ы т. Демонстрационная лампа — диод—устанавливается на оптической скамье проекционного аппарата (рис. 67). Источником питания для лампы является кенотронный выпрямитель. В цепь накала включается реостат на 10—15 ом, в цепь анода — демонстрационный гальванометр. Подаваемое анодное напряжение регулируется с помощью потенциометра.

Сначала замыкается цепь накала. Проекционный аппарат наводится так, чтобы на экране было видно резкое изображение нити накала.

З а д а н и е. Замкнуть анодную цепь и следить за яркостью нити накала. Объяснить наблюдаемое явление.

3.29. Составить принципиальную схему усилителя звука, имея в виду использовать следующие детали: ламповый триод, электродинамический микрофон, кенотронный выпрямитель для питания лампы и громкоговоритель с выходным трансформатором.

3.30. Для того чтобы получить частые повторения одного и того же процесса, используют так называемое пилообразное напряжение, график которого показан на рисунке 68. Используя конденсатор и неоновую лампу, разряд внутри которой происходит при определенной разности потенциалов на электродах, сконструировать генератор пилообразного напряжения.

3.31. На рисунке 69 изображена схема установки, позволяющей проводить ряд интересных опытов по механике. По желобу скатывается стальной шар. В определенных точках он замыкает контакты и на экране осциллографа электронный луч выписывает всплески. По расстоянию между всплесками можно, например, определить время, за которое шарик прошел расстояние между контактами.

Описать механизм возникновения всплесков. Какому требованию должен удовлетворять генератор развертки (генератор пилообразного напряжения)? См. задачу 3.30.

3.32. О п ы т. На рисунке 70 изображена схема опыта с электронным осциллографом. Микрофон ставится перед звучащим камертоном и на экране осциллографа появляется синусоида — график колебаний камертона. При каком условии возникает такая картина на экране осциллографа?

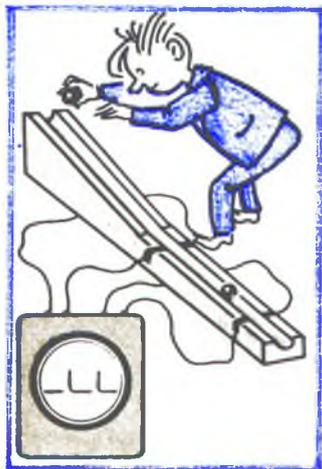


Рис. 69

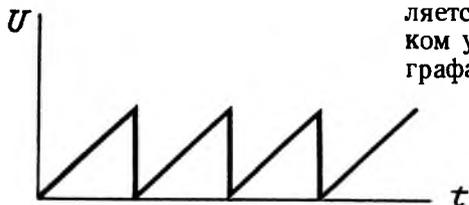


Рис. 68

3.33. Как видно из опытов, описанных в задачах 3.31 и 3.32, частота пилообразного напряжения должна меняться применительно к каждому опыту.

Сконструировать генератор (начертить схему) пилообразного напряжения с регулируемой частотой импульсов. В основу конструкции положить конденсатор и неоновую лампу, в которой происходит разряд (лампа становится проводником) при определенном напряжении.

3.34. Опыт. При сложении гармонических колебаний, которые происходят в двух взаимно перпендикулярных направлениях, колеблющаяся точка совершает сложное движение, описывая так называемые фигуры Лиссажу (рис. 71). Как получить на экране электронного осциллографа фигуры Лиссажу от звучащего камертона?

3.35. На рисунке 72 изображена схема электронно-лучевой трубки. Электроны, испускаемые накаленной нитью AB , ускоряются в промежутке AC и дальше пролетают между пластинами конденсатора DE , на которые может быть подана определенная разность потенциалов. Разработать теорию эксперимента, который бы позволил определить отношение заряда электрона к его массе $\frac{e}{m}$. Составить схему соединения электродов с источниками напряжений и вывести расчетные формулы (считая, что скорость движения электронов в трубке определена заранее).

Электрический ток в газах

3.36. На графике (рис. 73) изображена вольтамперная характеристика тока. Назвать процессы, которые могут быть описаны этой характеристикой. Начертить схемы электрических цепей, которые дают возможность проверить эту зависимость. Указать, от каких причин в каждом случае будет зависеть ток насыщения I_n .

3.37. В результате радиоактивного излучения образуются элементарные частицы, обладающие высокой энергией и способные ионизировать газы. Сконструировать

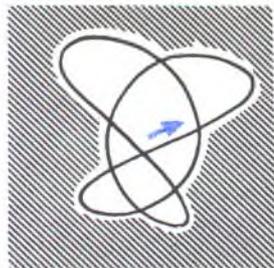


Рис. 71

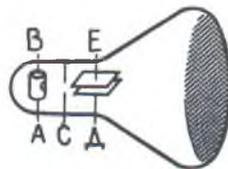


Рис. 72

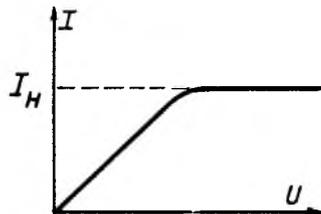


Рис. 73

Рис. 70



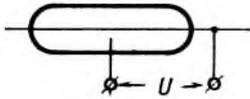


Рис. 74

прибор (датчик), который бы реагировал на ионизирующие частицы.

3.38. Элементарные частицы, проходя через газ, образуют на своем пути ионы, которые могут участвовать в проводимости газа. Однако число образовавшихся пар ионов бывает невелико и ток между электродами, находящимися в газе под напряжением, бывает мал и длится короткое время. Каким образом можно увеличить разрядный импульс? (См. также задачу 3.37.)

3.39. При высокой разности потенциалов между электродами ионизирующая частица может быть причиной возникновения самостоятельной проводимости в газе. Объяснить, почему это возможно.

3.40. Герметически замкнутый резервуар с двумя электродами, наполненный каким-либо газом или смесью газов, используется в качестве датчика импульсов в счетчиках ионизирующих частиц (рис. 74). Высокое напряжение между электродами обеспечивает усиление импульса за счет того, что образующиеся при ионизации электроды становятся сами источниками ионизации. Однако при этом легко может возникнуть самостоятельная проводимость газа, и тогда в датчике вместо отдельных импульсов возникнет непрерывный ток. Как защитить датчик от этого тока?

3.41. Неоновые лампы характеризуются определенной разностью потенциалов зажигания. Какими способами можно изменить эту разность потенциалов при конструировании лампы? Объяснить.

3.42. Двухэлектродная лампа, по схеме своего устройства сходная с диодом, но отличающаяся тем, что внутри нее заключен газ (чаще всего пары ртути) при низком давлении, называется газотроном. Во время работы в газотроне происходит дуговой разряд. Газотрон используется в технике как выпрямитель (рис. 75).

а) Объяснить, какой цели в этом приборе служит накальный катод.

б) Почему газотрон нельзя включать в цепь до тех пор, пока катод не разогреет?

в) Почему газотрон нельзя включать в цепь без специального нагрузочного сопротивления?



Рис. 75

Элементы автоматики на основе применения электронных приборов

3.43. В электрических автоматических устройствах изменение контролируемой неэлектрической величины преобразуется в изменение некоторой электрической величины. Соответствующие преобразующие устройства называются датчиками. Назвать возможные датчики следующих неэлектрических величин: 1) температуры, 2) давления, 3) освещенности.

3.44. Датчики обычно дают сигналы малой мощности (дают малую разность потенциалов). Составить электрическую схему усилителя сигналов, например, от датчика освещенности.

3.45. Нередко в автоматике бывает необходимо, чтобы система срабатывала через некоторое время после подачи сигнала. Для достижения этой цели используются устройства замедления, например, такие, как на схеме рисунка 76. Объяснить, как действуют эти устройства.

3.46. Опы т. Используя термосопротивление, реле (РП-5) и источник напряжения, сконструировать термореле. При нагревании датчика должна зажигаться сигнальная лампа.

3.47. Опы т. Используя термосопротивление, придумать устройство (реле времени), позволяющее включить электрическую лампу через определенный промежуток времени после подачи сигнала. Начертить схему устройства.

3.48. Опы т. Сконструировать простейшее фотореле из фотосопротивления ФС-К1, поляризованного реле РП-5 и источника напряжения. При освещении реле должно включать электрический звонок. (Начертить схему электрической цепи, а затем собрать цепь по схеме.)

Магнитное поле. Электромагнитная индукция

3.49. Опы т. Легкое стальное колесико надето на вертикальную ось. На близком расстоянии от края колесика установлен постоянный магнит. В наиболее близком месте от одного из полюсов магнита стальной обод нагревается от спиртовки или газовой горелки (рис. 77). Объяснить наблюдаемое явление.

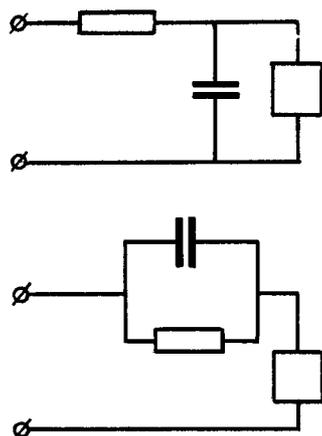


Рис. 76

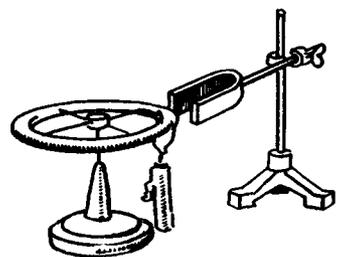


Рис. 77

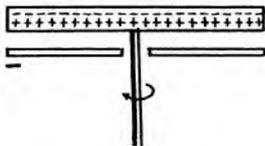


Рис. 78

3.50. Медный диск вращается с большой скоростью между пластинами заряженного конденсатора (рис. 78). Как убедиться на опыте в том, что индуцированные на поверхности диска электрические заряды, увлекаемые диском при вращении, образуют магнитное поле?

3.51. Опыты. Катушка от разборного трансформатора соединена с гальванометром. Рядом с этой катушкой расположена другая — подключенная к источнику постоянного напряжения.

Как вызвать отклонение стрелки гальванометра, не меняя тока в цепи второй катушки и не перемещая катушки относительно друг друга? Сделанное предположение проверить экспериментально.

3.52. Сконструировать (начертить схему) магнитный дефектоскоп — прибор для проверки однородности стальных стержней.

3.53. Как можно заставить вращаться металлический диск в поле постоянного магнита, пропуская через диск постоянный ток?

3.54. Опыты. Медный поплавок в виде круглой чашечки с цинковым стерженьком посередине (рис. 79) опускается в электролит (серная кислота). Банка с электролитом вносится в магнитное поле. При этом поплавок начинает вращаться. Объяснить наблюдаемое явление. Проверить высказанное предположение на опыте.

3.55. Опыты. На сердечник разборного трансформатора надевается катушка. При этом часть сердечника, находящегося внутри катушки, удлиняется. На сердечник надевается алюминиевое или медное кольцо. Катушка включается на некоторое время в цепь постоянного тока, а затем в цепь переменного тока. Какая разница в явлениях наблюдается? Почему?

3.56. Циклотрон (рис. 80), прибор для ускорения элементарных заряженных частиц, представляет собой низкую круглую коробку, разрезанную по диаметру на две половины — дуанты. Дуанты помещаются в вакуум между наконечником сильного электромагнита. Магнитное поле однородно. Между дуантами существует электрическое поле, которое через некоторые промежутки времени меняет свое направление. Объяснить, каким образом происходит ускорение элементарных частиц. Объяснить, от чего зависит форма кривой, по которой движется ускоряемая частица.

Рис. 80

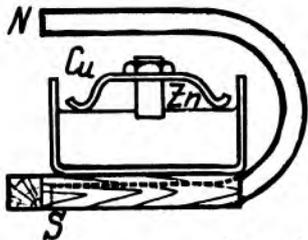
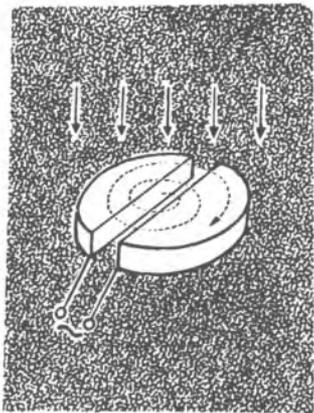


Рис. 79



3.57. Придумать конструкцию механической модели циклотрона, используя в качестве заряженной частицы металлический шарик. Сделать эскиз модели и объяснить принцип ее действия (см. также задачу 3.56).

3.58. Один конец пружины закреплен в лапке штатива, а другой опущен в ртуть или электролит. К концам пружины подводится напряжение. При этом пружина начинает периодически сокращаться, выдергивая свой конец из ртути, и разжиматься, погружая свой конец обратно в ртуть. Объяснить это явление. От чего будет зависеть период колебания такого маятника?

3.59. Опы т. На рисунке 81 изображен разрез телефона. Два таких телефона и батарея аккумуляторов включаются в цепь последовательно. Далее эти телефоны используются для связи между двумя учащимися, один из которых — в классе, а другой — в коридоре. При этом любой из телефонов работает и как телефон и как микрофон. Объяснить, как действует система микрофон—телефон.

3.60. В кибернетике существуют три элементарные логические схемы, сочетание которых используется в разнообразных сложных логических устройствах: «нет», «или», «и» (рис. 82).

Схема «нет» имеет один вход и один выход. Когда на вход подается сигнал в виде электрического импульса, то на выходе сигнал отсутствует. Наоборот, отсутствие сигнала на входе связано с появлением сигнала на выходе.

Схема «или» имеет два входа и дает на выходе сигнал при наличии сигнала хотя бы на одном из входов.

Схема «и» имеет два входа и один выход. Сигнал на выходе появляется лишь при условии одновременного возникновения сигналов на обоих входах.

З а д а н и е: Осуществить элементарные логические схемы, используя электромагнитные реле. Начертить схемы соединений и объяснить

3.61. Электронно-световой индикатор представляет собой нагретый катод, который расположен посередине металлической чаши в виде конуса,



Рис. 81

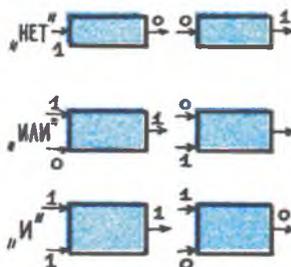


Рис. 82



Рис. 83



которая является анодом. Поверхность чаши покрыта флуоресцирующим веществом. Вследствие того что на пути электронов имеются два экрана, поверхность чаши делится на четыре сектора: два темных и два светящихся (рис. 83). Если индикатор поместить в однородное магнитное поле, направленное вдоль его оси, то сектора искривляются. Почему это происходит? Как определить отношение заряда электрона к его массе, зная анодное напряжение, а также индукцию магнитного поля?

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

3.62. Изучение взаимодействия электрических зарядов.

Оборудование: 1) тонкая шелковая или нейлоновая нить; 2) листочки станиоля; 3) металлический шарик диаметром 2 см на изолирующей ручке; 4) штатив; 5) электрическая лампа на подставке; 6) две стеклянные или эбонитовые палочки; 7) мех, шерсть или шелк для электризации; 8) изолирующая подставка для станиолевого шарика; 9) широкая, желателно прозрачная, линейка с сантиметровыми делениями ($l \sim 40$ см) на подставке, удерживаемой линейку на ребре.

На металлическом шарике как на болванке выгибаются два полых шарика из станиоля (рис. 84). Один из них за горловину привязывается к середине тонкой нити длиной около 80 см. Концы нити привязываются к изолирующей палочке, зажатой в штативе. Таким образом, шарик оказывается на бифилярном подвесе.

Другой шарик надевается на изолирующую подставку и привязывается к ней нитью. Затем подвешенный шарик, линейка и лампа устанавливаются на столе так, чтобы волосок лампы, шарик и середина линейки находились на одной линии. При этом если включить лампу, то тень от шарика падает на линейку. Расстояния линейки и лампы от шарика должны быть соответственно около 20 и 80 см (рис. 85).

Если наэлектризовать шарики одноименно, то они будут отталкиваться, если наэлектризовать разноименно, то они будут притягиваться. По величине отклонения шарика от положения равновесия можно судить о силе взаимодействия зарядов. Заряд шарика можно уменьшить в два раза, прикоснувшись к нему незаряженным шариком одинаковой величины.

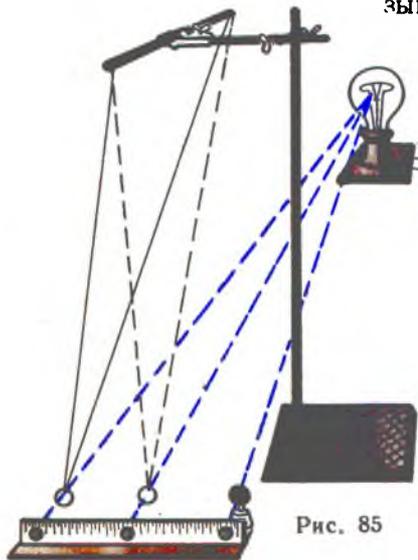


Рис. 85

З а д а н и е : Постепенно приближая шарик на подставке к шарiku на подвесе, сделать необходимые измерения для установления зависимости между: а) расстоянием и силой взаимодействия, б) величиной заряда и силой взаимодействия. В каждом опыте получить не менее шести пар величин и по ним построить графики.

3.63. Построение эквипотенциальных и силовых линий электрического поля.

Оборудование: 1) Селеновый выпрямитель, 2) авометр, 3) провода, 4) планшет с прижимами для бумаги, 5) два листа писчей бумаги с сантиметровой сеткой 300×200 мм, 6) цилиндрическое кольцо диаметром 50—60 мм, 7) полоска станиоля длиной 150 мм, 8) химический карандаш.

Лист бумаги смачивается водой. На его узкие края накладывают полоски станиоля. После этого бумага укладывается на планшетке так, чтобы полоски станиоля были хорошо прижаты зажимами. Затем к полоскам станиоля прижимаются два проводника. Эти проводники подключаются к клеммам селенового выпрямителя на 120 в. После этого выпрямитель включается в сеть. Смоченная бумага оказывается в стационарном электрическом поле. В этом можно убедиться, прикоснувшись концами проводников, соединенных с миллиамперметром. Стрелка миллиамперметра дает определенное показание в зависимости от разности потенциалов точек, к которым прикасаются проводники (рис. 86).

З а д а н и е : а) Найти эквипотенциальные линии (примерно десять) и силовые линии (примерно десять). Объяснить разницу в строении поля в центре и по краям листа. б) Заменить лист бумаги. Плотнo прижать металлическое кольцо в каком-нибудь месте между электродами. Найти эквипотенциальные и силовые линии поля. Объяснить разницу в строении полей в первом и во втором случае.

3.64. Исследование вольтамперной характеристики осветительной лампы накаливания.

Оборудование: 1) Лампа осветительная (~ 75 вт), 2) реостат (10 000 ом; 0,1 а), 3) авометр (2 шт.), 4) провода.

Электрическая цепь собирается по схеме (рис. 87). Один авометр включается как миллиамперметр, а другой как



Рис. 86

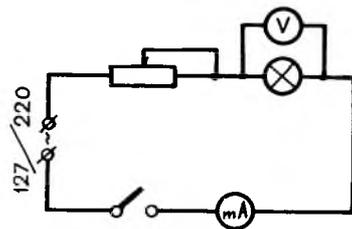


Рис. 87

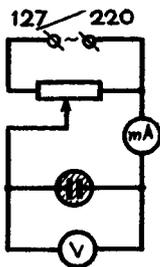


Рис. 88

вольтметр. С помощью реостата меняется напряжение на лампе. При этом снимаются показания приборов (сначала через каждые 2 в до 30 в, а потом через каждые 10 в до 127 или 200 в, в зависимости от номинального напряжения лампы). Полученные данные заносятся в таблицу и по ним строится график.

З а д а н и е: Объяснить ход вольтамперной характеристики. Соображения подкрепить математическими расчетами.

3.65. Исследование вольтамперной характеристики неоновой лампы.

О б о р у д о в а н и е: 1) Неоновая лампа ТН30-127 (220), 2) авометр (2 шт.), 3) реостат 10 000 ом; 0,1 а, 4) провода.

Электрическая цепь собирается по схеме (рис. 88). Один авометр включается как миллиамперметр, а другой как вольтметр. С помощью потенциометра меняется напряжение на лампе. При этом снимаются показания приборов (до момента зажигания через каждые 4 в и далее приблизительно через каждые 10 в). Полученные данные заносятся в таблицу и по ним строится график.

З а д а н и е: Объяснить ход кривой. Почему нельзя повышать напряжение выше номинального, ведь в неоновой лампе нет волоска, который бы мог перегореть?

3.66. Определение магнитной индукции поля внутри соленоида.

О б о р у д о в а н и е: 1) Катушка длиной 10 см, с числом витков 1200, рассчитанная на ток ~ 1 а; 2) два амперметра постоянного тока со шкалой на 3+5 а; 3) три аккумуляторные батареи; 4) реостат (~ 5 ом, 2 а); 5) токовые весы (рис. 89); 6) провода; 7) два однополюсных рубильника; 8) разновески.

З а д а н и е: Определить магнитную индукцию внутри соленоида по взаимодействию проводника с током и поля соленоида. Составить схему электрических цепей. Собрать электрические цепи. Сделать необходимые измерения и расчеты. Проверить найденную величину магнитной индукции, сравнив ее с расчетной (по числу ампер-витков).

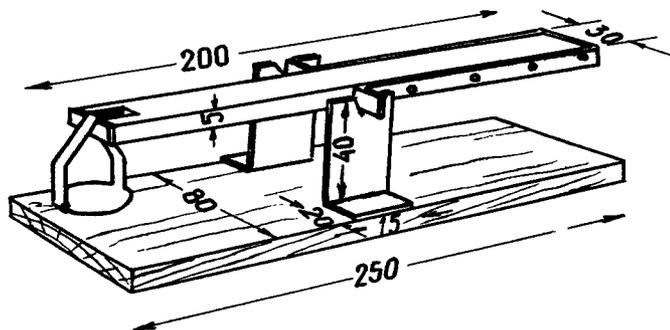


Рис. 89

ОТВЕТЫ И РЕШЕНИЯ

(возможные варианты)

1.1. В системе отсчета, связанной с осью вращения детали, «неподвижный» резец движется по окружности. Если же задать резцу равномерное поступательное движение вдоль оси детали, то в системе отсчета, связанной с вращающейся деталью, конец резца будет описывать винтовую линию (рис. 90). Задавая различные скорости вращательного движения детали и поступательного движения резца, можно делать винты с различным шагом.

1.2. Если рассматривать в отдельности перемещения груза относительно каретки, движение каретки относительно моста и движение моста относительно цеха, то все они будут прямолинейными.

Если же рассматривать движение груза в системе отсчета, связанной с цехом, то оно будет результатом сложения движений и не обязательно будет прямолинейным и параллельным стенам цеха.

1.3. В одной системе отсчета материальная точка движется прямолинейно, и первый наблюдатель, находящийся в той же системе отсчета, констатирует этот факт. Но эта первая система отсчета сама совершает вращательное движение относительно второй системы. В результате наблюдатель, находящийся во второй системе отсчета, видит движение материальной точки по плоской спирали.

Если каким-либо способом конец линейки укрепить на оси в середине листа (например, деревянную линейку можно проколоть иголкой, рис. 91), то при вращении линейки вокруг оси каждая ее точка будет описывать окружность. Если теперь одновременно равномерно вращать линейку и перемещать вдоль нее острие карандаша, то на листе бумаги будет вычерчиваться спираль.

1.4. Для преобразования движения по окружности в прямолинейное нужно выбрать другую систему отсчета. Для этого достаточно, чтобы центр кругового движения перемещался параллельно касательной к окружности со скоростью, равной линейной скорости кругового движения.

Например, точка касания катящегося по прямой диска в системе отсчета «диск» совершает круговое движение, а в системе отсчета, связанной с плоскостью, по которой катится диск, — прямолинейное.

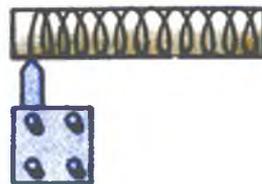


Рис. 90

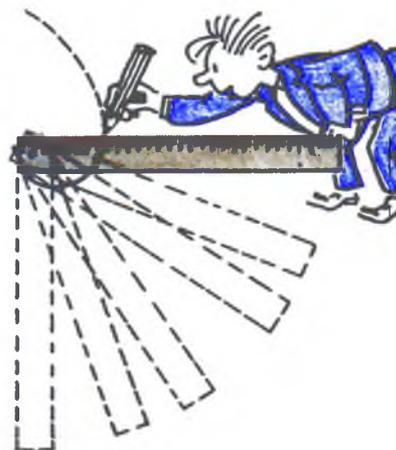


Рис. 91

1.5. Решение задачи сводится к выбору другой системы отсчета, относительно которой первая система совершает необходимое дополнительное движение.

Например, следует разрезать на три четверти лист бумаги. В прорезь поставить ножку циркуля и одновременно вытягивать лист и вращать циркуль. Тогда карандаш циркуля опишет одну из заданных траекторий, в зависимости от соотношения угловой скорости циркуля и линейной скорости листа бумаги.

1.6. Круговое движение кисточки относительно тележки складывается с поступательным движением самой тележки. В результате кисточка описывает цилиндрическую спираль (рис. 92), часть которой и наносится на экран.

1.7. Достаточно кисточку на тележке закрепить неподвижно, а барабану придать равномерное вращательное движение. Наилучшим соотношением скоростей движения тележки и вращения барабана будет такое, когда за время движения тележки по горизонтали барабан будет делать один оборот. На листе бумаги, натянутом на барабан, при движении тележки будет автоматически вычерчиваться график ее пути.

1.8. Эту задачу можно решить аналогично предыдущей задаче, с той лишь разницей, что вращающийся барабан должен быть установлен вертикально так, чтобы кисточка, укрепленная на падающем шарике (вдоль вертикальной проволоки), все время касалась цилиндра по его образующей.

За время падения тела цилиндр должен совершить ровно один оборот (не более). Поэтому число оборотов в секунду моторчика, на вал которого насажен цилиндр, может быть вычислено по формуле:

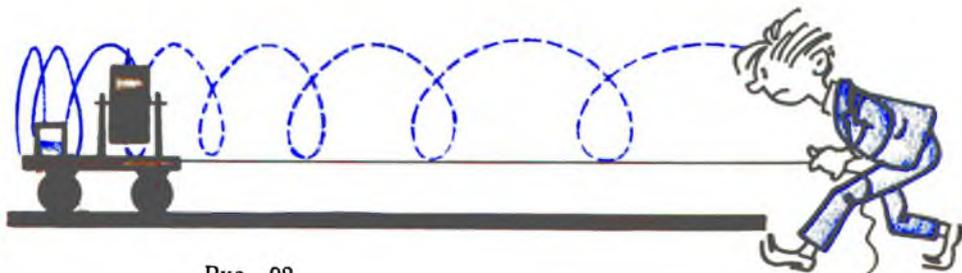
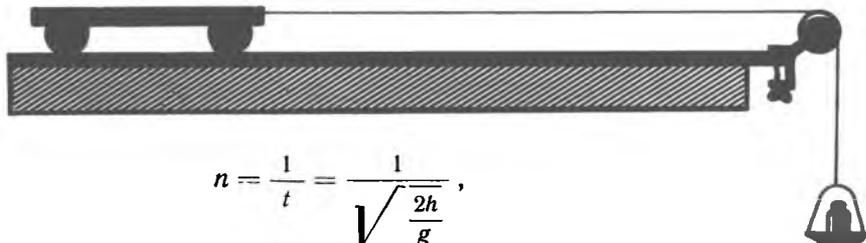


Рис. 92



$$n = \frac{1}{t} = \frac{1}{\sqrt{\frac{2h}{g}}}$$

где h — высота падения.

1.9. По углу отклонения груза от вертикали можно судить лишь об ускорении корабля, т. е. об изменении скорости. Скорость же равномерного прямолинейного движения таким способом определить нельзя, отвес при этом не отклонится от вертикали.

1.10. Наиболее простое конструктивное решение задачи схематически представлено на рисунке 93. Равномерное движение тележки будет в случае равенства силы трения и силы тяжести груза. Ускорение при равноускоренном движении может быть рассчитано по формуле $a = \frac{mg - F_{mp}}{M + m}$,

где M — масса тележки, m — масса груза, F_{mp} — сила трения (при условии, что моменты инерции колес и блока ничтожно малы).

1.11. Наиболее простой вариант решения задачи показан на рисунке 94. Сообщающий ускорение системе груз состоит из двух частей. После того как заданная скорость достигнута, часть груза ложится на кольцо K и освобождает нить. Вес оставшегося на нити груза равен силе трения. Расстояние, которое проходит груз до кольца, может быть определено по формуле $h = \frac{v^2}{2a}$, где v — заданная скорость, a — ускорение системы (см. решение задачи 1.10).

1.12. Оттолкнувшись от берега, следует определить начальную скорость движения лодки. Для этого достаточно определить расстояние, которое пройдет лодка за первую секунду. Зная массу лодки, можно определить ее начальный импульс mv . Подсчитав время, в течение которого лодка движется после толчка до остановки, можно определить силу сопротивления

$$F = \frac{mv}{t}$$

Возможен, например, следующий вариант:

Рис. 93

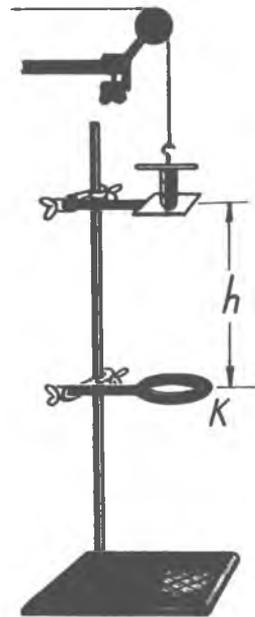


Рис. 94

$$\begin{array}{l|l}
 m = 150 \text{ кг} & \\
 v = 0,8 \text{ м/сек} & F = \frac{150 \cdot 0,8}{6,0} = 20 \text{ (н)}. \\
 t = 6,0 \text{ сек} & \\
 \hline
 F - ? &
 \end{array}$$

1.13. Необходимо заботиться о том, чтобы были наименьшими масса ракеты и сопротивление воздуха при полете.

1.14. По третьему закону Ньютона величина импульса, сообщенного снаряду, равна величине импульса, сообщенного ружью: $m_1 v_1 = m_2 v_2$, т. е. начальные скорости ружья и снаряда обратно пропорциональны массам. Следовательно, при чрезмерно большой массе снаряда легкое ружье будет обладать большой отдачей при выстреле. Это может ухудшить меткость стрельбы.

1.15. Хотя давление пороховых газов в канале ствола пушки превосходит давление газов реактивного двигателя, ракета при запуске получает больший импульс за счет более продолжительного времени действия двигателя. Артиллерийский же снаряд, получив начальную скорость порядка 10 км/сек, теряет ее из-за сопротивления воздуха.

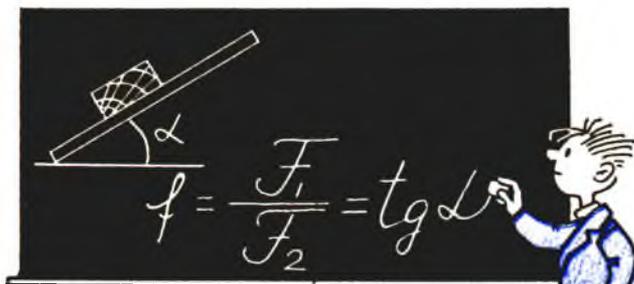
1.16. Может быть несколько способов определения скорости дробины: можно непосредственно измерить время полета дробины и пройденное расстояние, можно измерить дальность полета при горизонтальном выстреле на некоторой высоте h от пола, можно измерить дальность полета при выстреле под углом 45° . Все эти экспериментальные данные позволят вычислить скорость дробины. Однако в данном месте изучения курса физики наиболее целесообразно рассмотреть способ определения скорости на основе сохранения импульса при неупругом ударе.

Скорость дробины можно определить с помощью баллистического маятника. Маятник представляет собой пластилиновый шар на двойном подвесе. При центральном соударении шар получает скорость, которую можно найти по данным эксперимента $v_2 = \sqrt{2gl(1 - \cos \alpha)}$. С другой стороны, для неупругого удара справедливо уравнение:

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2) v_2, \text{ или } v_1 = \frac{m_1 + m_2}{m_1} v_2,$$

где v_1 — начальная скорость дробины, m_1 — масса дробины, m_2 — масса шара, v_2 — скорость шара после неупругого соударения с дробиной.

Рис. 95



1.17. Надо подвесить пистолет так же, как баллистический маятник (см. задачу 1.16), проделать эксперимент и рассчитать скорость по формуле $v = \sqrt{2gl(1 - \cos \alpha)}$, а затем можно определить скорость дробины $v_1 = \frac{m_2 v}{m_1}$. Эта задача может иметь еще несколько решений.

1.18. Выстрел из обычного ружья основан на взаимодействии ружья и снаряда. При этом они получают противоположно направленные импульсы равной величины. Полет ракеты возможен также в результате взаимодействия, но взаимодействуют здесь ракета и отбрасываемая назад масса газа. Поскольку ружье представляет собой сквозную трубу, то при выстреле отдачи не будет.

1.19. Схема эксперимента показана на рисунке 95. Конец доски трибометра плавно поднимается до тех пор, пока брусок не начнет равномерно скользить вниз.

1.20. Схема установки представлена на рисунке 96. Наклонная плоскость в нижней точке закрепляется на шарнире. Под нужным углом плоскость устанавливается, опираясь на нормально расположенный штырь динамометра. Затем шкала динамометра устанавливается на 0. После этого можно проводить эксперимент.

1.21. Потому что нить проскальзывает в точке B . Неподвижный блок не дает выигрыша в силе. Для того чтобы можно было применять правило параллелограмма, необходимо, чтобы соединения кронштейна были бы шарнир-

Рис. 96



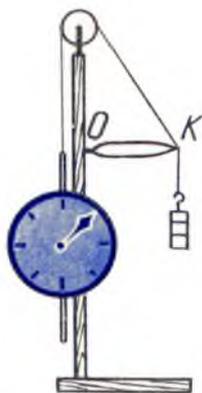


Рис. 97

ными и чтобы не было проскальзывания нити, служащей соединением кронштейна. По этой причине к кронштейну (рис. 29, б) правило параллелограмма так же, как и для случая (рис. 29, а), неприменимо. В этих случаях силы вызывают не только деформации растяжения и сжатия стержней, но и деформацию изгиба.

1.22. Схема для проведения эксперимента представлена на рисунке 97. На шнуре в точке K необходимо сделать петельку, чтобы не было проскальзывания.

1.23. Схема для проведения эксперимента показана на рисунке 98. Стержень динамометра должен быть всегда перпендикулярен щеке клина. Перед нагружением клина динамометр должен быть «вывешен», т. е. шкала поставлена на нуль.

1.24. Возможно. В этом можно убедиться на опыте, схема которого изображена на рисунке 99. Если к концу нити B вместо груза P' прицепить динамометр и отклонять его в сторону, удерживая точки A и B на одной горизонтали, то показание динамометра будет увеличиваться, так как будет уменьшаться плечо силы.

1.25. Схема регулятора давления показана на рисунке 100.

1.26. Относительно оси O (рельс) кран находится в равновесии и до подъема груза и при подъеме груза (рис. 101). При подъеме груза увеличивается момент силы, приложенной к стреле B , и автоматически уменьшается момент силы реакции, приложенной к колесам со стороны второго рельса A .

1.27. Схема возможного варианта решения показана на рисунке 102. Рычаг в этих кусочках используется дважды.

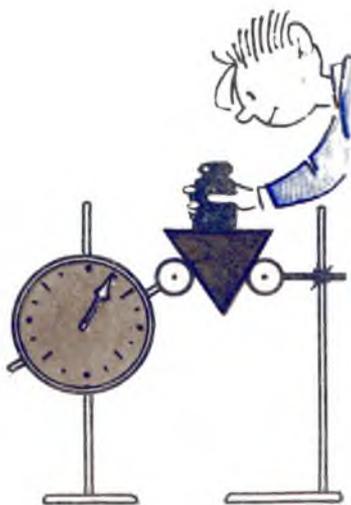


Рис. 98

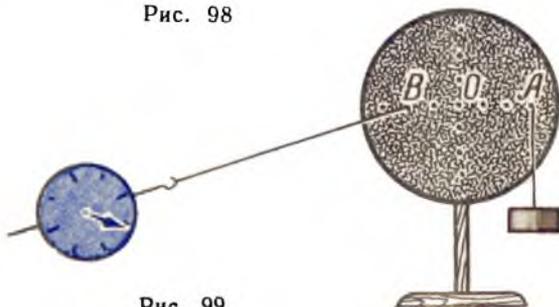


Рис. 99



Рис. 100

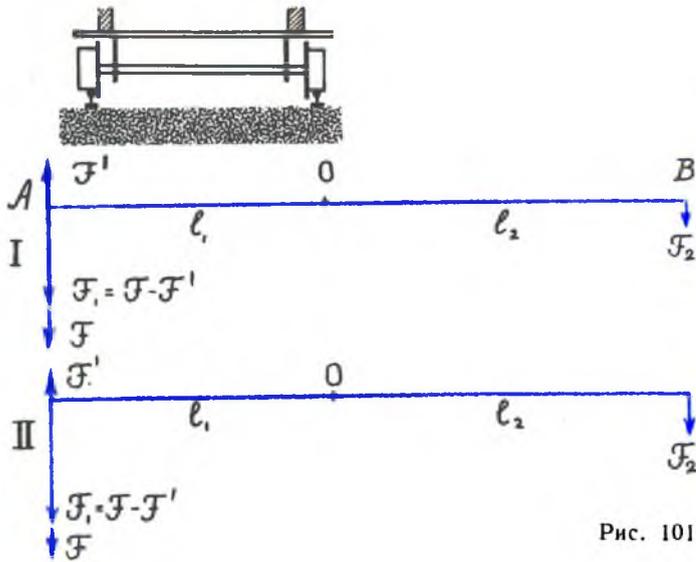


Рис. 101

1.28. Схема установки для экспериментальной проверки правила винта изображена на рисунке 103. На специально сделанную головку винта — барабан — намотана нить. Конец нити перекинут через блок. На конце — чашка для разновесов. Чашка нагружается до тех пор, пока винт не начнет равномерно вывинчиваться, поднимая груз, установленный на головке винта.

1.29. При увеличении шага винта уменьшается сила нормального давления на «нитку» резьбы. В результате уменьшается и сила трения, которая препятствует самоотвинчиванию. При большом шаге винта может произойти самоотвинчивание под действием силы деформации зажатой в тисках детали.

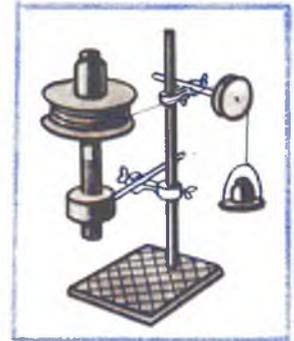


Рис. 103

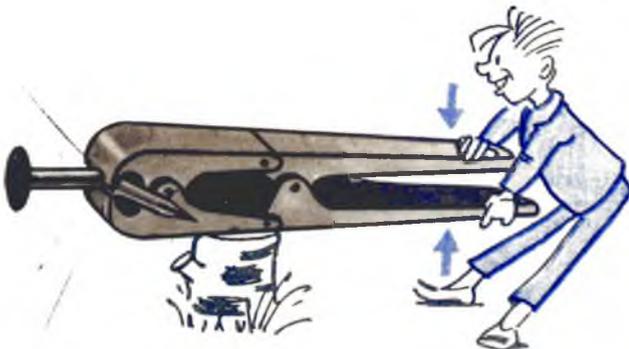


Рис. 102

Рис. 104

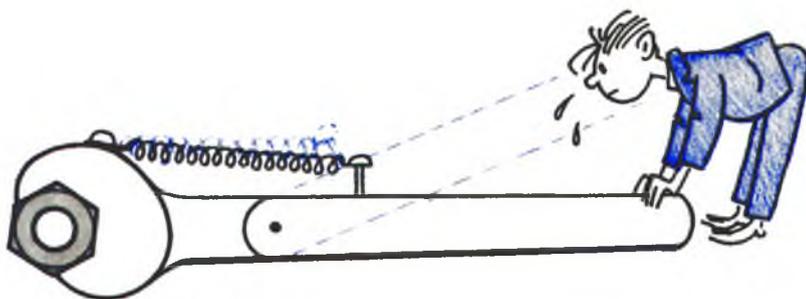


Рис. 105

1.30. Схема устройства необходимого ключа показана на рисунке 104. Момент кручения регламентируется пружиной, которая при определенном усилии растягивается, и затяжка болта прекращается.

1.31. Угол заточки лимитируется прочностью материала и определяется назначением резца. Если угол заточки резца сделать недостаточно большим, то сталь будет крошиться.

1.32. Свойства стали (прочность) не позволяют затачивать ее под углом, меньшим предельного для данного режущего инструмента. Иначе сталь будет крошиться. Вследствие изогнутой формы сабли при заданном угле клина удастся уменьшить режущий угол за счет увеличения щеки клина (рис. 105).

1.33. Кинематическая схема самопишущего прибора для записи графика деформации растяжения проволоки представлена на рисунке 3, в. Одна капроновая нить поворачивает барабан на угол, пропорциональный удлинению проволоки, а другая перемещает перо самописца по горизонтали пропорционально деформирующей силе.

1.34. Нужно установить пушку горизонтально и выстрелить. Высота пушки над полом и дальность полета снаряда по горизонтали позволят определить начальную скорость снаряда:

$$\begin{cases} h = \frac{gt^2}{2}; & v_0 = s \sqrt{\frac{g}{2h}} \\ s = v_0 t. \end{cases}$$



Рис. 106

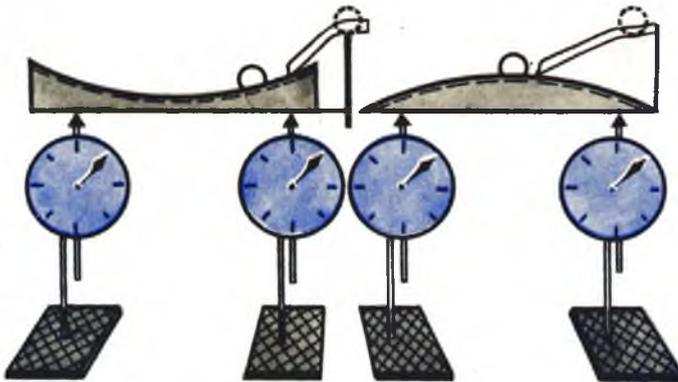


Рис. 107

1.35. Схема одного из возможных вариантов устройства прибора показана на рисунке 106.

1.36. Схема прибора изображена на рисунке 107.

1.37. Для устройства спидометра можно использовать принцип действия регулятора Уатта. Кинематическая схема прибора представлена на рисунке 108. Шкалу прибора можно проградуировать опытным путем.

1.38. На основании закона Кеплера можно записать, что $\frac{R^3}{T^2} = k$ — постоянная величина. Значит, $T^2 = \frac{R^3}{k}$.

При движении тела по окружности на него действует центростремительная сила $F = \frac{m4\pi^2R}{T^2}$. Подставив в эту формулу выражение для T^2 , получим: $F = 4\pi^2k \frac{m}{R^2}$.

Ньютону удалось установить, что и Земля сообщает Луне ускорение, также обратно пропорциональное квадрату ее расстояния от центра Земли. Поэтому он пришел к выводу о том, что это всеобщий закон. Следовательно, сила взаимного притяжения между двумя телами пропорциональна произведению их масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними:

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

1.39. Ракетноситель, имея скорость, почти одинаковую со спутником, обычно находится ниже спутника и поэтому имеет меньший период обращения.

1.40. Тела в спутнике движутся по той же замкнутой орбите, с тем же центростремительным ускорением. Поэтому



Рис. 108



Рис. 109

хотя на них и действует сила тяжести, друг на друга они не оказывают давления. В этом смысле говорят о невесомости.

1.41. Со стороны стенки космического корабля на космонавта действует сила, которая сообщает ему ускорение a . Давление, т. е. сила, отнесенная к единице площади, будет равно:

$$p = \frac{ma}{S}.$$

Отсюда ясно, что космонавт будет испытывать меньшее давление при положении «поперек». Так и располагаются космонавты в кабине корабля (рис. 109).

1.42. Спутник должен быть запущен в плоскости, перпендикулярной оси суточного вращения Земли. Радиус орбиты и линейная скорость спутника могут быть рассчитаны следующим образом. Центробежное ускорение спутника обуславливается всемирным тяготением. Поэтому $\frac{v^2}{R+h} = \frac{\gamma M}{(R+h)^2}$; $v^2 = \frac{\gamma M}{R+h}$. Обозначив период обращения спутника буквой T , ту же скорость можно выразить так: $v = \frac{2\pi(R+h)}{T}$,

откуда

$$\frac{\gamma M}{R+h} = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 (R+h)^2.$$

Следовательно,

$$R+h = \sqrt[3]{\gamma M \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2}.$$

1.43. Расположив пистолет параллельно горизонтальной плоскости на высоте h , выстрелить. По дальности полета s можно определить начальную скорость дробины $v = \frac{s}{t} =$

$$= s \sqrt{\frac{g}{2h}}. \text{ Кинетическая энергия дробины равна } \frac{mv^2}{2}.$$

Без учета потерь энергии на нагревание она равна потенциальной энергии сжатой пружины: $\frac{mv^2}{2} = \frac{kx^2}{2}$, откуда

$$k = \frac{mv^2}{x^2}, \text{ где } x \text{ — величина сжатия пружины.}$$

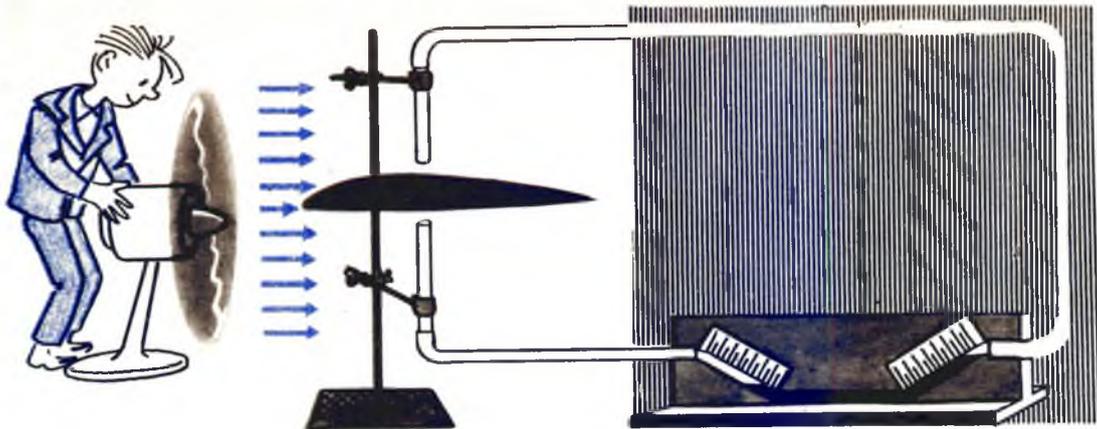


Рис. 111

1.44. Потенциальная энергия надетого на крючок шарика полностью превращается в кинетическую, когда шарик срывается с крючка $mgh = \frac{mv^2}{2}$, где $h = l - l \cos \alpha$ (l — длина крючка, α — угол отклонения его от вертикали). Чтобы шарик упал в точку A , он должен обладать скоростью

$$v = \frac{s}{\sqrt{\frac{2H}{g}}} = s \sqrt{\frac{g}{2H}}$$

где s — путь, пройденный шариком при падении по горизонтали, а H — путь, пройденный по вертикали. Значит, должно выполняться условие $l(1 - \cos \alpha) = \frac{s^2}{4H}$.

1.45. На рисунке (рис. 110) представлен вариант конструкции прибора, позволяющего установить нужную зависимость. Тела различной формы насаживаются на конец проволоки, образуя маятник. Этот маятник отклоняется в горизонтальное положение и затем отпускается. При этом он проходит положение равновесия и отклоняется по другую сторону. Чем больше угол отклонения, тем, очевидно, меньше сопротивление.

1.46. Устройство прибора понятно из рисунка 111. Трубка манометра взята наклонной для того, чтобы была заметнее разность давлений.

1.47. Возможная конструкция прибора показана на рисунке 112. Между дисками продувается струя воздуха, в результате чего статическое давление между дисками

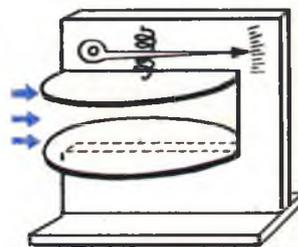
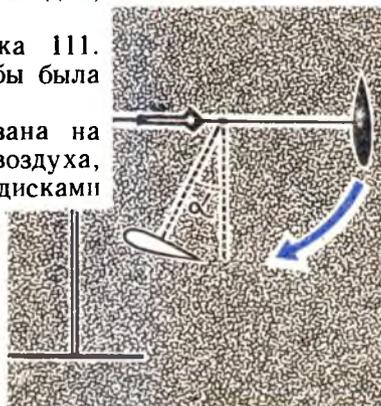


Рис. 112

Рис. 110



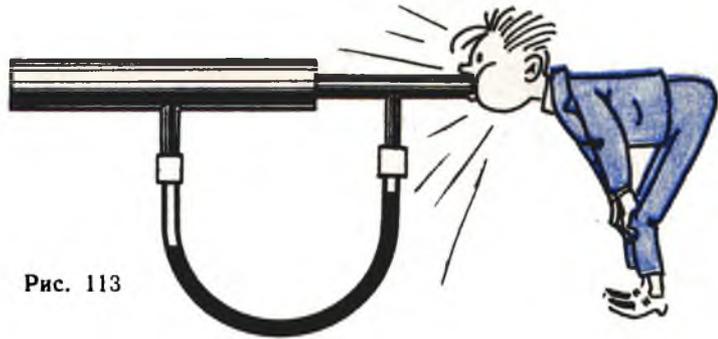


Рис. 113

понижается и они сближаются, деформируя спиральную пружину и отклоняя указатель от горизонтального положения.

1.48. Конструкция прибора понятна из рисунка 113. Воздух продувается через трубку ртом. Манометр с подкрашенной водой показывает разность давлений.

1.49. Статическое давление по краям струи больше, чем в середине струи. Это давление и удерживает шарик в струе.

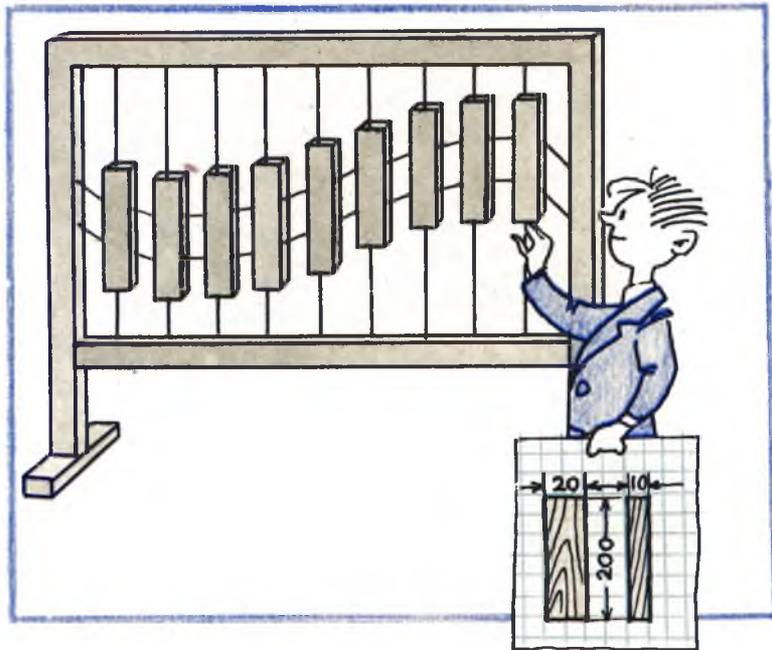


Рис. 114

1.50. Ряд деревянных брусков, укрепленных резинками в раме (рис. 114), образуют нужную среду. Устройство позволяет демонстрировать продольные и поперечные волны.

1.51. От нагревания в руке произойдет линейное расширение камертона. Этого будет достаточно для того, чтобы частота колебаний камертона несколько изменилась. При одновременном звучании таких камертонов будут слышны биения.

1.52. Таким устройством может быть или стробоскоп, или импульсное освещение пружины с частотой, равной частоте стоячей волны (рис. 115).

1.53. а) Тележка будет двигаться равномерно по инерции при условии, что равнодействующая всех действующих на нее сил равна нулю. Следовательно, нужно уравновесить силу трения, препятствующую движению тележки. Практически это может быть достигнуто нагружением чашки так, чтобы сила тяжести груза уравновешивала силу трения. Когда это достигнуто, тележка будет двигаться равномерно по инерции, сохраняя сообщенную ей скорость неизменной. Колеблющийся маятник отметит на бумаге при движении тележки отрезки равной длины.

б) Тележка будет двигаться равноускоренно под действием силы тяжести чашки с разновесами. Если M — масса тележки с грузами, m — масса чашки с разновесами, то движение тележки может быть описано уравнением $(M + m)a = mg - f_{тр}$. Из этого уравнения можно определить массу чашки с разновесами:



Рис. 115

$M = 136 \text{ г}$
 $f_{тр} = 3,0 \text{ г}$
 $a = 40 \text{ см/сек}^2$

 $m = ?$

$$m = \frac{Ma + f_{тр}}{g - a}$$

$$m = \frac{136 \cdot 40 + 3,0 \cdot 981}{981 - 40} = 8,9(\text{г})$$

1) $136 \cdot 40 = 5440$
 2) $3,0 \cdot 981 = 2943 \approx 2940$
 3) $5440 + 2940 = 8380$
 4) $981 - 40 = 941$
 5) $8380 : 941 = 8,89 \approx$
8,9

Проверяем правильность решения экспериментально. Для этого нужно определить период колебания маятника. Пусть, например, оказалось, что за 30 сек маятник делает 101 колебание. Тогда период простого колебания равен $T = \frac{t}{n} = \frac{30}{101} \approx 0,30$. Если одновременно пустить тележку и толкнуть маятник в сторону, то по отрезкам пути, отмеченным кисточкой маятника, можно судить об ускорении, с которым движется тележка.

Пусть расстояние от первой метки до третьей равно 16,5 см. Тогда можно рассчитать ускорение, с которым двигалась тележка:

$$a = \frac{2s}{t^2} = \frac{2 \cdot 16,5}{(3 \cdot 0,30)^2} \approx 40 \text{ (см/сек}^2\text{)}.$$

$$1) 2 \cdot 16,5 = 33;$$

$$2) 3 \cdot 0,30 = 0,9;$$

$$3) (0,90)^2 \approx 0,81;$$

$$4) 33 : 0,81 \approx 40.$$

1.54. а) Тележка будет двигаться равномерно по инерции с любой (малой) сообщенной ей скоростью при условии, что равнодействующая всех приложенных к ней сил равна нулю. Следовательно, нужно уравновесить силу трения нагружением чашки разновесами так, чтобы сила тяжести груза уравновешивала силу трения. Когда это условие выполнено, легким толчком следует сообщить тележке небольшую скорость под удар метронома, поставив предварительно вешку около начального положения какой-то ее точки (ось переднего колеса). По следующим ударам метронома следует отмечать положения той же точки тележки через последовательные равные промежутки времени. Отрезки пути будут равной величины.

б) Тележка будет двигаться равноускоренно под действием силы тяжести чашки с разновесами. Если M — масса тележки с грузами, m — масса чашки с разновесами, то движение тележки может быть описано уравнением $(M + m)a + f_{mp} = mg$.

Из этого уравнения может быть определено ускорение, с которым будет двигаться тележка $a = \frac{mg - f_{mp}}{M + m}$. Это ус-

корение должно быть таким, чтобы тележка прошла заданный путь в определенное время. Так как $a = \frac{2s}{t^2}$, то

$$\frac{mg - f_{mp}}{M + m} = \frac{2s}{t^2}$$

Отсюда может быть вычислена масса чашки с разновесами:

$M = 124 \text{ г}$ $s = 40 \text{ см}$ $t = 2,0 \text{ сек}$ $f_{mp} = 3,0 \text{ г}$ <hr/> $m = ?$		$1) 2 \cdot 40 \cdot 124 = 9920$ $2) 3,0 \cdot 981 \cdot 4,0 \approx 11800$ $3) 9920 + 11800 \approx 21700$ $4) 981 \cdot 4,0 \approx 3920$ $5) 2 \cdot 40 = 80$ $6) 3920 - 80 = 3840$ $7) 21700 : 3840 \approx 5,6$
	$m = \frac{2 \cdot s \cdot M + f_{mp} \cdot t^2}{g \cdot t^2 - 2 \cdot s}$ $m = \frac{2 \cdot 40 \cdot 124 + 3,0 \cdot 981 \cdot 4,0}{981 \cdot 4,0 - 2 \cdot 40} \approx 5,6 \text{ (г)}$	

Когда это условие выполнено, следует отметить весами две точки по линейке трибометра, расстояние между которыми 40 см. Тележка, пущенная под удар метронома из первой точки, через две секунды достигает второй точки.

1.55. Тележка будет двигаться равноускоренно под действием алгебраической суммы сил: веса чашки с разновесами, составляющей веса тележки с грузами и силы трения:

$$(M + m)a = mg - Mg \sin \alpha - Mg \cos \alpha k,$$

где M — масса тележки с грузами, m — масса чашки с разновесами, a — ускорение, α — угол наклонной плоскости, $Mg \sin \alpha$ — составляющая веса тележки, $Mg \cos \alpha$ — сила нормального давления тележки на плоскость, k — коэффициент трения.

Коэффициент трения определяется как отношение силы трения к весу на горизонтальной линейке:

$$k = \frac{2\Gamma}{123\Gamma} \approx 0,02.$$



Ускорение, с которым должна двигаться система, рассчитывается по формуле:

$$a = \frac{2s}{t^2}; \quad a = \frac{2 \cdot 40}{4} = 20 \text{ (см/сек}^2\text{)}.$$

Таким образом, получаются следующие данные:

$M = 123.2$
 $a = 20 \text{ см/сек}^2$
 $\alpha = 12^\circ$
 $k = 0.016$
 $m = ?$

$m = \frac{M(a + g \sin \alpha + k g \cos \alpha)}{g - a}$
 $m = \frac{123(20 + 981 \cdot 0.20 + 981 \cdot 0.02 \cdot 0.97)}{981 - 20} = 30 \text{ г}$

- 1) $981 \cdot 0.20 \approx 196$
- 2) $981 \cdot 0.02 \cdot 0.97 \approx 19$
- 3) $20 + 196 + 19 = 235$
- 4) $123 \cdot 235 \approx 28900$
- 5) $981 - 20 = 961$
- 6) $28900 : 961 \approx 30$

Опыт подтверждает правильность полученного результата. Пушенная под удар метронома тележка под действием груза 30 Г проходит за 2 сек путь 40 см.

1.56. Грузы будут двигаться равноускоренно под действием постоянной силы. Такой силой может быть действие перегрузка, положенного на один из уравновешенных грузов. Массу перегрузка можно рассчитать, составив следующее уравнение:

$$mg - f_{mp} = (M + m)a,$$

где m — масса перегрузка, f_{mp} — сила трения, M — масса уравновешивающихся грузов, a — ускорение системы.

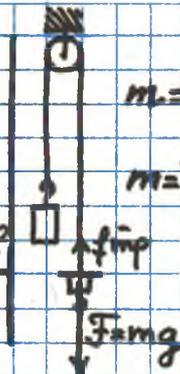
Силу трения можно определить, подобрав перегрузок, при котором грузы от легкого толчка приходят в равномерное движение. Пусть $f_{mp} = 2,0 \text{ Г}$. Тогда получим:



$M = 100 \text{ г}$
 $f_{\text{тр}} = 2,0 \text{ г}$
 $a = 30 \frac{\text{см}}{\text{сек}^2}$
 $m = ?$

$m = \frac{Ma + f_{\text{тр}}}{g - a}$
 $m = \frac{100 \cdot 30 + 2 \cdot 981}{981 - 30} \approx 5,2 \text{ (г)}$

1) $100 \cdot 30 = 3000$
 2) $2 \cdot 981 \approx 1960$
 3) $3000 + 1960 = 4960$
 4) $981 - 30 = 951$
 5) $4960 : 951 \approx 5,2$




Для проверки правильности расчета следует установить один из грузов на падающей подставке. Поставить сверху разновеску 5,2 г. Привести маятник в колебательное движение и в один из моментов прохождения его через положение равновесия нажимом на рычажок убрать из-под груза с перегрузком подставку. Маятник с кисточкой делает на нити отметки, которые позволят рассчитать ускорение, с которым движется система.

Пусть период колебания маятника $T = 0,3 \text{ сек}$, отрезки пути, измеренного от нулевой точки, равны: $s_1 = 1,6 \text{ см}$; $s_2 = 5,5 \text{ см}$; $s_3 = 12,2 \text{ см}$; $s_4 = 21,3 \text{ см}$. Взяв один из этих отрезков, можно рассчитать ускорение по формуле $a = \frac{2s}{t^2}$; $a = \frac{2 \cdot 12,2}{(0,9)^2} \approx 30 \text{ (см/сек}^2\text{)}$, т. е. масса перегрузка была определена правильно.

1.57. Под действием перегрузка система придет в равноускоренное движение. В момент прохождения груза с перегрузком через кольцо последний снимается, и вся система движется равномерно по инерции. При этом сохраняется неизменной та мгновенная скорость, которую имел груз, проходя через кольцо. Длина пути от падающей подставки до конца определяется по формуле: $s = \frac{v^2}{2a}$, где v — заданная скорость, a — ускорение, с которым движется система. Последнее можно рассчитать, исходя из формулы:

$$mg - f_{\text{тр}} = (M + m) a,$$

где m — масса перегрузка, $f_{\text{тр}}$ — сила трения, M — масса уравнивающихся грузов.

Пусть в результате измерений получились следующие данные:

$M = 100 \text{ г}$
 $f_{mp} = 2,0 \text{ Г}$
 $m = 5,0 \text{ г}$
 $v = 20 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$

 $s = ?$

$$s = \frac{v^2}{2a}$$

$$a = \frac{mg - f_{mp}}{M + m}$$

$$s = \frac{v^2(M + m)}{2(mg - f_{mp})}$$

$$s = \frac{20^2(100 + 5,0)}{2(5,0 \cdot 981 - 2,0 \cdot 981)} \approx \underline{\underline{7,1 \text{ (см)}}}$$

- 1) $20^2(100 + 5,0) = 42000$
- 2) $5,0 \cdot 981 \approx 4910$
- 3) $2,0 \cdot 981 \approx 1960$
- 4) $4910 - 1960 = 2950$
- 5) $2950 \cdot 2 = 5900$
- 6) $42000 : 5900 \approx 7,1$



Расчет проверяется экспериментально. Для этого кольцо устанавливается под падающей площадкой на расстоянии 7,1 см. Система грузов запускается в тот момент, когда маятник проходит через положение равновесия. Начиная с третьей метки маятник с периодом колебаний 0,33 сек будет отмечать отрезки равной длины 6,6 см [проверка: $20 \cdot 0,33 \approx 6,6 \text{ (см)}$].

1.58. В момент выстрела пушка и снаряд получают одинаковые по величине, но противоположно направленные импульсы: $Mv_1 = mv_2$, где M — масса пушки, m — масса снаряда, v_1 — скорость пушки, v_2 — скорость снаряда. Вследствие того, что движению пушки препятствует сила трения, она движется равнозамедленно с ускорением $a = \frac{f_{mp}}{M}$, где f_{mp} — сила трения, измеряемая динамометром. Зная уско-

рение и путь, пройденный тележкой, можно определить ее начальную скорость $v_1 = \sqrt{2as}$. По начальной скорости тележки можно определить скорость снаряда, измерив предварительно его массу: $v_2 = \frac{Mv_1}{m}$. Пусть в результате измерений получены следующие данные:

$M = 32 \text{ г}$
 $m = 9,0 \text{ г}$
 $f_{\text{тр}} = 2,0 \text{ г}$
 $s = 28 \text{ см}$
 $v_2 = ?$

$v_2 = \frac{M}{m} v_1$
 $v_1 = \sqrt{2as} = \sqrt{\frac{2f_{\text{тр}} s}{M}}$
 $v_2 = \frac{M}{m} \sqrt{\frac{2f_{\text{тр}} s}{M}}$
 $v_2 = \frac{32}{9,0} \sqrt{\frac{2 \cdot 2,0 \cdot 981 \cdot 28}{32}} \approx 210 \text{ (см)}$

1) $2 \cdot 2,0 \cdot 981 \cdot 28 \approx 110000$
 2) $110000 : 32 \approx 3430$
 3) $\sqrt{3430} \approx 58,7$
 4) $32 \cdot 58,7 \approx 1880$
 5) $1880 : 9,0 \approx 210$

Зная начальную скорость снаряда, пушенного параллельно горизонтальной плоскости, можно определить дальность его полета $s = v_2 t$; $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$, где t — время полета, h — высота ствола над горизонтом. Пусть $h = 4,0 \text{ см}$, тогда $s = 210 \sqrt{\frac{2 \cdot 4}{981}} \approx 210 \frac{2,84}{31,4} \approx 19 \text{ (см)}$. Измерение дальности полета снаряда показывает правильность расчета.

1.59. Снаряд, застревая в теле маятника, передает ему свой импульс $m_1 v_1 = (m_1 + m_2) v_2$, где $m_1 v_1$ — масса и скорость снаряда, а $m_2 v_2$ — масса и скорость маятника после попадания в него снаряда. Получив начальную скорость v_2 , маятник отклоняется, и его центр массы поднимается на высоту $h = \frac{v_2^2}{2g}$. Эту высоту можно определить по формуле: $h = l - l \cos \alpha$, где α — максимальный угол отклонения маятника от положения равновесия. Пусть в результате измерений получены следующие данные:



$m_1 = 6,0 \text{ г}$
 $m_2 = 11,0 \text{ г}$
 $l = 15 \text{ см}$
 $\alpha = 45^\circ$
 $v_1 = ?$

$v_1 = \frac{(m_1 + m_2)v_2}{m_1}; v_2 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2gl(1 - \cos\alpha)}$
 $v_1 = \frac{m_1 + m_2}{m_1} \sqrt{2gl(1 - \cos\alpha)}$
 $v_1 = \frac{6 + 11}{6} \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 15 (1 - 0,70)} = \underline{\underline{260 \text{ (см)}}}$

Измерив высоту ствола над плоскостью стола $H = 3,0 \text{ см}$, можно рассчитать дальность полета снаряда: $s = v_1 t$, где t — время падения снаряда с высоты H : $t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$. Следова-

тельно, $s = v_1 \sqrt{\frac{2H}{g}}$; $s = 260 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 3,0}{981}} = 260 \cdot \frac{2,4}{31} \approx 20 \text{ см}$. Результат опыта подтверждает правильность расчета.

1.60. Начальную скорость снаряда можно разложить на две составляющие: вертикальную $v_1 = v_0 \sin \alpha$ и горизонтальную $v_2 = v_0 \cos \alpha$.

а) Максимальная высота подъема снаряда при заданном угле α равна $h = \frac{v_1^2}{2g} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} = \frac{s^2 \sin^2 \alpha}{2gt^2}$. Время полета можно определить из соотношения: $stg \alpha = \frac{gt^2}{2}$, откуда $t^2 = \frac{2stg \alpha}{g}$. Значит, $h = \frac{stg \alpha}{4}$.

Пусть пружинная пушка установлена под углом 40° . При этом снаряд летит на расстояние 17 см . Находим максимальную высоту подъема $h = \frac{17 \cdot 0,83}{4} \approx 3,3 \text{ (см)}$. Следует установить кольцо на штативе на данной высоте посредине траектории снаряда. Последний будет пролетать через это кольцо.

б) Максимальная высота подъема при вертикальном выстреле будет

$$h_m = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{s^2}{2gt^2 \cos^2 \alpha} = \frac{s}{4 \sin \alpha \cos \alpha} = \frac{s}{2 \sin 2\alpha}$$

Подставив экспериментальные данные, получим:

$$h_m = \frac{17}{4 \cdot 0,64 \cdot 0,76} \approx 8,3 \text{ (см)}.$$

Укрепляем в штативе кольцо в горизонтальной плоскости на полученной высоте над вертикально установленной пушкой и убеждаемся, что расчет подтверждается экспериментом.

1.61. Дальность полета снаряда можно рассчитать по формуле:

$$s = v_x t = v_0 \cos \alpha t = v_0 \cos \alpha \frac{v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}.$$

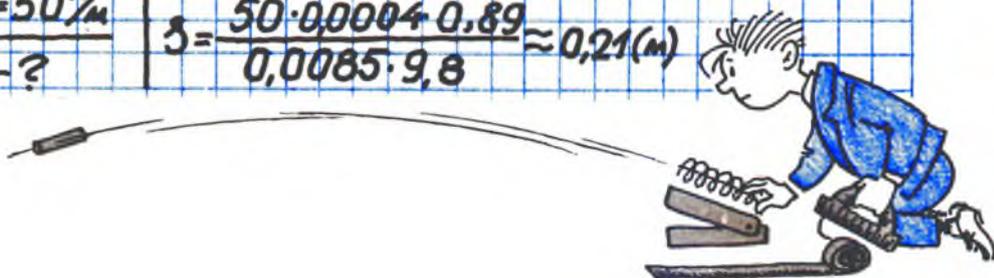
Начальную скорость снаряда можно определить, измерив коэффициент упругости пружины, ее сжатие и массу снаряда. Для определения коэффициента упругости зацепляют крючком динамометра пружину пушки и сжимают ее настолько же, насколько она сжимается при заряде.

Начальную скорость снаряда можно определить из тех соображений, что при выстреле потенциальная энергия сжатой пружины обращается в кинетическую энергию снаряда. Обозначим силу сжатия пружины буквой F , сжатие — x , массу снаряда — m , тогда:

$$\frac{kx^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2}, \text{ отсюда } v_0^2 = \frac{kx^2}{m}.$$

Сделав необходимые измерения и расчеты, получим:

$m = 8,5 \text{ г}$	
$F = 105 \text{ Н}$	
$x = 2,0 \text{ см}$	
$\alpha = 32^\circ$	
$k = 50 \text{ Н/м}$	
$s = ?$	$s = \frac{kx^2 \sin 2\alpha}{mg}$ $s = \frac{50 \cdot 0,0004 \cdot 0,89}{0,0085 \cdot 9,8} \approx 0,21 \text{ (м)}$



Устанавливаем на этом расстоянии от пушки кольцо со штативом и делаем выстрел. Снаряд попадает в кольцо.

1.62. Для того чтобы можно было не придерживать нить у края трубки при равномерном движении груза, необходимо правильно нагрузить чашку разновесками. Вес разновесок и чашки численно равен геометрической сумме центростремительной силы, удерживающей груз на круговой орбите, и его веса

$$m_2 g = \sqrt{m_1^2 16\pi^4 R^2 n^4 + m_1^2 g^2},$$

где m_1 — масса вращающегося груза, m_2 — масса удерживающего груза, n — число оборотов в секунду, R — радиус орбиты.

$m_1 = 5,02$
 $n = 2,0 \text{ сек}$
 $R = 30 \text{ см}$
 $m_2 = ?$

$m_2 = \frac{m_1 \sqrt{16\pi^4 R^2 n^4 + g^2}}{g}$
 $m_2 = \frac{5 \sqrt{16 \cdot 3,14^4 \cdot 30^2 \cdot 2^4 + 981^2}}{981} \approx 24 \text{ (г)}$

Эксперимент подтверждает правильность расчета.

1.63. При скатывании диска с наклонной плоскости его потенциальная энергия превращается в кинетическую:

$$mgh = \frac{mv^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + \frac{mr^2\omega^2}{4} = \frac{3}{4}mv^2,$$

где m — масса диска, h — высота наклонной плоскости, J — момент инерции диска, ω — угловая скорость диска, r — радиус диска, v — линейная скорость центра диска. Измерения и расчеты дали следующий результат:

$$h = 1,5 \text{ см}; \quad v = \sqrt{\frac{4mgh}{3m}} = \sqrt{\frac{4gh}{3}};$$

$$v = \sqrt{\frac{4 \cdot 981 \cdot 1,5}{3}} \approx 42 \left(\frac{\text{см}}{\text{сек}} \right).$$

При этой скорости за 0,5 сек диск должен проходить путь 21 см. Устанавливаем на этом расстоянии две вешки и убеждаемся, что это расстояние диск действительно проходит за интервал между двумя ударами метронома (0,5 сек).

1.64. Потенциальная энергия груза, привязанного к концу нити, при раскручивании нити обращается в кинетическую энергию груза и диска:

$$m_1gh = \frac{m_1v^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2} = \frac{m_14\pi^2n^2r^2}{2} + m_2r^2\pi^2n^2.$$

Отсюда можно найти массу груза, удовлетворяющую заданным условиям:

$r = 5,0 \text{ см}$
 $m_2 = 56 \text{ г}$
 $n = 4 \text{ сек}^{-1}$
 $h = 2\pi r \approx 31 \text{ см}$
 $m_1 = ?$

$$m_1(gh - 2\pi^2n^2r^2) = m_2\pi^2n^2r^2$$

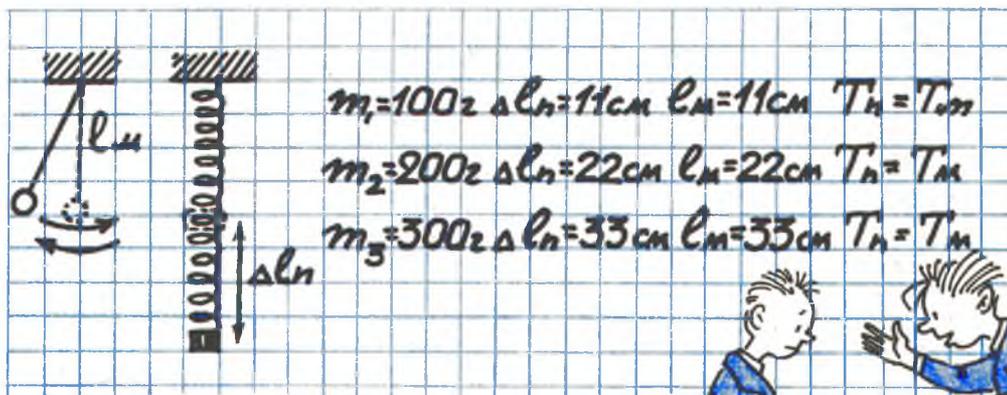
$$m_1 = \frac{m_2\pi^2n^2r^2}{gh - 2\pi^2n^2r^2}$$

$$m_1 = \frac{56 \cdot 3,14^2 \cdot 4^2 \cdot 5^2}{981 \cdot 31 - 2 \cdot 3,14^2 \cdot 4^2 \cdot 5^2} \approx 9,5 \text{ (г)}$$

Запустив диск, следует проверить правильность расчета. Замечаем время и отсчитываем 20 оборотов диска. Оказывается, что время равно 4,9 сек. Следовательно, $n = \frac{20}{4,9} \approx 4,0$ (сек), т. е. расчет был сделан верно.

1.65. По условию $T_m = T_n$, т. е. $2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$, где l — длина математического маятника, m — масса груза, подвешенного к пружине, k — коэффициент упругости

пружины. Приняв во внимание, что $k = \frac{P}{\Delta l} = \frac{mg}{\Delta l}$, где Δl — удлинение пружины под тяжестью mg , получим: $l = \frac{mg}{mg} \Delta l = \Delta l$, т. е. длина математического маятника должна быть равна удлинению пружины. Выполняем это условие и убеждаемся, что маятники обладают одинаковым периодом собственных колебаний:



1.66. По условию $T_m = T_{cp}$, т. е.

$$2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mgr}},$$

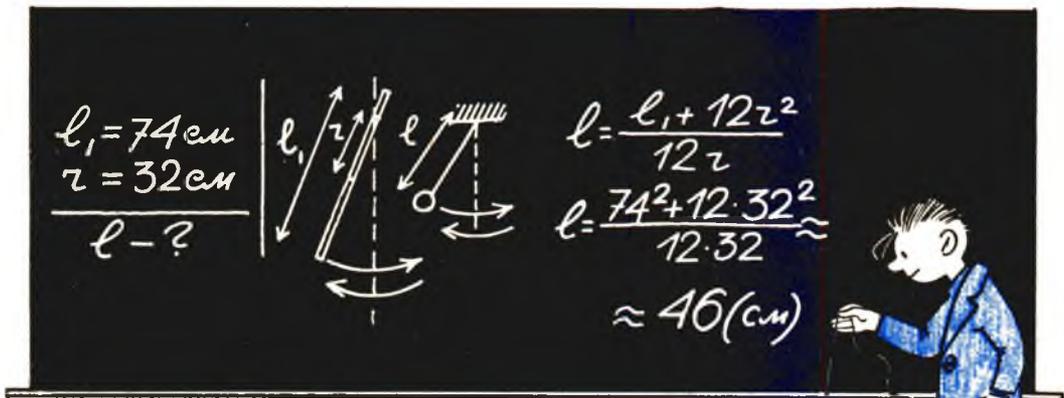
где l — искомая длина математического маятника, J — момент инерции стержня, r — расстояние точки подвеса от центра массы физического маятника.

Так как $J = \frac{1}{12} ml_1^2 + mr^2$, то

$$l = \frac{\frac{1}{12} ml_1^2 + mr^2}{mr} = \frac{l_1^2 + 12r^2}{12r},$$

где l_1 — длина стержня.

Измерения и расчеты дают, например, следующий результат:



Экспериментальная проверка показывает, что математический и физический маятники с такими параметрами обладают одинаковыми периодами собственных колебаний.

1.67. Задача состоит в том, чтобы приладить к станку вилку, направляющую провод на катушку. Эта вилка должна совершать равномерное возвратно-поступательное движение параллельно оси катушки. Можно соединить с вращающимся валом с помощью червячной передачи диск, который будет вращаться в нужной плоскости. Далее можно было бы сделать кривошипно-шатунный механизм, который бы превращал движение по окружности в возвратно-поступательное (рис. 116). Однако, как видно из рисунка, такой механизм не обеспечивает равномерного движения. Равномерное возвратно-поступательное движение точки по прямой, параллельной оси катушки, можно получить, если заставить ее двигаться определенным образом по вращающемуся диску (рис. 117). Траекторию движения точки в системе отсчета, связанной с вращающимся диском, можно получить путем сложения поступательного движения

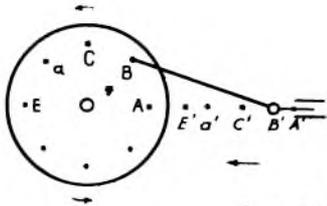


Рис. 116

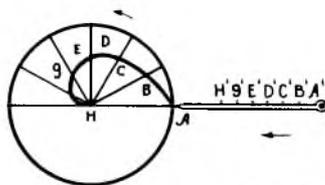


Рис. 117

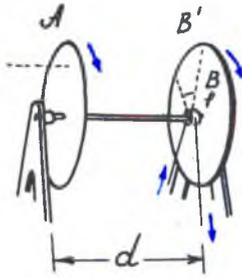


Рис. 119

с вращением самой системы. Схема (рис. 118) показывает возможный вариант искомой конструкции.

1.68. Скорость равномерного движения легко определить, когда известны пройденный путь и время движения. Трудность состоит в том, что малое расстояние пули пролетает за очень короткий промежуток времени, который трудно измерить. На помощь приходит какой-либо периодический процесс с известным периодом. Если взять два диска из плотной бумаги, закрепить их на некотором расстоянии друг от друга на оси, соединенной с валом электрического двигателя, например от швейной машины ($n = 30$ об/сек), то получится нужный прибор. Если теперь выстрелить вдоль оси вращения дисков, то окажется, что отверстия в дисках не совпадают друг с другом. Происходит это вследствие того, что за время полета пули между дисками вал движется, успевая повернуться на некоторый угол α . Скорость полета пули можно вычислить по формуле:

$$v = \frac{2\pi n d}{\alpha} \quad (\text{рис. 119}).$$



Рис. 123

1.69. На тело, находящееся в ускоренно движущейся тележке, будет действовать сила. Величина этой силы прямо пропорциональна ускорению: $F = ma$, откуда $a = \frac{F}{m}$. Следовательно, ускорение тележки можно определять по величине деформации пружины, которая соединяет груз с тележкой (рис. 120). Можно также определять ускорение с помощью маятника (рис. 121), угол отклонения которого будет также определяться ускорением системы:

$$F = ma = mg \operatorname{tg} \alpha, \quad \text{откуда} \quad a = g \operatorname{tg} \alpha.$$

Наконец, можно использовать сообщающиеся сосуды — U-образную трубку с подкрашенной водой (рис. 122). На жидкость, которая заключена в трубке, действует сила инерции. Эта сила уравновешивается силой давления, которая возникает вследствие разности уровней жидкости в коленах

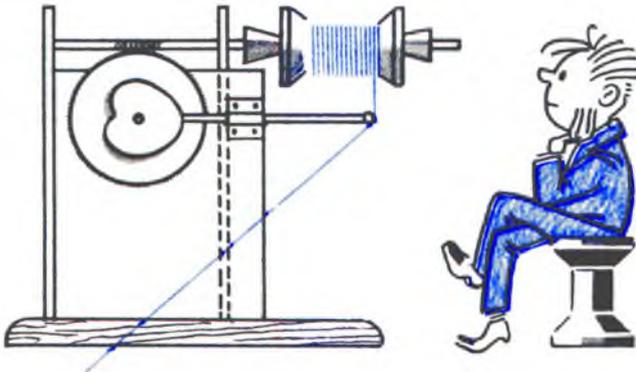


Рис. 118

трубки: $h = h_1 - h_2$. На этом основании можно проградуировать шкалу и по разности уровней жидкости измерять ускорение тележки.

Недостатком всех этих приборов является то, что все они «инерционны». Из-за долго неуспокаивающихся колебаний пружины, маятника и жидкости ими практически очень неудобно пользоваться. Но это не умаляет достоинства задачи для развития творческой деятельности учащихся.

1.70. Один вариант решения может быть найден учащимися после изучения темы «Движение жидкостей и газов».

Если на тележку поставить П-образную стойку из проволоки и на двух петельках подвесить к ней прямоугольный лист плотной бумаги (рис. 123), то получится ветромерная доска, которая, например, есть на флюгере Вильда для измерения скорости ветра. Остается сделать шкалу и проградуировать ее.

Конечно, таким прибором можно пользоваться при отсутствии ветра (в помещении при закрытых окнах и дверях), иначе прибор будет давать неверные показания.

Другой вариант решения может быть найден после изучения темы «Движение по окружности».

Если с колесом тележки фрикционно или с помощью зубчатых колес соединить шкив, насаженный на ось центрального регулятора Уатта, то получится устройство, позволяющее измерять скорость (рис. 108).

Остается лишь соединить с муфтой регулятора стрелку и проградуировать прибор.

1.71. Задача может быть решена после изучения темы «Вращательное движение твердого тела».

Учащиеся придумают разные варианты решения. Одни предложат надеть на волчки обручи различной массы и уравнять массы волчков полостями, другие предложат сделать по периферии одного из волчков потайную полость, а около оси укрепить грузы эквивалентной массы, третьи предложат потайную полость частично заполнить материалом большей плотности и т. д. (рис. 124).

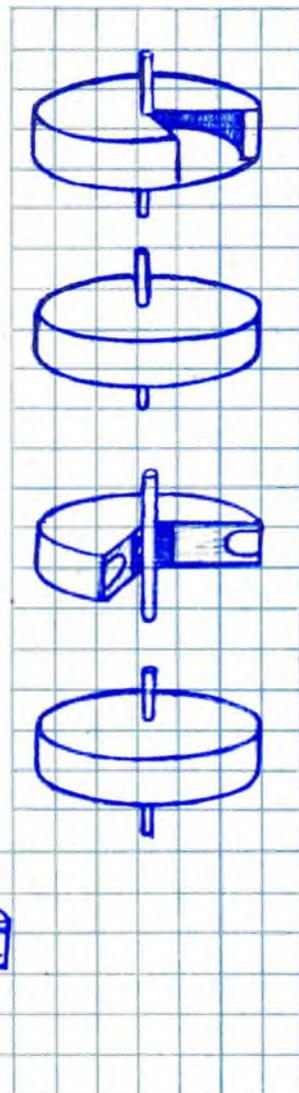
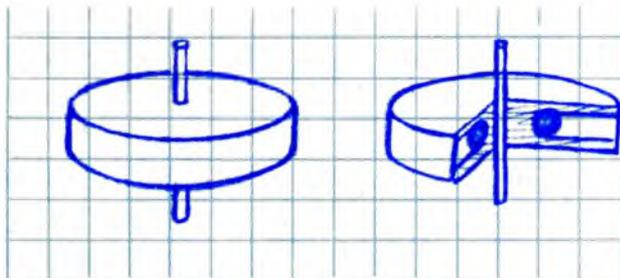


Рис. 124





1.72. Эта задача может быть решена учащимися после изучения темы «Вращательное движение твердого тела».

Нужно сделать так, чтобы при ускорении маятника (при разматывании нитей) момент инерции возрастал, а при замедлении маятника (при наматывании нитей) его момент инерции убывал. Это можно осуществить с помощью грузов, симметрично расположенных относительно оси маятника и удерживаемых пружинами (рис. 125). При раскручивании маятника, при возрастании его угловой скорости пружины растягиваются, грузы расходятся и момент инерции возрастает (при этом сохраняется равенство $kx = mR\omega^2$).



Но при возрастании момента инерции (по закону сохранения момента количества движения) угловая скорость убывает.

При убывании угловой скорости происходит обратное явление. Центробежная сила уменьшается, пружины сокращаются, приближая грузы к оси маятника. Момент инерции маятника уменьшается, а угловая скорость вследствие этого возрастает.



1.73. Этот прибор может быть сконструирован учащимися после того, как будет изучена тема «Вращательное движение твердого тела».

Явлений, подчиняющихся закону сохранения момента количества движения $L = J\omega = \text{const}$, может быть найдено множество. Соответственно большое количество может быть сконструировано и приборов, иллюстрирующих это явление. Остановимся лишь на трех вариантах при-

Учащиеся школы № 315 Москвы на уроке физики объясняют устройство и принципы действия изобретенных ими приборов (см. фотографии приборов на стр. 112—113 и схему прибора на стр. 149)

Рис. 127



Рис. 122



боров, изготовленных учащимися школы № 315. Москвы.

а) Крестовина со сходящимися грузами. На рисунке 126 представлен общий вид прибора. На массивной подставке укреплена П-образная стойка. В середине подставки и в середине перекладины стойки просверлены неглубокие отверстия — подшипники. В подшипниках установлена крестовина. На горизонтальный стержень крестовины надеты два симметричных (равных по массе и по размеру) груза. Совершенно одинаковыми пружинами эти грузы прижимаются к вертикальной оси крестовины. При вращении крестовины грузы расходятся, сжимая пружины. По мере того как угловая скорость крестовины в результате действия сил трения уменьшается, грузы сходятся, уменьшая момент инерции системы. В результате угловая скорость убывает очень медленно, и крестовина долго вращается с почти постоянной скоростью.

Массу грузов можно определить по формуле $kx = mR\omega^2$ в зависимости от длины плеча R , начальной угловой скорости и упругости пружины k .

б) Волчок с регулятором угловой скорости. Этот прибор (рис. 127) работает по тому же принципу, что и предыдущий. В теле волчка симметрично относительно его оси высверливаются радиальные отверстия. В отверстия закладываются одинаковые шарики, а затем пружинки. После этого отверстия закрываются обручем. При запуске волчка грузы

Рис. 121



Рис. 125

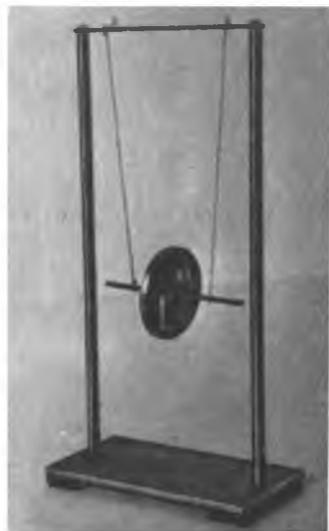


Рис. 120

Рис. 128

Рис. 126



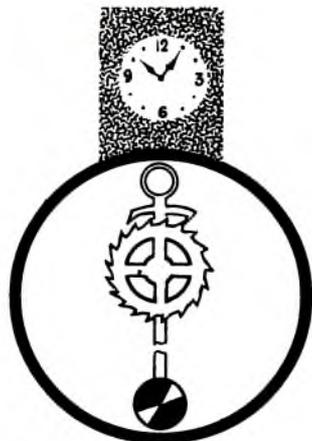


Рис. 129



расходятся к периферии, сжимая пружины. По мере замедления вращения под действием пружины грузы сходятся. Вследствие этого уменьшается момент инерции. Благодаря этому угловая скорость волчка изменяется очень медленно. За счет энергии сжатых пружин волчок вращается очень долго.

в) Инерционно-деформационный аккумулятор. Опыт с описанным волчком еще более эффектен, если волчок запустить рядом с обычным волчком тех же размеров, формы и массы. Для этой цели волчки ставят на подставку при помощи П-образной стойки (рис. 128). С помощью одной нити, концы которой наматываются равным числом витков на оси волчков, волчкам задается одинаковая угловая скорость. При этом простой волчок вращается гораздо менее продолжительное время. Скорость его убывает быстрее, чем у волчка с деформационно-инерционным устройством. За счет энергии сжатых пружин он вращается значительно дольше.

1.74. Эта задача наиболее просто разрешима тогда, когда изучены законы математического маятника, который по существу и может быть использован как метроном.

Недостаток простого маятника состоит в том, что его колебания затухающие и поэтому им можно пользоваться в течение непродолжительного времени. Значит, нужен какой-то источник энергии, который бы постоянно пополнял энергию маятника. В пружинных часах это происходит за счет энергии сжатой пружины при помощи анкерного механизма (рис. 129). За счет электрической энергии в условиях школы такое устройство может быть выполнено проще. Для этого нужно изготовить маятник в виде молотка (рис. 130). Наконечник этого маятника — стальной сердечник — будет попеременно втягиваться то в правую, то в левую катушку. Электрическая цепь катушек поочередно замыкается самим колеблющимся маятником. Период колебаний маятника можно регулировать обычным путем, изменяя длину маятника.

2.1. Главной причиной того, что взвешенные частицы долго не выпадают в осадок, является тепловое (броуновское) движение частиц. При уменьшении объема частицы уменьшается и ее масса. При очень малых размерах частицы ее вес становится соизмеримым с силой неуравновешенного давления — суммарного импульса молекул. При размерах

Рис. 130

менее $0,1 \text{ мк}$ частицы находятся в более или менее устойчивом взвешенном состоянии.

2.2. Поскольку устойчивость суспензии обуславливается тепловым движением молекул, для ускорения процесса отстаивания следует уменьшить это движение. В охлажденном молоке сливки отстаиваются скорее.

2.3. См. ответ к задаче 2.1.

2.4. См. ответ к задаче 2.1.

2.5. Молекулярные силы действуют на малых расстояниях. Поэтому качество склеивания зависит от того, насколько большую поверхность склеиваемых частей удастся привести в близкое соприкосновение. Это легче сделать с пластичными телами, чем с твердыми, у которых при неровных поверхностях соприкосновение происходит лишь в нескольких точках. Отсюда понятно назначение прессов, используемых при склейке (рис. 131).

2.6. Несмотря на огромную скорость молекул, скорость диффузии сравнительно невелика. Это объясняется большим количеством соударений молекул при их движении. Средняя длина свободного пути молекул воздуха при нормальных условиях составляет всего лишь $7 \cdot 10^{-6} \text{ см}$!

2.7. Схема механической модели опыта Штерна представлена на рисунке 132. При покоящемся диске, установленном на центробежной машине, снаряд, пущенный из пружинной пушки, установленной в центре O , попадает в точку N . При вращающемся диске (с угловой скоростью ω) снаряд попадает в точку M , смещаясь на расстояние $NM = \omega R t$, где R — радиус диска, а t — время полета снаряда. Скорость снаряда равна:

$$v = \frac{R}{t} = \frac{\omega R^2}{NM}.$$

2.8. Взяв в качестве модели молекул охотничью дробь, можно определить диаметр дробины не прямым измерением (например, с помощью микрометра), а косвенным, измерив объем, занимаемый большим количеством дробин, а затем — площадь, занимаемую теми же дробинами,

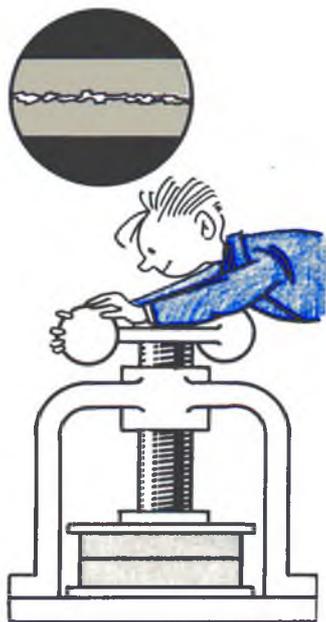
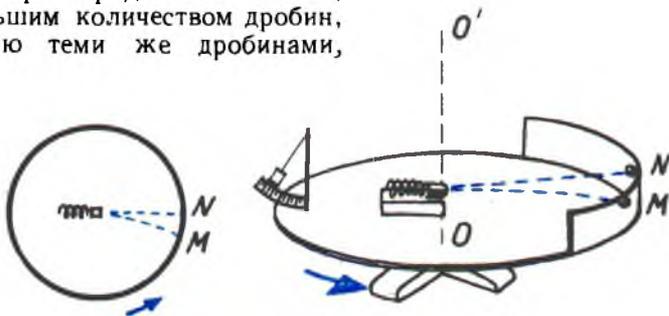


Рис. 131

Рис. 132



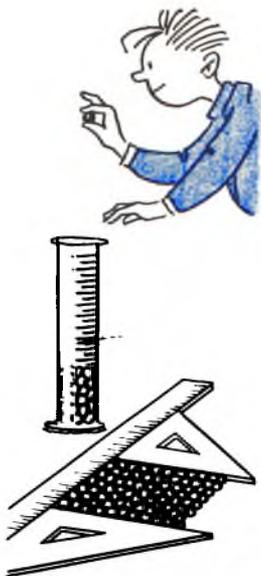


Рис. 133

расположенными в один слой (рис. 133). Если суммарный объем шариков V , а площадь, занимаемая слоем их в один ряд, S , то диаметр одного шарика

$$d = \frac{V}{S}.$$

2.9. При погружении пористого сосуда в водород давление в нем будет увеличиваться вследствие преобладающей диффузии водорода внутрь сосуда. Это произойдет потому, что масса молекул водорода меньше, а скорость больше, чем у молекул воздуха. При погружении сосуда в углекислый газ произойдет обратное явление вследствие большей массы и меньшей скорости молекул углекислого газа по сравнению с молекулами воздуха, 78,10% объема которого составляет азот с молекулярным весом, вдвое меньшим молекулярного веса углекислого газа.

2.10. Как видно из таблицы, приведенной в условии задачи, отравляющие и взрывоопасные газы имеют больший молекулярный вес, чем воздух (смесь более легких газов). Вследствие этого давление в пористом сосуде при появлении газов будет уменьшаться. Перемещающийся при этом столбик токопроводящей жидкости (ртуть или электролит) может замыкать сигнальную цепь, при этом будет звенеть звонок или зажигаться сигнальная лампа (рис. 134).

2.11. В горячей воде окраска распространяется от капли в разные стороны со скоростью приблизительно 6 см/мин, а в холодной воде со скоростью 1 см/сек. Как видно, средняя скорость диффузии в воде сильно зависит от температуры. Но даже в горячей воде средняя скорость диффузии оказалась в сотни раз меньше, чем скорость распространения запаха одеколона в воздухе. Это различие связано с разли-

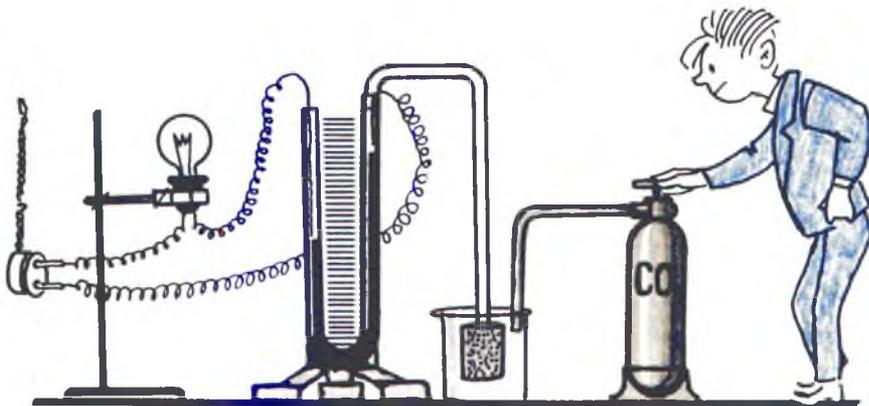


Рис. 134

чем в строении вещества. В жидкости молекулы находятся в непосредственной близости друг от друга. Из-за «большой тесноты» каждая молекула находится в колебательном движении около своего центра равновесия и лишь понемногу перемещается. За то время, когда газовая молекула проходит 700 \AA , молекула воды смещается на 3 \AA ¹.

2.12. Нужно обратить это вещество в газообразное состояние и сравнить плотность полученного газа с плотностью какого-либо известного газа, находящегося при тех же условиях.

2.13. Схема возможного варианта генератора, использующего энергию ветра для нагрева воды, показана на рисунке 135. Ветроколесо приводит во вращение крестовину с лопатками. Лопатки гонят воду через вырезы в перегородках внутри бачка. От трения вода нагревается. Ветродвижитель использует кинетическую энергию движущегося воздуха. Величина этой энергии определяется по формуле:

$$W = \frac{mv^2}{2}.$$

Исходя из этой формулы можно определить мощность воздушного потока, протекающего через площадку, ометаемую колесом ветродвигателя. Если R — радиус ветроколеса, то объем воздуха, протекающего за 1 сек, равен: $V = \pi R^2 v$, его масса $m = V\rho$ и, следовательно, мощность

$$N = \frac{\rho\pi R^2 v^3}{2}.$$

Однако ветродвигатель использует только часть той энергии, которой обладает ветровой поток. Число, показывающее, какую часть энергии ветрового потока использует ветродвигатель, называется коэффициентом ветроиспользования ξ . Поэтому мощность ветродвигателя определяется формулой:

$$N_1 = \xi N = \frac{\rho\pi R^2 v^3}{2} \xi.$$

¹ Л. Д. Ландау, А. И. Китайгородский, Физика для всех, М., Физматгиз, 1963, стр. 218.



Рис. 135

Отсюда можно определить количество теплоты, которое получит вода за один час работы ветродвигателя:

$$Q = 0,24 \frac{\rho \kappa R^2 v^3 \tau}{2},$$

$$Q = 0,24 \frac{0,12 \cdot 3,14 \cdot 9 \cdot 1000 \cdot 0,2 \cdot 3600}{2} \approx 280 \text{ (ккал)}.$$

Учитывая, что $Q = mc\Delta t$, где m — масса тела, c — удельная теплоемкость, Δt — приращение температуры, получим выражение: $m = \frac{Q}{c\Delta t}$.

Подставив числовые данные, получим:

$$m = \frac{280}{1 \cdot 50} = 5,6 \text{ (кг)}.$$

2.14. При нагревании клея в клееварке температура его не превышает температуры кипения воды.

2.15. Для эталона температура отвердевания удобна тем, что она устойчива.

2.16. Оболочка космического корабля сильно разогревается при вхождении в плотные слои атмосферы, несмотря на их низкую температуру. На высоте же 300—400 км плотность атмосферы в 10^9 раз меньше, чем на уровне моря. При такой ничтожной плотности теплоемкость среды так ничтожна, что ее высокая температура кораблю не опасна.

2.17. Нужно заменить жидкость в калориметре, взяв ее с меньшей удельной теплоемкостью, например керосин.

2.18. При падении банки свеча гаснет. Объясняется это прекращением конвекции в результате возникновения невесомости. Отсюда ясно, что для перемешивания массы воздуха внутри космического корабля необходима принудительная вентиляция.

2.19. При одинаковой теплоемкости стенки стаканов обладают различной теплопроводностью. Теплопроводность алюминия значительно больше, чем теплопроводность стекла.

2.20. Вначале, падая на горячую сковородку, капли шипят и быстро испаряются. По мере нагревания этот процесс ускоряется, однако до определенного предела. Наступает момент, когда капли, упав на сковороду, не испаряются, а катаются в виде шариков подобно шарикам ртути.

Объясняется это тем, что капля начинает бурно испаряться, еще не достигнув поверхности сковороды. Пары поддерживают каплю в воздухе, и она «плывет» над раскаленной сковородой подобно кораблю на воздушной подушке. Слой пара, поддерживающий каплю во взвешенном состоянии, изолирует ее от сковороды, и она долго не испаряется.

2.21. В результате дыхательного движения объем грудной клетки и легких увеличивается в трех направлениях: в передне-заднем, боковом (за счет поднятия и вращения ребер) и вертикальном (за счет опускания диафрагмы). Вследствие этого в легких создается пониженное давление. Под действием атмосферного давления воздух врывается в легкие через нос и рот. Это давление можно почувствовать, если зажать рот и ноздри и сделать дыхательное движение.

2.22. В ротовой полости и пищеводе при глотательных движениях создается пониженное давление. В результате вода «вталкивается» атмосферным давлением.

2.23. Даже при неглубоком нырянии давление на грудную клетку будет много выше атмосферного. Человек не сможет сделать дыхательного движения, поскольку сила, действующая на грудную клетку извне, будет очень большой. Однако если наполнить воздухом резиновую камеру и с ней опуститься под воду, то можно будет дышать воздухом из этой камеры, поскольку давление внутри камеры будет равно давлению воды на данной глубине (рис. 136). Правда, погрузиться в воду с таким «баллоном» не так-то просто. Поэтому для этой цели пользуются металлическими баллонами, в которых находится сжатый воздух. Акваланг имеет автоматическое устройство, изменяющее давление поступающего в легкие воздуха соответственно глубине погружения.

2.24. По мере откачивания воздуха из-под колокола мячик раздувается, так как давление внутри него становится больше, чем вне его.

2.25. Вес автомобиля легко определить, суммируя силы давления на дорогу каждого колеса. Силу давления можно определить, если известны давление внутри баллона и площадь его соприкосновения с плоской асфальтированной или бетонированной дорогой: $F = pS = phl$ (рис. 137).

В баллонах автомобиля «Волга» нормальное давление 1,7 ат. Пусть измерения показывают, что площадь



Рис. 136

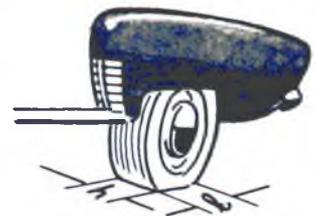


Рис. 137



Рис 138

соприкосновения баллона с плоскостью дороги $S=276,5 \text{ см}^2$, тогда сила давления

$$F = 1,7 \cdot 276,5 \approx 470 \text{ (кГ)}.$$

Если нагрузка на колеса распределена равномерно, то вес автомобиля $P = 470 \cdot 4 = 1880 \text{ (кГ)}$. Давление в баллонах можно измерить манометром (рис. 138).

2.26. Силу с помощью герметического цилиндра с поршнем можно определить по степени сжатия или разрежения столба воздуха, заключенного в цилиндре (рис. 139): $F = \Delta p S$, где p — разность давлений вне и внутри цилиндра, а S — площадь поршня.

Пусть путем растяжения столба воздуха удалось удвоить его объем $V_1 = 2V$. Тогда давление внутри цилиндра будет в два раза меньше и, значит, $\Delta p \approx 0,5 \text{ кГ/см}^2$. Измерив диаметр поршня, можно определить его площадь $S = \pi R^2$. Пусть $R = 4$, тогда $S = 3,24 \cdot 16 \approx 50 \text{ (см}^2\text{)}$, и значит, $F = 0,5 \cdot 50 = 25 \text{ (кГ)}$.

2.27. Вода кажется белой от большого количества выходящих из нее пузырьков газа. Вследствие уменьшения давления пузырьки газа расширяются и выходят на поверхность.

2.28. Движение пузырька воздуха становилось бы равномерным при достаточной глубине сосуда, если бы объем пузырька не менялся. Но вследствие уменьшающегося давления объем пузырька будет увеличиваться. При этом подъемная сила будет расти пропорционально r^3 , а сила сопротивления — r^2 , т. е. медленнее. Поэтому движение будет ускоренным, но неравноускоренным, поскольку подъемная сила все время возрастает.

2.29. При нагревании воздух в банке расширяется и частично выходит. При охлаждении воздуха давление внутри банки уменьшается, и она присасывается к коже больного.

2.30. Через некоторое время водяной манометр покажет повышение давления внутри бомбы. Объясняется это тем, что при быстром (адиабатическом) расширении воздух охлаждается. При нагревании от окружающей среды давление воздуха внутри бомбы повысится.

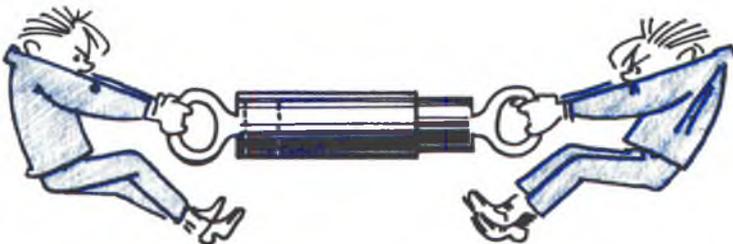


Рис. 139

2.31. При быстром (адиабатическом) сжатии воздух нагревается. По прекращении работы насоса воздух охлаждается и давление его несколько падает.

2.32. Горячей воды шарик вытесняет несколько больше, поскольку от нагревания в ней расширяется.

2.33. На рисунке 48 изображен цикл пароатмосферной машины, которая применялась в старину для откачивания воды из шахт, для привода воздуходушных мехов (машина И. И. Ползунова). На рисунке 140 изображена схема модели такого двигателя. Рабочий цилиндр с поршнем отделен от парового котла перегородкой. При нагревании воды образуется пар, давление которого поднимается выше атмосферного на величину давления, создаваемого силой сопротивления со стороны поршня. При этом давление поднимается при постоянном объеме (1—2). При достижении давления, равного давлению со стороны поршня, дальнейшее образование пара идет за счет увеличения объема — поршень поднимается (2—3). При достижении некоторого крайнего положения открывается кран k_1 , и в цилиндр впрыскивается холодная вода. Давление пара падает до величины, соответствующей давлению насыщающего пара при температуре, установившейся в цилиндре после охлаждения (3—4). Под действием силы атмосферного давления поршень переходит из крайнего верхнего положения в крайнее нижнее (4—1). При этом давление насыщающего пара не меняется, часть его переходит в жидкость. Кран k_2 служит для выпуска воздуха при кипении воды при подготовке модели к работе.

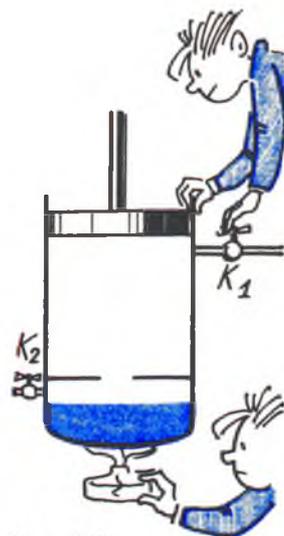


Рис. 140

2.34. Вполне строго цикл Карно неосуществим. Однако модель работы газа по циклу Карно можно представить в следующем виде (рис. 141). Цилиндр с поршнем заключены в «рубашке». Эта рубашка может быть теплоизолятором (заполненная воздухом), может быть нагревателем (заполненная горячей водой) и холодильником (заполненная

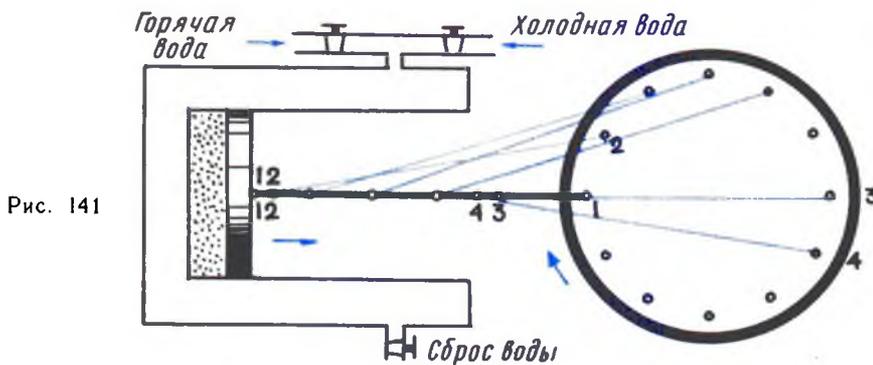


Рис. 141

холодной водой). Пусть поршень находится в крайнем левом положении. Наполним рубашку горячей водой. Газ в цилиндре будет расширяться и будет вращать маховик. Поскольку движение поршня не будет быстрым и теплоемкость воды велика по сравнению с теплоемкостью газа, процесс можно считать изотермическим. Через некоторое время (точка 2) скорость движения поршня увеличивается (увеличивается проекция окружной скорости цапфы шатуна на ось поршня), в этот же момент горячая вода выливается из рубашки. Поэтому расширение газа можно считать адиабатическим. При этом понижается температура газа и давление его резко падает. Начиная от точки 3 начинается обратное движение штока и связанного с ним поршня. В этот момент в рубашку заливается холодная вода (при температуре охладившегося газа ее можно заранее рассчитать). Поскольку движение поршня достаточно медленное и теплоемкость воды достаточно велика, процесс можно считать изотермическим (3—4). Начиная с некоторого момента (4) движение поршня ускорится (вода в этот момент выливается). Происходит адиабатическое сжатие газа. Восстанавливаются прежний объем, давление и температура. Сравнив площади $A 1 2 3 B$ и $A 1 4 3 B$, легко убедиться, что такая модель будет работать, поскольку работа сжатия газа меньше работы расширения. За счет избытка энергии, показанной на графике площадью криволинейного параллелограмма $1 2 3 4$, совершается механическая работа по перемещению поршня и вращению маховика.

2.35. Ожидание того, что водяной столб при своем движении будет испытывать сопротивление со стороны водяных паров, подобно поршню, помещенному в цилиндре с газом, основано на том, что не учитываются свойства водяного пара. При встряхивании трубки водяной столб движется от одного конца трубки к другому. При этом оба свободных конца заполнены насыщающим паром. Давление насыщающего пара зависит только от температуры и не зависит от изменяющегося объема. Поэтому давление водяного пара с обоих концов трубки все время одинаково. Следовательно, силы давления на оба конца водяного столба уравниваются и движение его, если не учитывать ничтожных сил трения о стенки трубки, можно считать свободным.

2.36. Кипятильник Франклина совершает колебательные движения. Объясняется это тем, что опущенный в теп-

лую воду шарик нагревается. Давление насыщающего пара в этом шарике повышается, и спирт перегоняется в пустой шарик. Последний перевешивает и опускается в воду. Явление повторяется.

2.37. Можно использовать тот же кипятильник Франклина (см. предыдущую задачу), но не с нагревателем, а с холодильником (рис. 142). Металлический противень со льдом или холодной водой устанавливается над кипятильником. При этом в поднятом шарике вместе с температурой будет падать и давление насыщающих паров. Жидкость будет перегоняться в этот шарик, и он будет перевешивать. В другом шарике явление будет повторяться.

Однако более интересным прибором подобного рода является игрушка «пьющий утенок» (см. рис. 54). Эта игрушка в принципе сходна с кипятильником Франклина. Верхний шарик эвакуированной герметической склянки, частично заполненный легко испаряющейся жидкостью, покрыт гигроскопической ватой. Увлажненная вата является холодильником. Давление охлажденных паров спирта в шарике падает, и тогда жидкость избыточным давлением насыщающих паров в нижнем шарике перегоняется в верхний. Центр тяжести игрушки перемещается, и она «пьет воду», смачивая при этом свою голову. В положении, близком к горизонтальному, трубка открывается, и давление в обоих шариках выравнивается. При этом жидкость стекает обратно в нижний шарик, и «утенок» вновь принимает вертикальное положение.

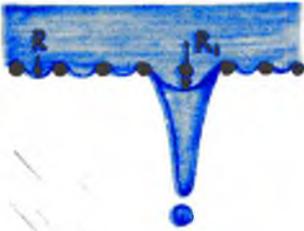
2.38. Вследствие поверхностного натяжения оплавленный край трубки принимает форму, которой соответствует наименьшая поверхность, — закругленную форму.

2.39. Мыло уменьшает поверхностное натяжение воды. Вследствие симметрии относительно точки O и отсутствия симметрии относительно какой-либо оси, лежащей в плоскости фигуры, фигура приходит во вращение относительно точки O . Движение каждого конца фигуры происходит в сторону острия, поскольку с этой стороны поверхностное натяжение уменьшается менее интенсивно.

2.40. Мыльный пузырь с отверстием сокращается в размерах. Это показывает на то, что мыльная пленка оказывает снаружи добавочное давление вследствие сил поверхностного натяжения.

Рис. 142





Мысленно рассечем пузырь плоскостью через центр сферы. Тогда каждая половина шара, образованного пленкой, будет действовать на другую с силой: $F = l\sigma = 2\pi R\sigma$. Через посредство заключенного в пузыре воздуха пленка будет оказывать давление на круговую площадку:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{2\pi R\sigma}{\pi R^2} = \frac{2\sigma}{R}.$$

Поскольку стенка мыльного пузыря двойная, то воздух внутри пузыря будет испытывать избыточное давление:

$$p_1 = \frac{4\sigma}{R}.$$

2.41. Мыльная пленка создает внутри пузыря избыточное давление:

$$p = \frac{4\sigma}{R}.$$

Величина этого давления обратно пропорциональна радиусу кривизны пленки. Поэтому в пузыре меньших размеров давление больше, а в пузыре больших размеров давление меньше. Поэтому, соединив два пузыря разных диаметров, мы наблюдаем, что меньший пузырь сокращается, а больший увеличивается.

2.42. При условии полного несмачивания под действием гидростатического давления hDg (где D — плотность воды, g — ускорение свободного падения, h — высота столба жидкости) поверхностная пленка воды будет провисать в ячейках (рис. 143). В случае равновесия гидростатического давления и давления, обусловленного поверхностным натяжением $R = \frac{2\sigma}{hDg}$, где σ — коэффициент поверхностного натяжения, а R — радиус кривизны (см. ответ к задаче 2.40).

2.43. Условие для непротекания несмачиваемого решета (см. ответ к задаче 2.42):

$$R \leq \frac{2\sigma}{hDg}.$$

Если же прикоснуться к палатке изнутри рукой или другим смачивающимся предметом, то этим самым можно увеличить радиус кривизны пленки до какой-то величины R_1 , и тогда возникнет протекание (рис. 143).



Рис. 143

2.44. При абсолютной смачиваемости силой поверхностного натяжения уравновешивается вес водяного столба, поднятого в капилляре:

$$2\pi R\sigma = \pi R^2 h D g,$$

где R — радиус капилляра, σ — коэффициент поверхностного натяжения, h — высота подъема жидкости в капилляре, D — плотность жидкости, g — ускорение свободного падения.

Отсюда высота подъема жидкости в капилляре:

$$h = \frac{2\sigma}{RDg}.$$

При подъеме жидкости сила поверхностного натяжения совершает работу:

$$A = Fh = 2\pi R\sigma \frac{2\sigma}{RDg} = \frac{4\pi\sigma^2}{Dg}.$$

Величина потенциальной энергии поднятой жидкости равна:

$$W_p = \pi R^2 h D g \frac{h}{2}$$

($\frac{h}{2}$ — высота, на которую поднимается центр тяжести водяного столба). Подставляя выражение для h , получим:

$$W_p = \pi R^2 D g \frac{2\sigma^2}{R^2 D^2 g^2} = \frac{2\pi\sigma}{Dg}.$$

Отсюда видно, что потенциальная энергия поднятой жидкости равна половине работы силы поверхностного натяжения. Другая половина пошла на увеличение поверхности жидкости.

2.45. В кристалле поваренной соли имеются взаимно перпендикулярные плоскости, в которых лежат атомы. Расстояния между ними велики по сравнению с другими расстояниями между атомами. Силы притяжения между атомами, лежащими в этих соседних плоскостях, сравнительно малы, поэтому здесь легче идет разрушение при возникших напряжениях.

2.46. Обычно металлы имеют поликристаллическую структуру, когда правильные микромонокристаллы соеди-

нены между собой хаотически. Явлений анизотропии при этом не наблюдается.

2.47. При охлаждении железной проволоки она сокращается. Однако при температуре около 710°C наблюдается внезапное удлинение. Это связано с переходом кристалла от более плотной упаковки к менее плотной, которая более соответствует минимуму потенциальной энергии атомов.

2.48. При устранении напряжения в случае упругой деформации форма тела восстанавливается за счет убыли внутренней энергии тела. При этом тело охлаждается.

2.49. При пластических деформациях слои атомов скользят относительно друг друга. В сплаве порядок нарушается, атомы примеси внедряются между слоями атомов основного металла. Это затрудняет скольжение атомных плоскостей относительно друг друга.

2.50. Поскольку разрушению предшествует пластическая деформация, для упрочнения металла нужно увеличить его сопротивление пластической деформации. Этой цели могут служить: легирование (добавка примесей), механическая или термическая обработка, направленная на размельчение зерен в поликристалле.

2.51. Игрушка работает за счет внутренней энергии окружающего воздуха, которая идет на испарение воды с головы «утенка» (см. также решение задачи 2.37).

Изменение состояния насыщающего пара, который периодически выталкивает жидкость в голову «утенка», показано на диаграмме (рис. 144). Вследствие охлаждения и понижения давления насыщающих паров в голове «утенка» насыщающие пары в нижнем шарике расширяются (1—2). Расширение идет при постоянном давлении, поскольку давление насыщающих паров зависит только от температуры. Протолкнув жидкость, пар охлаждается, и его давление падает при постоянном объеме (2—3). Жидкость стекает вниз и запирает пар в малом объеме, при этом давление пара не меняется. От окружающего воздуха температура пара поднимается до первоначальной. Подъему температуры соответствует подъем давления насыщающего пара [при постоянном объеме (1—4)]. При наклоне игрушки работа пара положительна $A_1 = p_1 \Delta V$, ($\Delta V > 0$), а при выпрямлении работа отрицательна $A_2 = -p_2 \Delta V$, ($\Delta V < 0$). Суммарная работа пара за один цикл изображается площадью 1234.

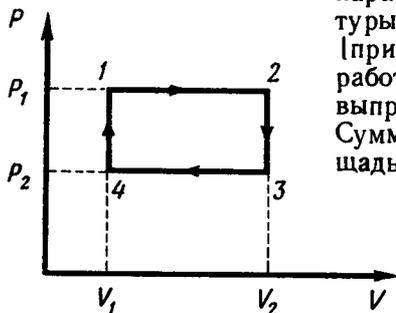


Рис. 144

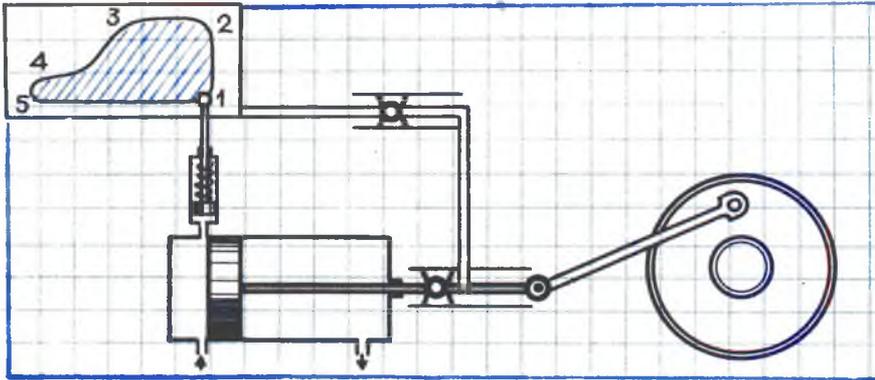


Рис. 145

2.52. Прибор для автоматического вычерчивания диаграммы цикла тепловой машины называется индикатором. На рисунке 145 представлена кинематическая схема прибора для автоматической записи индикаторной диаграммы парового двигателя. Участки диаграммы показывают: 1—2 — впуск пара, 2—3 — движение поршня при открытом впускном клапане, 3—4 — движение поршня при закрытом впускном клапане (адиабатическое расширение пара), 4—5 — выпуск отработавшего пара, 5—1 — обратное движение поршня за счет энергии маховика. Работа пара по перемещению поршня изображается площадью, ограниченной индикаторной диаграммой 1—2—3—4—5—1.

2.53. Совпадая в точности по форме диаграмм, циклы отличаются друг от друга направлением протекания процесса. Вследствие этого машина, соответствующая первой диаграмме, является двигателем, а машина, соответствующая второй диаграмме, является холодильником. В этом можно убедиться, сравнив по каждой диаграмме работы, совершенные газом и произведенные над газом (связанные с расширением газа и с его сжатием). В первом случае работа, совершенная газом (площадь $A 1 2 3 B$), больше работы, произведенной над ним (площадь $B 3 4 1 A$). Во втором случае — наоборот (рис. 146).

Реальные машины, работающие соответственно показанным диаграммам, могут быть представлены в виде следующих моделей.

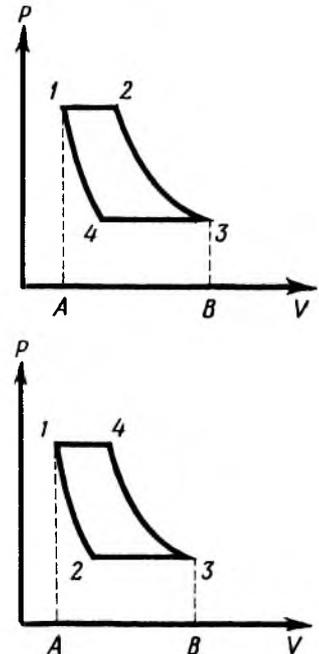
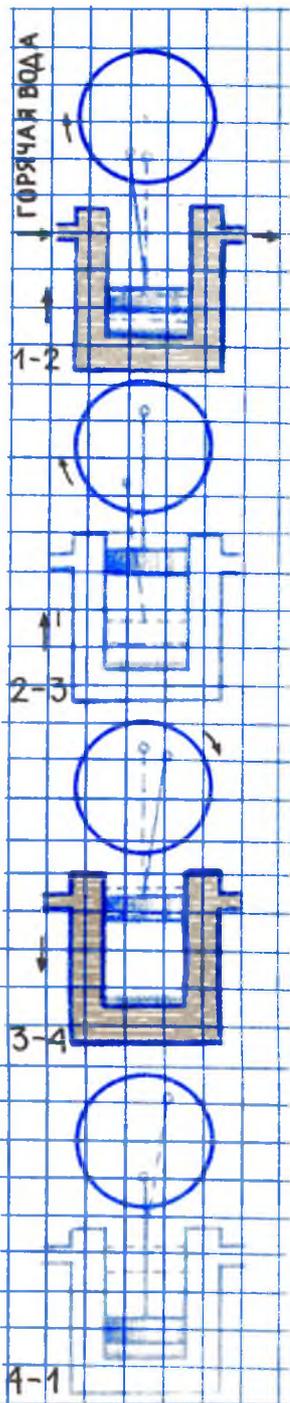


Рис. 146



а) Двигатель (рис. 147) представляет собой цилиндр в рубашке с поршнем, соединенным с маховиком посредством шатуна. Рабочим телом является насыщающий пар летучей жидкости, например эфира. В начале цикла рубашка цилиндра заполняется горячей водой. При температуре воды при постоянном давлении пар расширяется 1—2. Далее рубашка двигателя освобождается от воды и служит теплоизолятором. Пар расширяется адиабатически. При этом он охлаждается и частично конденсируется. Давление пара уменьшается 2—3. Далее рубашка заполняется водой при температуре охлажденного пара. При постоянных температуре и давлении насыщающего пара его объем уменьшается и еще большее количество пара конденсируется 3—4. Далее рубашка опять опустошается и за счет энергии маховика пар адиабатически сжимается 4—1. При этом температура и, следовательно, давление его достигают начальной величины. Далее цикл повторяется.

б) Холодильная машина устроена так же, как и двигатель, только процесс происходит в обратном направлении (рис. 148). Представим себе, что маховое колесо какого-то двигателя приводит в движение поршень холодильной машины. Пусть в цилиндре заключен насыщающий пар эфира при температуре окружающей сферы. Рубашка цилиндра пуста и поэтому является теплоизолятором. При движении поршня 1—2 происходит адиабатическое расширение паров. При этом температура их понижается. Рубашка заполняется охлаждаемой жидкостью, и дальнейшее расширение пара происходит при постоянном давлении 2—3. У жидкости, находящейся в рубашке, отнимается внутренняя энергия. Далее происходит адиабатическое сжатие пара 3—4. При этом температура и давление насыщающего пара увеличиваются. Далее рубашка заполняется водой при температуре пара. При этой температуре происходит его дальнейшее сжатие. При этом теплая вода нагревается.

Рис. 147

Рис. 148



2.54. Поверхностное натяжение у воды больше, чем у жирной кислоты, поэтому последняя растягивается до мономолекулярного слоя. Диаметр молекулы можно определить, измерив площадь образуемого каплей пятна на поверхности воды и определив объем олеиновой кислоты, содержащейся в капле раствора. Обозначим диаметр молекулы d , объем олеиновой кислоты в капле V , площадь образовавшегося пятна S . Тогда:

$$d = \frac{V}{S}.$$

Объем олеиновой кислоты можно определить, подсчитав количество капель в 1 см^3 и учтя разведение кислоты. Пусть при вытекании из бюретки раствора из 1 см^3 образовалось 53 капли. Тогда:

$$V = \frac{2}{53} 10^{-5} \approx 4 \cdot 10^{-7} \text{ (см}^3\text{)}.$$

Пусть на поверхности воды в кристаллизаторе от одной капли раствора олеиновой кислоты образовалось пятно диаметром 6 см. Тогда:

$$S = \pi R^2,$$

$$S = 3,14 \cdot 9 \approx 30 \text{ (см}^2\text{)}.$$

Откуда диаметр молекулы олеиновой кислоты:

$$d = \frac{4 \cdot 10^{-7}}{30} \approx 1,3 \cdot 10^{-8} \text{ (см)}.$$

2.55. Проще всего лабораторную работу поставить с водородом или углекислым газом (рис. 149). Для того чтобы определить легче или тяжелее воздуха исследуемый газ, взвешивают колбу с пробкой и делают попытку наполнить колбу, расположив ее горлышком книзу. Продержав около

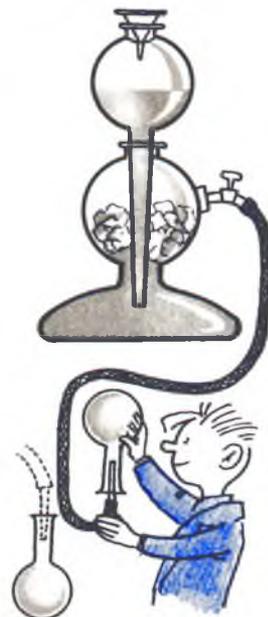
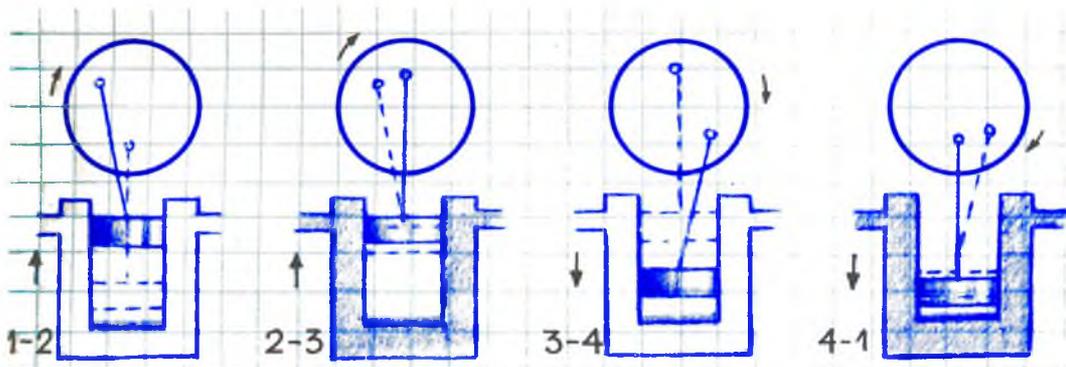


Рис. 149



минуты колбу под трубкой, подающей газ, затыкают колбу и взвешивают ее. Если разницы в весе не наблюдается, то, значит, исследуемый газ тяжелее воздуха и колбу следует наполнять в положении горлышком кверху.

Для того чтобы определить молекулярный вес газа, необходимо сравнить его плотность с плотностью воздуха. Так как при одних и тех же условиях одинаковые объемы газов содержат одинаковое число молекул, то отношение плотностей равно отношению молекулярных весов:

$$\frac{D_x}{D_{\text{возд}}} = \frac{M_x}{M_{\text{возд}}},$$

отсюда

$$M_x = M_{\text{возд}} \frac{D_x}{D_{\text{возд}}}.$$

Поскольку воздух и газ взвешиваются в одной и той же колбе, то отношение плотностей газов равно отношению их масс, значит:

$$M_x = M_{\text{возд}} \frac{m_x}{m_{\text{возд}}}.$$

Масса воздуха равна произведению объема колбы на плотность воздуха:

$$m_{\text{возд}} = VD_{\text{возд}}.$$

Масса исследуемого газа больше или меньше массы воздуха на величину Δm , которая определяется в результате взвешивания.

Пусть оказалось, что масса колбы с воздухом: $m_1 = 74,470$ г, масса колбы с исследуемым газом: $m_2 = 74,710$ (г), тогда:

$$\Delta m = 74,710 - 74,470 = 0,240 \text{ (г)}.$$

При этом объем колбы оказался равным:

$$V = 372 \text{ (см}^3\text{)}.$$

Отсюда:

$$m_{\text{возд}} \approx 372 \cdot 0,0013 \approx 0,480 \text{ (г)};$$

$$m_x \approx 0,480 + 0,240 = 0,720 \text{ (г)}.$$

Следовательно:

$$M_x = 29 \frac{0,720}{0,480} \approx 44.$$

Результаты опыта дают основания предполагать, что исследуемый газ — CO_2 .

2.56. Если соединить колбу с манометром (стеклянные трубка и воронка, соединенные резиновой трубкой и наполненные водой), то при опускании колбы в теплую воду и изменении температуры воздуха в колбе одновременно будут меняться и объем воздуха и его давление в соответствии с уравнением состояния газа:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}.$$

Поднимая воронку, можно компенсировать изменение объема добавочным давлением. Тогда при $V_1 = V_2$ можно записать:

$$p_1 T_2 = p_2 T_1 \quad \text{и} \quad T_2 = T_1 \frac{p_2}{p_1}.$$

Пусть термометр на приборной доске в классе показывает $18,5^\circ \text{C}$, а барометр — $1,008 \text{ кг/см}^2$. При опускании колбы в теплую воду и компенсации расширения газа дополнительное давление водяного столба равно $0,035 \text{ кг/см}^2$. Тогда температура воды может быть найдена:

$$T_2 = \frac{291,5 (1,008 + 0,035)}{1,008} \approx 316,2 \text{ (}^\circ\text{K)}$$

или

$$t = 316,2 - 273 = 43,2 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

2.57. При опускании конца связанных стеклянных пластинок наблюдается капиллярное явление — керосин поднимается между пластинами выше своего уровня в банке на некоторую высоту. При полном смачивании стекла керосином вес поднятого столба жидкости в капилляре равен силе поверхностного натяжения. Если обозначить ширину пластинок l , величину зазора между пластинами d , плотность жидкости D , коэффициент поверхностного натяжения σ , то силу поверхностного натяжения можно выразить $F = 2l\sigma$, а вес поднятой жидкости $P = VDg = hldDg$. Следовательно, $2l\sigma = hldDg$. Отсюда можно определить:

$$h = \frac{2\sigma}{dDg}. \quad (1)$$

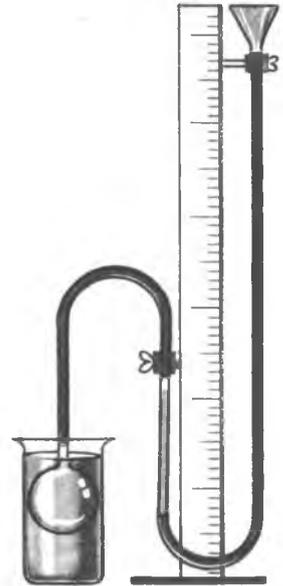


Рис. 150

Значит, высота подъема жидкости между пластинами обратно пропорциональна величине зазора между ними:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{d_2}{d_1}.$$

Пусть измерения показывают, что при зазоре между пластинами в два листа бумаги $h_1 = 2,7$ см, а при зазоре в три листа бумаги $h_2 = 1,8$ см.

Берем отношение:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{2,7}{1,8} = \frac{3}{2}.$$

Это подтверждает наше предположение о причине подъема керосина между пластинами. Исходя из этого предположения можно определить толщину бумажных листов, зажатых между стеклянными пластинами.

Из формулы (1) следует:

$$d = \frac{2\sigma}{hDg}.$$

Из таблиц находим для керосина $\sigma = 24$ дин/см, $D = 0,8$ г/см³. Значит,

$$d = \frac{2 \cdot 24}{2,7 \cdot 0,8 \cdot 980} \approx 0,023 \text{ (см)}.$$

Поскольку зазор образован двумя листами бумаги, толщина одного листа $d_1 = \frac{0,023}{2} \approx 0,012$ (см).

Проверяем непосредственным измерением. Пачка 180 листов имеет толщину 2,0 см, следовательно, толщина одного листа:

$$\frac{2,0}{180} = 0,012 \text{ (см)}.$$

2.58. Возможный вариант конструкции представлен схематически на рисунке 151. Колебания тонкого стального обруча, сделанного из часовой пружины, обеспечивают необходимые для хаотического движения шариков импульсы. Обруч приводится в колебательное движение путем вращения ручки, на которой насажена шестеренка от часов. Гладкая пластинка из плексигласа обеспечивает почти свободное между соударениями движение шариков. Прозрачность пластинки дает возможность использовать прибор

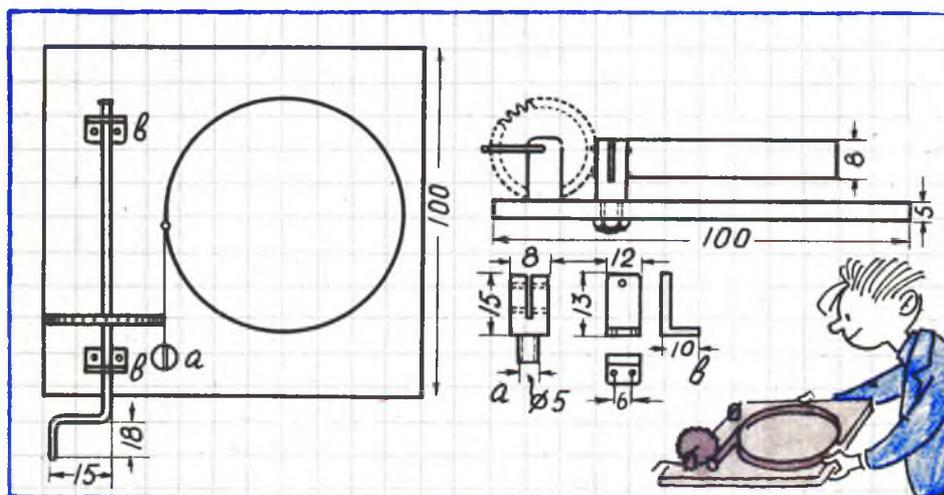


Рис. 151

как для непосредственных наблюдений, так и для наблюдений в диапроекции на экран.

2.59. Через некоторое время после погружения плодов в воду будет заметно их набухание, которое приведет в конце концов к разрыву оболочки плода. Явление объясняется диффузией, скорость которой в одном направлении (в данном случае внутрь плода) больше, чем в другом (из плода). Это явление подобно диффузии газов через пористую перегородку.

То же самое показывает опыт с морковью. Через некоторое время после погружения ее в воду будет заметен подъем уровня раствора в трубке. За несколько часов этот уровень поднимется на несколько сантиметров. Очевидно, что скорость диффузии молекул чистой воды через пористую перегородку больше скорости диффузии концентрированного раствора сахара через эту же перегородку. Это явление имеет большое значение в биологии. Оно называется осмосом.

2.60. Пневматические весы могут быть осуществлены как соединение водяного манометра и мехов гармошки.

Если на верхнюю крышку мехов оказывать давление, то манометр будет показывать величину этого давления. Численно оно будет равно действующей силе, деленной на площадь крышки мехов.

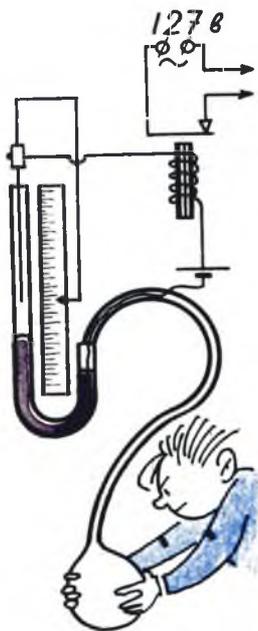


Рис. 152

Пневматические весы интересны тем, что позволяют взвешивать без разновесок и без предварительной градуировки прибора. Сантиметровая шкала водяного манометра и известная величина площадки, на которую опирается стерженек, — вот все, что необходимо для взвешивания на таких весах.

При отсутствии готового водяного манометра его легко изготовить, соединив куском резиновой трубки две параллельно расположенные стеклянные трубки.

2.61. Вариантов конструкции может быть предложено множество. Остановимся на двух простейших и наиболее целесообразных.

а) Терморегулятор на основе газового термометра (рис. 152). Колба емкостью 150—200 см³ соединяется с дважды изогнутой трубкой. Трубку с колбой лучше всего спаять. Предварительно в трубку пропускается медный луженый провод, и в U-образной части трубка заполняется ртутью. Второй толстый медный луженый провод выгибается в виде прямоугольной рамки (для удобства регулировки) и вводится через хомутик с зажимным винтом в открытый конец манометрической трубки. Концы проводов соединяются последовательно с источником напряжения и обмоткой нормально замкнутого реле. При превышении заданной температуры в термостате столбик ртути в открытом колене поднимается и замыкает цепь реле. Оно срабатывает, и цепь нагревателя размыкается. При остывании колбы столбик ртути в открытом колене вновь опустится, и реле вновь замкнет цепь нагревателя (например, электроплитки или лампы).

Высоту U-образной трубки легко рассчитать, исходя из требований, которым должен удовлетворять терморегулятор. Пусть температурный режим должен регулироваться в пределах от 20 до 50° С. Очевидно, давление при этом будет меняться от p_0 до $p_1 = p_0 \frac{T_1}{T_0} = p_0 \frac{323}{293} 1,1 p_0$. Таким образом давление будет возрастать на 0,1 атмосферного. При этих условиях достаточно, чтобы высота заполненной части U-образной трубки была около 10 см.

Вместо опасной ртути, пары которой ядовиты, можно с успехом использовать раствор медного купороса. В этом случае прибор будет обладать даже большей чувствительностью. Однако высота заполненной части U-образно



трубки манометра в этом случае должна быть раз в 10 больше, чем для ртути, либо должен быть соответственно уменьшен диапазон регулируемых температур.

При использовании медного купороса колбу спаивать с трубкой манометра нецелесообразно. Достаточно соединить их резиновой трубкой.

б) Терморегулятор на основе использования свойств биметаллической пластинки.

Биметаллическую пластинку можно приготовить из пластинок любых двух металлов с разным коэффициентом линейного расширения. Можно, например, взять полоски стали и алюминия. Для терморегулятора достаточно взять пластинки следующих размеров $60 \times 5 \times 0,5$ мм. Пластины накладываются одна на другую и соединяются заклепками, которые отстоят друг от друга на расстоянии 10 мм. Биметаллическая пластинка включается в цепь по схеме рисунка 153.

Рис. 153

3.1. Различные средства борьбы с электризацией основаны на том, что создаются условия для электропроводимости. Например, увлажнение воздуха в помещении, где происходит электризация материалов. Покрытие материалов проводящим слоем, например порошком графита и т. п.

3.2. Для этой цели служат специальные полые кондукторы. Заряженный шарик вносится в полость и касается кондуктора с внутренней стороны. Вследствие отталкивания одноименных зарядов, последние полностью переходят на поверхность полого шара.

3.3. Для этого нужно уменьшить один из зарядов в два раза. В самом деле, отклонение шарика зависит от силы взаимодействия зарядов. Эта сила уравнивается составляющей силы тяжести (рис. 154), которая пропорциональна отклонению шарика от положения равновесия $F = D \frac{P}{L}$.

Половину заряда с шарика можно снять, прикоснувшись к нему незаряженным шариком такого же диаметра.

3.4. Для этой цели служит экранирование — заключение лампы в металлический кожух. При возникновении электрического поля вокруг лампы на кожухе индуцируются заряды. В результате силовые линии электрического поля

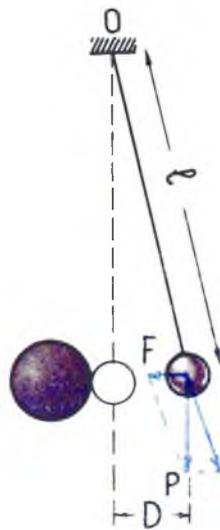


Рис. 154

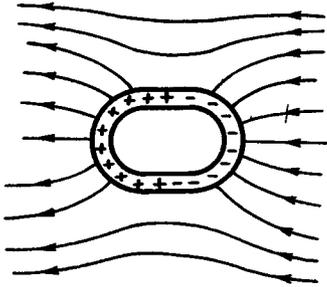


Рис. 155

заканчиваются на кожухе, не проникая внутрь него (рис. 155).

3.5. Электрометры от каждого прикосновения шарика получают одинаковые количества электричества. Однако потенциалы их при этом возрастают по-разному, в зависимости от емкости:

$$V = \frac{q}{C}.$$

Поэтому стрелка электрометра с большим кондуктором отклоняется меньше, чем стрелка электрометра с меньшим кондуктором.

3.6. Если сблизить металлические пластинки 1, предотвратив возможность их непосредственного соприкосновения (изолировав 2), то получится конденсатор. При соединении его пластин с источником напряжения 3, на пластинках возникнут разноименные заряды, которые будут притягиваться. Причем сила взаимодействия зарядов определится по закону Кулона $F = \frac{q^2}{r^2}$ (полагаем для простоты $\epsilon = 1$).

Величина заряда на каждой из пластин будет $q = VC$. Следовательно, $F = \frac{V^2 C^2}{r^2}$, откуда $V = \frac{r}{C} \sqrt{F}$. Учтывая, что для плоского конденсатора $C = \frac{S}{4\pi r}$, получим:

$$V = \frac{4\pi r^2}{S} \sqrt{F} \text{ (рис. 156).}$$

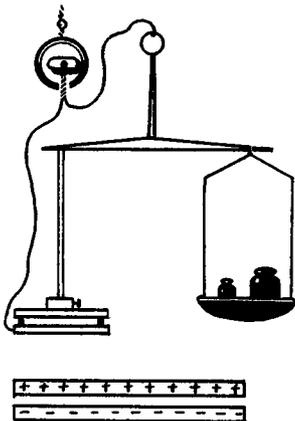
Однако нужно иметь в виду то, что практически осуществить такой эксперимент очень трудно. Сила взаимодействия между пластинами значительна лишь на очень малых расстояниях.

3.7. При уменьшении электроемкости конденсатора, а следовательно, и всей системы конденсатор — электрометр между проводниками будет увеличиваться разность потенциалов $U = \frac{q}{C}$ (q изменяться не будет, так как тока в цепи нет). При увеличении емкости, наоборот, разность потенциалов будет уменьшаться. Эти изменения разности потенциалов и будет показывать электрометр.

3.8. Стрелка гальванометра будет отклоняться при замыкании и размыкании цепи, а также при изменении емкости конденсатора. В самом деле:

$$U = \frac{q}{C},$$

Рис. 156



значит, при изменении емкости будет происходить выравнивание потенциалов пластин конденсатора и зажимов источника напряжения. При этом стрелка гальванометра будет отклоняться.

3.9. Во втором случае неоновая лампа горит непрерывно, а яркость ее горения убывает, так как разность потенциалов на пластинах конденсаторов при этом постепенно выравнивается. Источник же напряжения (выпрямитель) дает постоянную разность потенциалов, что обеспечивает постоянный режим работы лампы.

3.10. Возможный вариант модели представлен на рисунке 157. Стекло́нная трубка в виде баранки укреплена на доске. Последняя насаживается на ось центробежной машины так, что баранка может быть приведена во вращение вокруг своей оси. Через специальное отверстие в трубке запускается несколько металлических шариков. Трубка приводится во вращение, а затем резко тормозится. При этом шарики по инерции совершают круговое движение.

3.11. Если привести в быстрое вращение диск (рис. 158), то для удержания частиц, расположенных на различных расстояниях от оси вращения, потребуется различная центростремительная сила. Свободные электроны по инерции будут перемещаться от центра к периферии до тех пор, пока не образуется достаточная напряженность поля для удержания свободного электрона на круговой орбите $F = Ee$, где F — центростремительная сила, а e — заряд электрона. Следовательно:

$$m4\pi^2Rn^2 = Ee.$$

Откуда:

$$E = 4\pi^2Rn^2 \frac{m}{e},$$

где m — масса электрона, R — его расстояние от центра, а n — число оборотов в секунду, совершаемое диском при вращении (рис. 159). Значит, между центром и периферией возникнет разность потенциалов:

$$U = ER = 4\pi^2R^2n^2 \frac{m}{e}.$$

Рис. 157

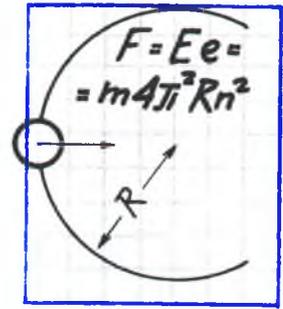


Рис. 159

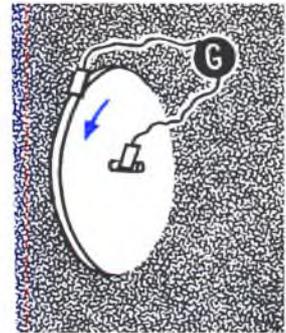


Рис. 158

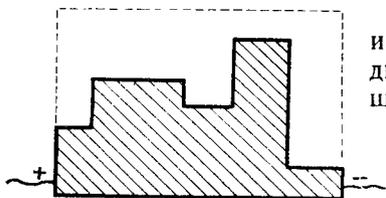


Рис. 160

Задавшись чувствительностью гальванометра $U = 10^{-8}$ в и радиусом диска $R = 0,25$ м, можем рассчитать необходимое число оборотов в секунду, которое должен совершать диск для обнаружения эффекта:

$$n = \sqrt{\frac{Ue}{4\pi^2 R^2 m}} = \frac{1}{2\pi R} \sqrt{V \frac{e}{m}} = \\ = \frac{1}{2 \cdot 3,14} \cdot \sqrt{10^{-8} \cdot 1,7 \cdot 10^{11}} \approx 7 \left(\frac{\text{об}}{\text{сек}} \right).$$

3.12. Для этого достаточно вырезать из листового проводника, например из металлической фольги, фигуру (рис. 160). Листовой проводник нужно взять в форме прямоугольника и вырезать в нем по краю фигуру, образованную зеркальным отражением графика (рис. 60). В самом деле, если взять проводник в виде листа прямоугольной формы и создать на его концах постоянную разность потенциалов, то в проводнике образуется однородное электрическое поле. Если вырезать в листе выемки прямоугольной формы, то в каждом образовавшемся прямоугольнике будет также однородным (рис. 161), но напряженность будет различной. Она будет прямо пропорциональна напряжению на каждом из участков $E = \frac{U}{l}$, напряжение же будет зависеть от сопротивления участков $U = IR$ (величина тока для всех участков одна и та же). Причем $R = \rho \frac{l}{S}$, значит,

$$E = \frac{U}{l} = \frac{IR}{l} = \frac{l\rho}{S},$$

где ρ — удельное сопротивление проводника. Отсюда видно, что напряженность внутри фигурного проводника зависит только от его площади поперечного сечения, т. е. от ширины.

3.13. Схема установки выключателей показана на рисунке 162. Переключение любого из выключателей дает возможность включить и выключить лампу, независимо от положения другого выключателя (при условии, конечно, что подвижный контакт выключателя всегда будет прижат к одному из проводов).

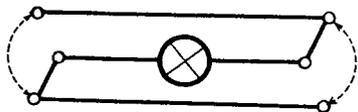


Рис. 162

3.14. Ток, который показывает амперметр, это суммарный ток в проводнике R и в вольтметре. Чем больше будет сопротивление вольтметра, тем меньше будет погрешность в определении силы тока и, следовательно, в определении сопротивления проводника.

3.15. Пусть измеряемое сопротивление R , сопротивление вольтметра R_v , напряжение на концах проводника U , сила тока в проводнике I , в вольтметре I_v , тогда

$$R = \frac{U}{I - I_v} = \frac{U}{I - \frac{U}{R_v}} = \frac{UR_v}{IR_v - U}.$$

3.16. Сила тока в проводнике r при подключении вольтметра к точкам BC (рис. 163) равна напряжению на концах этого проводника, деленному на его сопротивление:

$$i_1 = \frac{U_1}{r} = \frac{U}{r_1 + \frac{r r_v}{r + r_v}} \cdot \frac{r r_v}{r + r_v} \cdot \frac{1}{r} = \frac{U r_v}{r_1 r + r_v (r_1 + r)},$$

где r_1 — сумма сопротивлений (добавочного и амперметра).

Сила тока, которую показывает амперметр при подключении вольтметра к точкам AB (рис. 164), равна напряжению на участке AB , деленному на его сопротивление:

$$i = \frac{U_r}{r_1} = \frac{U}{r + \frac{r_v r_1}{r_v + r_1}} \cdot \frac{r_v r_1}{r_v + r_1} \cdot \frac{1}{r_1} = \frac{U r_v}{r r_1 + r_v (r + r_1)},$$

т. е. амперметр при таком включении показывает величину тока, равную току в проводнике r при параллельном подключении к нему вольтметра.

3.17. Чтобы получить нужную силу тока, в сеть нужно включить сопротивление

$$R = \frac{U_{\text{сст}}}{I} = \frac{127}{0,28} = 470 \text{ (ом)}.$$

Рис. 164

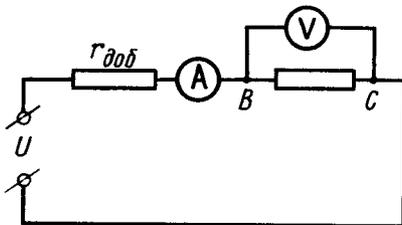
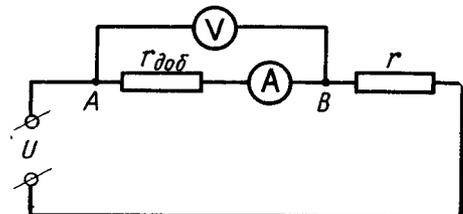


Рис. 163



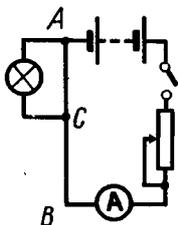


Рис. 165

Вычитая из этого сопротивления сопротивление лампочки, получим величину добавочного сопротивления:

$$R_{доб} \approx R - R_{\lambda} = R - \frac{U_{\lambda}}{I}.$$

Следовательно, $R_{доб} \approx 470 - \frac{3,5}{0,28} \approx 457$ (ом). Значит, движок реостата должен быть от конца реостата на расстоянии

$$l \frac{R_{доб}}{R} = l \frac{457}{5000} \approx 0,09l.$$

3.18. Если вместо вольтметра к зажимам потенциометра присоединить лампочку на 3,5 в, то она гореть не будет, так как при этом напряжение перераспределится по участкам цепи. Поскольку сопротивление участка *AB* уменьшится (сопротивление лампы меньше сопротивления вольтметра), то и напряжение на этом участке будет меньше, чем в случае присоединения к точкам *AB* вольтметра. В этом можно убедиться, снова подключив вольтметр к *AB* параллельно лампочке. В этом случае вольтметр покажет напряжение значительно меньшее, чем требуется. Для нормального горения лампочки движок потенциометра нужно передвинуть влево.

3.19. Пусть задача решена (рис. 165): лампочка присоединена к участку провода *AC* и горит нормально. Обозначим сопротивление провода *AB* — R , *AC* — R_1 , лампочки — R_2 , напряжение на концах провода — U , величину тока в лампочке — I , тогда:

$$I = \frac{U}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + (R - R_1)}.$$

Из этого уравнения можно определить сопротивление участка *AC*, к которому должна быть присоединена лампочка. Однако практически задача решается гораздо проще. Сопротивление лампочки равно $R_2 = \frac{3,5}{0,28} \approx 13$ (ом), т. е. значительно больше, чем сопротивление любого участка провода *AB*. Следовательно, при параллельном присоединении лампочки к какому-то участку сопротивление его уменьшится незначительно. Из этих соображений вытекает, что длина провода *AC* приблизительно должна быть равна:

$$AC = AB \frac{R_1}{R} = AB \frac{U_1}{U} = AB \frac{3,5}{6} \approx 0,6 AB.$$

3.20. Лампа на 127 в горит от анодной батареи, а лампа на 6 в не горит. Объясняется это тем, что сопротивление автомобильной лампы (3 ом) значительно меньше сопротивления сетевой лампы (600 ом). Внутреннее же сопротивление гальванической батареи велико. Поэтому на малом внешнем сопротивлении автомобильной лампочки анодная батарея не дает и требуемых 6 в. В то время как сопротивление сетевой лампы велико в сравнении с внутренним сопротивлением батареи.

3.21. Соединить концы кабеля (рис. 166) со стороны BC, а со стороны AD концы кабеля присоединить к реохорду, подав на него некоторую разность потенциалов. Заземлив один из зажимов гальванометра, проводом от другого зажима следует найти такую точку, потенциал которой равен нулю. При этом длины кабеля l_{EABCL} и l_{LDG} относятся как отрезки струны реохорда EK и KG:

$$\frac{l_{EABCL}}{l_{LDG}} = \frac{EK}{KG}.$$

Как видно, получилась схема моста Уитстона.

3.22. Простейший омметр может быть получен последовательным соединением батареи от карманного фонаря, гальванометра, добавочного сопротивления и ключа (рис. 167). Величина добавочного сопротивления подбирается такой, чтобы при замыкании ключа K стрелка гальванометра отклонялась в крайнее правое положение. На шкале прибора это будет нуль омметра. При включении любого сопротивления к точкам M при разомкнутом ключе общее сопротивление цепи будет больше, а ток — меньше. Прибор градуируется практически по эталонам. Пусть верхний предел измерения прибора U_m , его сопротивление R_g , э. д. с. батареи E, ее внутреннее сопротивление R_0 , тогда величина добавочного сопротивления может быть определена из уравнения:

$$U_m = \frac{E}{R_2 + R_0 + R_g} R_2,$$

$$R_0 = \frac{ER_2 - U_m R_2 - U_m R_g}{U_m}.$$

Рис. 166

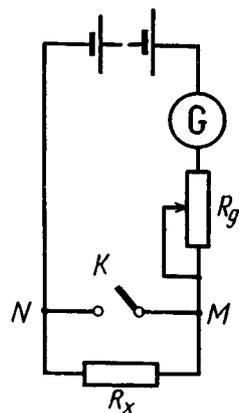
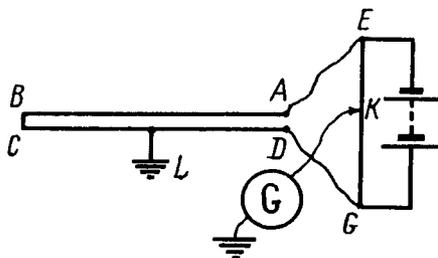


Рис. 167

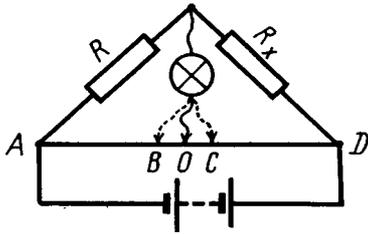


Рис. 168

3.23. Неизвестное сопротивление можно измерить, если составить цепь по схеме моста Уитстона, используя в качестве индикатора тока лампочку от карманного фонаря (рис. 168). Пусть на реохорде найден участок BC , на котором лампочка не светится. Тогда среднюю точку этого участка следует принять за нулевую. Величина измеряемого сопротивления будет:

$$R_x = R \frac{OD}{AO}.$$

3.24. Если в цепь последовательно соединить источник напряжения, амперметр и кусок тонкой проволоки, то проволока разогреется до определенной температуры и в цепи установится ток определенной силы. Если подуть на проволоку, то она будет охлаждаться и сопротивление ее уменьшится, при этом амперметр покажет увеличение тока в цепи. На этом принципе может быть изготовлена модель анемометра (рис. 169). В качестве датчика можно использовать нить накала разбитой лампочки. Шкала такого анемометра градуируется практическим путем.

3.25. а) При слабом накале волосок лампы испускает мало электронов и они не оказывают влияния на явление: нить накала притягивается к наэлектризованной палочке.

б) При среднем накале достаточное количество электронов осаждается на баллоне лампы и происходит экранизация волоска. Он не притягивается к палочке в момент ее приближения, но притягивается в момент удаления (тем зарядом, который образовался на стекле).

в) При сильном накале газ в баллоне лампы частично ионизируется, становится проводником и полностью экранирует нить накала. Она вообще не реагирует на заряженную палочку.

3.26. а) При включении лампы листочки положительно заряженного электроскопа опадают. Объясняется это тем, что заряд с электроскопа «отвлекается» на фольгу, поскольку внутри баллона образуется отрицательный заряд из электронов, испускаемых нитью накала лампы.

б) При отрицательном заряде электроскопа листочки при включении лампы не опадают, поскольку в газе лампы не содержится свободных положительных зарядов.

в) При сильном накале лампы происходит частичная ионизация газа. В этом случае и листочки отрицательно заряженного электроскопа опадают. Механизм этого явления аналогичен случаю *a*.

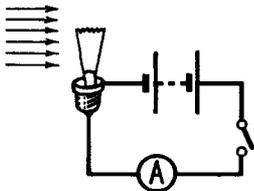


Рис. 169

3.27. При разомкнутой цепи накала в анодной цепи еще некоторое время (пока не остынет катод) наблюдается электрический ток.

3.28. При замыкании анодной цепи свечение нити накала заметно ослабевает, хотя напряжение накала не меняется. Объясняется это тем, что при возникновении анодного тока эмиссия электронов усиливается. Причем это происходит за счет внутренней энергии нити накала, которая охлаждается. Это явление аналогично охлаждению жидкости при возникновении ветра, который уносит с ее поверхности образующиеся пары.

3.29. Схема простейшего усилителя низкой частоты показана на рисунке 170. Электрические колебания, возникающие в обмотке микрофона, подаются на сетку триода и усиливаются.

3.30. Схема простейшего генератора пилообразного напряжения представлена на рисунке 171. От источника постоянного напряжения конденсатор постепенно заряжается, и напряжение на его обкладках плавно возрастает от 0 до некоторой величины U , при которой зажигается неоновая лампа, а конденсатор практически мгновенно разряжается. Затем процесс повторяется.

3.31. Вылетая из электронной «пушки», электронный луч проходит между двумя парами взаимно перпендикулярных пластин x и y (рис. 172). На пару пластин x подается пилообразное напряжение. Благодаря этому при отсутствии разности потенциалов на пластинах y , электронный луч пробегает по экрану (например, слева направо) по оси x , оставляя светящуюся линию. На пару пластин y подается разность потенциалов при замыкании контактов движущимся шариком (рис. 69). При этом на экране получают два всплеска, если от одного контакта до другого шарик успевает докатиться за период развертки.

3.32. Для получения синусоиды необходимо генератор развертки настроить так, чтобы период развертки совпадал с периодом колебаний камертона. При этом синусоида на экране будет неподвижна.

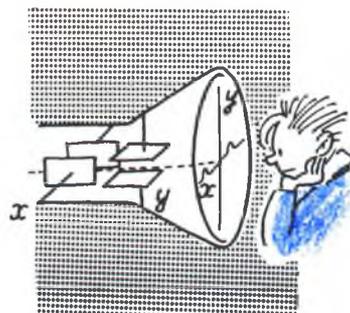


Рис. 172

Рис. 171

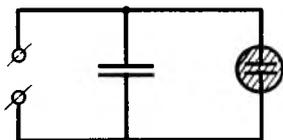


Рис. 170



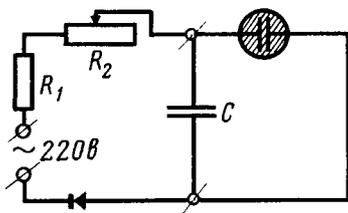


Рис. 173

3.33. Простейшая схема генератора пилообразного напряжения с регулируемой частотой показана на рисунке 173. Частота регулируется с помощью реостата R_2 . В зависимости от величины сопротивления в цепи конденсатор C заряжается в больший или меньший промежуток времени, которым, по существу, и определяется период пилообразного напряжения.

3.34. Следует к зажимам осциллографа «ось y » подать какое-либо периодически изменяющееся напряжение, например через понижающий трансформатор от сети.

3.35. Если на пластины DE (рис. 174) подать некоторую разность потенциалов, создав однородное электрическое поле с напряженностью E , то на движущийся электрон между пластинами будет действовать сила $F = eE$, направленная вертикально (вниз или вверх, в зависимости от знаков электрического заряда на пластинах D и E). При этом электрон получит ускорение $a = \frac{Ee}{m}$. В результате за время полета между пластинами он сместится в вертикальном направлении на некоторую величину $h = \frac{at^2}{2}$. Время движения электрона между пластинами $t = \frac{l}{v}$, где l — длина пластин, а v — скорость движения электрона. Отсюда:

$$h = \frac{Eel^2}{2mv^2} \quad \text{и} \quad \frac{e}{m} = \frac{2v^2h}{El^2}.$$

Принимая во внимание, что $h = \frac{lx}{L}$, получим:

$$\frac{e}{m} = \frac{2v^2x}{ElL}.$$

3.36. Вольтамперная характеристика такого вида может быть получена в газе при самостоятельной проводимости.

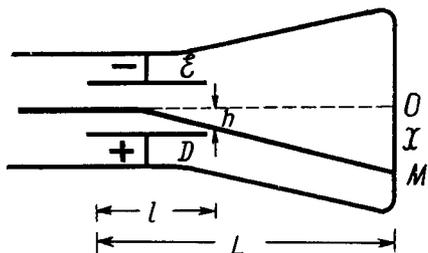


Рис. 174

Сходная характеристика у вакуумного диода при определенном напряжении на накальном катоде. И в том и в другом случае величина тока насыщения определяется внешними факторами: мощностью нагревателя катода или мощностью ионизатора.

3.37. Датчиком для счетчика ионизирующих частиц может быть стеклянный баллон, заключающий в себе инертный газ при определенном давлении и два впаянных электрода (рис. 74). Если подать на электроды высокую разность потенциалов, то каждая ионизирующая частица будет являться причиной тока в датчике, который может быть зарегистрирован чувствительными приборами.

3.38. При достаточно высокой разности потенциалов между электродами при каждом попадании ионизирующих частиц внутри счетчика будет развиваться газовый разряд, так как образующиеся в результате ионизации электроны в этом поле будут получать достаточную энергию для ионизации встретившихся на их пути молекул. Количество носителей заряда в газе при этом будет увеличиваться, а следовательно, увеличится и сам токовый импульс.

3.39. Если плавно повышать напряжение на электродах в газе, то в конце концов наступит момент, когда попадания одной ионизирующей частицы будет достаточно для возникновения самостоятельной проводимости, для возникновения дугового разряда между электродами. При такой разности потенциалов разряд нарастает лавинообразно.

3.40. Для того чтобы ток в датчике был прерывистым и при самостоятельной проводимости, т. е. чтобы при высоком напряжении на электродах датчика, усиливающем импульсы тока, датчиком можно было бы пользоваться, последовательно с датчиком следует включить большое сопротивление (рис. 175). Тогда при уменьшении сопротивления датчика, когда газ становится проводником, напряжение на нем уменьшается и разряд прекращается.

3.41. Этого можно достигнуть либо путем изменения расстояния между электродами, либо путем изменения давления газа внутри баллона. В самом деле, для расщепления молекулы на ионы электрон должен обладать достаточной кинетической энергией $\frac{mv^2}{2}$. Эта энергия зависит от разности потенциалов в начале и в конце пробега электрона:

$$\frac{mv^2}{2} = Ue = E\lambda e.$$

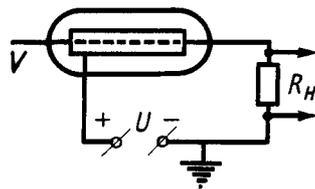


Рис. 175

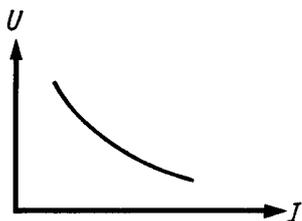


Рис. 176

Таким образом, кинетическая энергия, которую приобретает электрон в электрическом поле, зависит от двух величин: от напряженности поля и от длины свободного пробега электрона. Первое может регулироваться путем изменения расстояния между электродами, второе — путем изменения давления газа.

3.42. а) Накальный катод обеспечивает не самостоятельную одностороннюю проводимость лампы.

б) При неразогретом катоде эмиссия электронов отсутствует, сопротивление газа в лампе резко возрастает, резко возрастает и падение напряжения между электродами лампы. Вследствие этого возникает опасность пробоя (разрушения) лампы.

в) Дуга имеет падающую вольтамперную характеристику (рис. 176). Это значит, что при увеличении тока электропроводность дуги сильно возрастает, так как усиливается термоэлектронная эмиссия и ионизация газового промежутка. Это влечет за собой нарастание тока и еще большее возрастание электропроводности. Чтобы уберечь лампу от разрушения, последовательно с ней ставят ненагрузочное сопротивление.

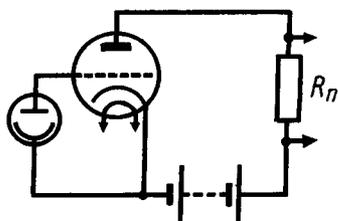


Рис. 177

3.43. 1) Термопара, термосопротивление; 2) угольный порошок; 3) фотосопротивление, фотоэлемент.

3.44. Схема усилителя для фотоэлемента на триоде представлена на рисунке 177. Разность потенциалов с фотоэлемента подается на сетку триода. Усиленный сигнал снимается с сопротивления R_n .

3.45. В обоих случаях напряжение на концах обмотки реле, а значит, и сила тока в обмотке не достигают величин, достаточных для срабатывания реле до тех пор, пока не зарядится конденсатор. Задержка времени будет тем больше, чем больше емкость конденсатора и величина сопротивления.

3.46. На рисунке 178 представлена схема термореле.

3.47. На рисунке 179 а дана принципиальная схема реле времени. Полупроводниковое термосопротивление по-

Рис. 178

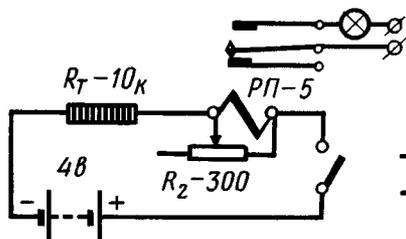


Рис. 179 а.

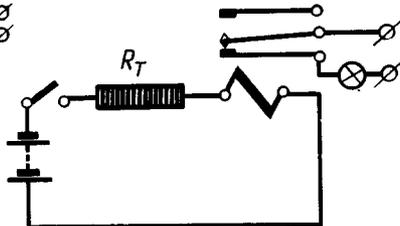


Рис. 179 б.

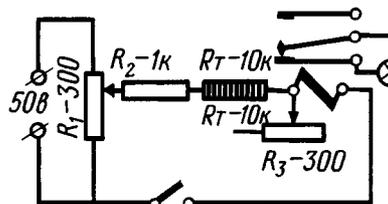
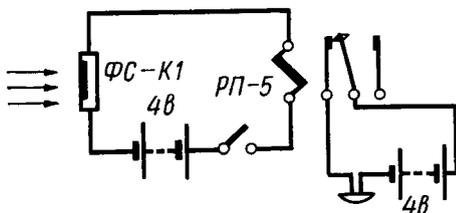


Рис. 180



степенно нагревается после замыкания цепи. При этом его сопротивление уменьшается, а ток увеличивается, пока, наконец, не срабатывает реле. На рисунке 179 б дана схема цепи для сборки реле времени в классе. Параллельно катушке реле включают реостат и устанавливают его ползунок в такое положение, чтобы реле не срабатывало при замыкании цепи. С помощью потенциометра можно регулировать напряжение и вместе с ним время выдержки¹.

3.48. Схема фотореле показана на рисунке 180. Реле срабатывает от карманного фонаря, с помощью которого сигнал подается с расстояния в несколько метров².

3.49. Сталь обладает ферромагнитными свойствами и намагничивается в магнитном поле. Отсюда притяжение стали к постоянному магниту. При нагревании ферромагнитные свойства пропадают. Поэтому к магниту притягиваются все новые и новые участки обода. Вследствие этого обод начинает вращаться.

3.50. Схема установки для такого опыта показана на рисунке 181. Заряды на вращающемся диске подобно круговому току образуют магнитное поле. При резком изменении скорости вращения диска (при торможении, например) стрелка гальванометра, соединенного с соленоидом, отклоняется.

3.51. Для этого достаточно изменить магнитную проницаемость окружающей среды. Например, можно внести в катушку железный сердечник. Это вызовет изменение магнитного потока и, следовательно, э. д. с. индукции, что и зарегистрирует стрелка гальванометра.

3.52. Возможный вариант схемы магнитного дефектоскопа для проверки однородности стального стержня показан на рисунке 182. Электромагнит питается строго

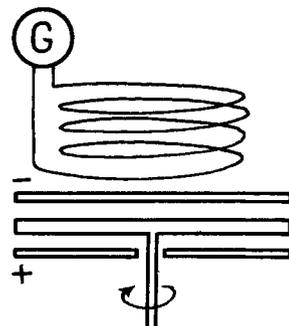
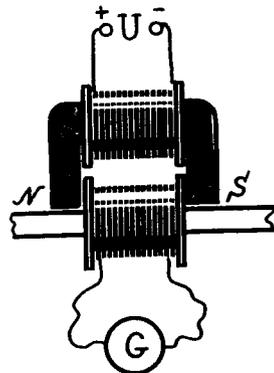


Рис. 181



¹ А. А. Покровский и др.; Физический эксперимент в школе, «Просвещение», 1964.

² Там же.

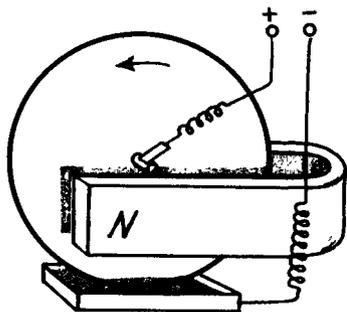


Рис. 183

постоянным напряжением. Величина зазора между полюсами магнита и стержня не меняется. Тогда изменение магнитного потока и отклонение стрелки гальванометра при протекании стержня сквозь катушку возможно лишь при неоднородности стержня.

3.53: Схема установки для проведения соответствующего опыта показана на рисунке 183. Через диск пропускается ток от центра к периферии. На оси установлена щетка, а своим краем диск погружен в ртуть. Благодаря этому трение контактов мало. На ток действует сила, направление которой можно определить по правилу левой руки. Поскольку носители заряда (в металле электроны) испытывают сопротивление, то они вовлекают в движение и сам диск.

3.54. Поплавок, состоящий из двух металлов и помещенный в электролит, является коротко замкнутым гальваническим элементом. На электрический ток действует магнитное поле. В результате сопротивления движению диск сам начинает вращаться. Направление вращения определяется по правилу левой руки (рис. 184).

3.55. В случае постоянного тока на кольцо действует импульс только в момент замыкания или размыкания цепи электромагнита (кольцо сбрасывается). В случае же переменного тока на кольцо действует постоянная сила (кольцо парит над катушкой).

3.56. Частица ускоряется, когда проходит в электрическом поле между дуантами. Приращение кинетической энергии частицы равно работе, которую совершает электрическое поле:

$$\frac{mv^2}{2} = Ue.$$

Внутри дуанта заряженная частица движется по дуге окружности, поскольку эта частица обладает скоростью и на нее действует постоянная сила, перпендикулярная скорости. В самом деле, движущуюся заряженную частицу можно рассматривать как постоянный ток. Известно из опыта, что на ток в однородном магнитном поле действует сила, направление которой можно определить по правилу левой руки.

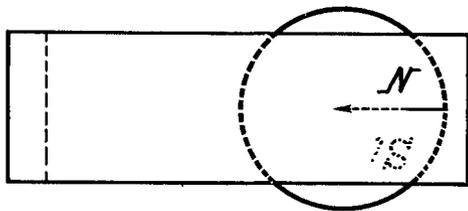


Рис. 184

3.57. Схема возможной механической модели циклотрона изображена на рисунке 185. Аналогом ускоряющего электрического поля является поле электромагнита, которое притягивает стальной шарик. Электромагнит включается вручную или автоматически при приближении шарика к одному из его полюсов. Когда шарик достигает полюса, электромагнит выключается и шарик движется по инерции. Центробежная сила обуславливается формой поверхности чаши, внутри которой движется шарик.

3.58. Витки пружины (рис. 186) представляют собой на каждом небольшом отрезке прямой параллельные проводники с током, идущим в одном направлении. Вследствие взаимного притяжения витков пружина сокращается, конец ее выдергивается из жидкого проводника, и цепь размыкается. С током исчезает и сокращающее ее магнитное поле, и конец ее вновь опускается в жидкий проводник. Контакт восстанавливается, и явление протекает в том же порядке.

3.59. Колеблущаяся стальная мембрана телефона то лучше, то хуже прилегает к магниту телефона. В результате магнитный поток через его катушки меняется, следовательно в катушке возникает переменная э. д. с., колебания которой соответствуют звуковым колебаниям мембраны. В результате мембрана последовательно соединенного телефона совершает такие же колебания.

3.60. Логической схеме «нет» удовлетворяет, например, реле с нормально закрытыми контактами. Контакты реле замкнуты при отсутствии напряжения на обмотке. При подаче на обмотку электрического импульса контакты размыкаются.

Примером устройства «или» могут быть два реле, контакты которых включены в электрическую цепь параллельно. Цепь замыкается при подаче импульса хотя бы на одно реле.

Примером устройства «и» могут быть два реле, контакты которых включены в цепь последовательно. Цепь

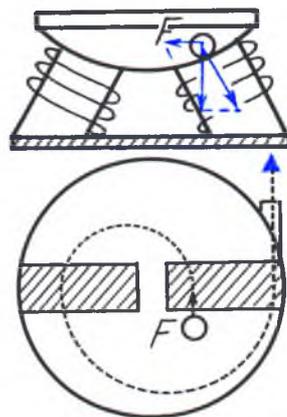


Рис. 185

Схему этой модели предложил ученик 315 школы Москвы П. Рябушкин.

Рис. 186



закрывается лишь в случае подачи импульсов на катушки обоих реле (рис. 187).

3.61. Магнитное поле действует на поток электронов с силой:

$$F = BIl = Bnev = \frac{nmv^2}{r},$$

откуда:

$$\frac{e}{m} = \frac{v}{Br}.$$

Радиус кривизны траектории электрона можно определить либо по специальной номограмме, либо отрегулировав его до совмещения с дугой окружности корпуса лампы. Скорость электрона можно найти, зная анодное напряжение:

$$eU = \frac{mv^2}{2}, \quad v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}.$$

3.62. Сила взаимодействия между зарядами уравнивается составляющей силы тяжести $F_1 = P \frac{D}{L} = kD$, т. е. силой, пропорциональной отклонению шарика от положения равновесия. Значит, силу можно выражать в условных единицах, численно равной отклонению шарика от положения равновесия (рис. 188). Например, результат может быть такой:

R	31	22	18	14	11	10	9	8
$F(D)$	1	2	3	5	8	10	12	14

Строим по этим данным график (рис. 189). Как видно, это график обратной квадратичной зависимости. Делаем проверку для любых двух пар чисел:

$$\frac{22^2}{11^2} = \frac{484}{121} \approx \frac{1}{4} \quad \text{и} \quad \frac{2}{8} = \frac{1}{4}; \quad \text{значит,}$$

$$F \sim \frac{1}{R^2}.$$

Рис. 189

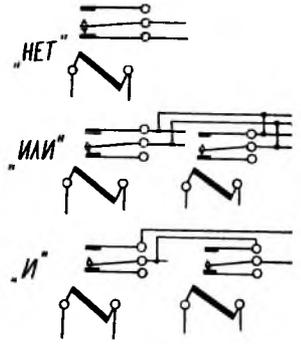


Рис. 187

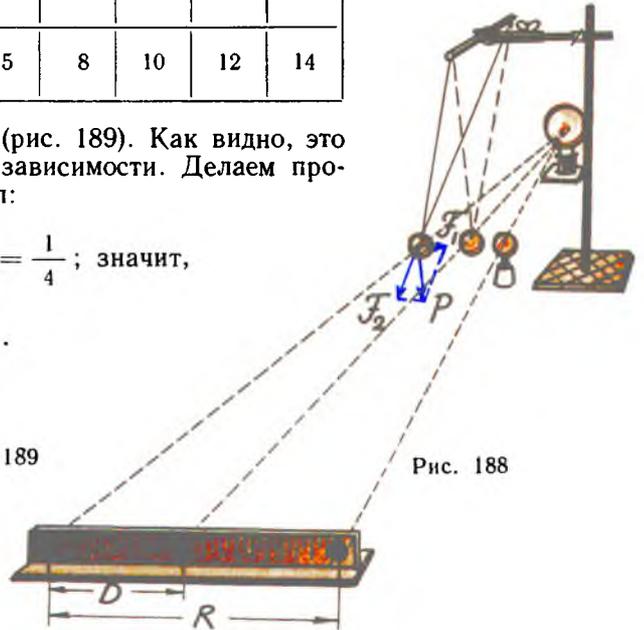
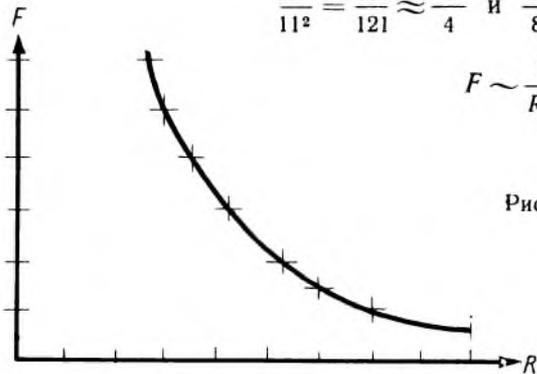


Рис. 188

Прикасаясь к одному из заряженных шариков незаряженным шариком на изолирующей ручке, тем самым уменьшаем заряд шарика вдвое, поскольку емкости шариков одинаковы. Восстанавливаем первоначальное расстояние между шариками и измеряем отклонение от положения равновесия $D \sim F$. Данные опытов заносим в таблицу:

q	q_1	$\frac{q_1}{2}$	$\frac{q_1}{4}$	$\frac{q_1}{8}$
$F(D)$	14	7	3,5	2

Строим график (рис. 190). Из графика видно, что это прямо пропорциональная зависимость, т. е. $F \sim q$. Учитывая, что взаимодействуют два заряда, надо записать $F \sim q_1 q_2$. И окончательно:

$$F \sim \frac{q_1 q_2}{R^2},$$

т. е. получаем закон Кулона.

3.63. Между плоскими параллельными электродами поле однородно. Об этом свидетельствуют взаимно перпендикулярные прямые, эквипотенциальные и силовые линии. По краям поле искажается и не является однородным (рис. 191).

Электрическое поле искажается при внесении в него проводника. На последнем индуцируются электрические заряды. На этих зарядах заканчиваются силовые линии поля. Внутри кольца поля нет. Кольцо экранирует эту часть листа (рис. 192).

3.64. Для осветительной лампы 75 вт, 220 в могут быть получены, например, такие данные:

U_e	6	8	12	16	32	48	68	92	120	152	180	200
I (ма)	60	70	90	100	120	140	165	190	225	255	260	295

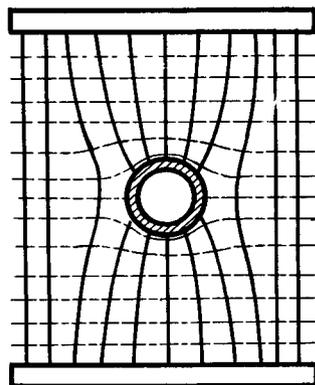


Рис. 192

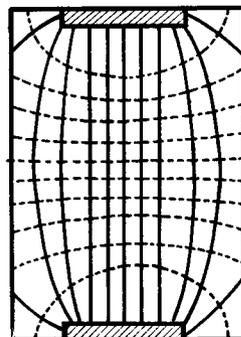
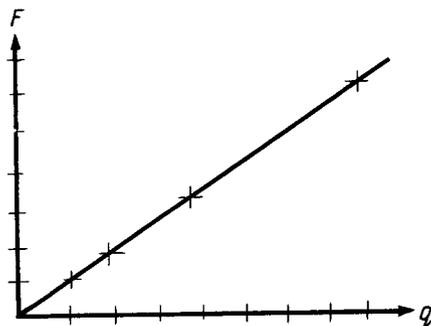


Рис. 191

Рис. 190



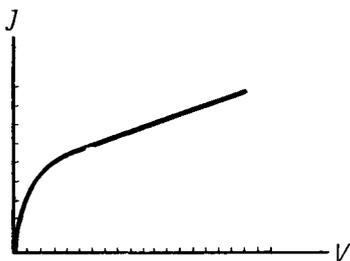


Рис. 193

Этим данным соответствует график (рис. 193). Как видно из графика, вольтамперная характеристика не является прямой линией. Это указывает на изменение сопротивления нити накала лампы при увеличении напряжения. Для сравнения возьмем две пары значений U и I в начале и в конце таблицы и вычислим сопротивление нити накала:

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1}; \quad R_1 = \frac{6}{0,06} = 100 \text{ (ом)}.$$

$$R_2 = \frac{U_2}{I_2}; \quad R_2 = \frac{200}{0,295} \approx 660 \text{ (ом)}.$$

Из сравнения видно, что сопротивление нити накала лампы возрастает более чем в три раза.

3.65. Для неоновой лампы ТН-30-127 получаются следующие пары значений напряжения и соответствующего ему тока:

V_e	0	4	...	52	60	65	76	80	100	120
I (ма)	0	0	...	0,4	1,7	2,7	5	6	10	16

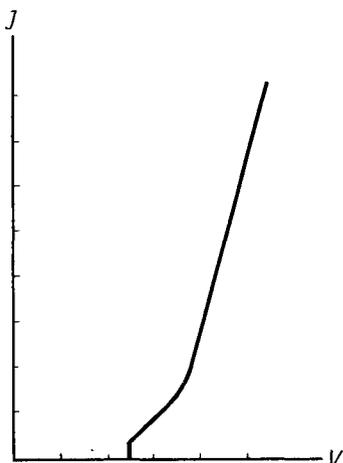


Рис. 194

Этим табличным данным соответствует следующий график (рис. 194). Как видно из графика, неоновая лампа становится проводником лишь при определенной разности потенциалов. При этой разности потенциалов возникает самостоятельная проводимость газа. Причем сопротивление его с возрастанием напряжения уменьшается. Подача напряжения на лампу выше, чем обозначено на ее цоколе, может привести к переходу тлеющего разряда в дуговой и к разрушению лампы.

3.66. Схема электрических цепей для определения магнитной индукции поля внутри соленоида показана на рисунке 195. Токвые весы одним плечом вводятся внутрь соленоида. Магнитное поле соленоида действует на участок, перпендикулярный силовым линиям с силой

$$F = BiL,$$

где B — магнитная индукция, i — величина тока в проводнике, L — длина проводника с током. Откуда магнитная индукция

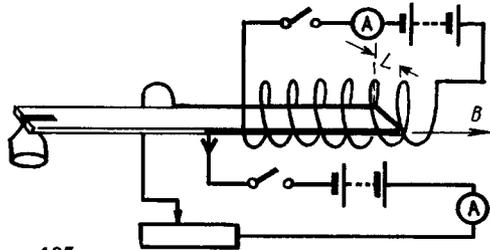


Рис. 195

$$B = \frac{F}{iL}.$$

В результате измерений могут быть получены следующие данные и результаты:

$$\left. \begin{array}{l} i = 2,0 \text{ а} \\ L = 3,0 \text{ см} \\ F = 80 \text{ мГ} \\ B - ? \end{array} \right| B = \frac{80 \cdot 10^{-3}}{102 \cdot 2,0 \cdot 0,03} = 0,014 \left(\frac{\text{н}}{\text{а} \cdot \text{м}} \right).$$

Проверка:

$$B = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{IN}{l}.$$

$$\left. \begin{array}{l} I = 1,0 \text{ а} \\ N = 1130 \\ l = 0,10 \text{ м} \\ B - ? \end{array} \right|$$

$$B = 12,6 \cdot 10^{-7} \frac{1,0 \cdot 1130}{0,10} \approx 12,6 \cdot 11,3 \cdot 10^{-4} \approx 0,014 \left(\frac{\text{н}}{\text{а} \cdot \text{м}} \right).$$

ЛИТЕРАТУРА

- Войцеховский Б. Т., Развитие творчества учащихся при конструировании, Учпедгиз, 1962.
- Волептиновичус В. Я., Экспериментальные задачи по конструированию приборов, моделей и простейших технических установок в курсе физики восьмилетней школы, «Известия АПН РСФСР», вып. 129, 1963 и вып. 133, 1964.
- Карпович А. Б., Сборник задач-вопросов по физике, Изд. АПН РСФСР, 1956.
- Ландау Л. Д., Китайгородский А. И., Физика для всех, Физматгиз, 1963.
- О преподавании физики в средней школе, под ред. Л. И. Резникова, Изд. АПН РСФСР, 1962.
- Мошков С. С. Экспериментальные задачи по физике, Учпедгиз, 1955.
- Покровский С. Ф., Опыты и наблюдения в домашних заданиях по физике. Изд. АПН РСФСР, 1963.
- Покровский А. А. и др., Физический эксперимент в школе, «Просвещение», 1964.
- Разумовский В. Г., Развитие технического творчества учащихся, Учпедгиз, 1961.
- Тулчинский М. Е., Сборник качественных задач по физике, Учпедгиз, 1961.
- Эллиот Л. и Уилкоккс У., Физика, Физматгиз, 1963.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
● Методика творческих упражнений по физике	
Что понимать под творческой деятельностью ученика при обучении физике	7
Виды творческих задач по физике	10
Значение творческих упражнений в учебном процессе	12
Место творческих упражнений	19
К методике проведения творческих упражнений	33
● Творческие задачи, лабораторные работы и задания	
Механика	
Задачи	44
Лабораторные работы	52
Задания	59
Молекулярная физика	
Задачи	60
Лабораторные работы	69
Задания	71
Электричество	
Задачи	72
Лабораторные работы	82
Задания	
Ответы и решения (возможные варианты)	85
Литература	154



Василий Григорьевич Разумовский
ТВОРЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ПО ФИЗИКЕ

Редактор Н. В. Хрусталь
Художник Л. С. Вендров
Художественный редактор И. Л. Волкова
Технический редактор Т. Н. Зыкина
Корректор В. С. Глебова

Сдано в набор 7/IV 1965 г. Подписано к печати
9/IX 1965 г. 70×90¹/₁₆. Печ. л. 9,75 (11,51).
Уч.-изд. л. 9,48. Тираж 60 тыс. экз. (Тем. пл.
1965 г. № 250), А 10488.

Издательство „Просвещение“ Государственного
комитета Совета Министров РСФСР по печати.
Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Отпечатано на Ленинградской фабрике офсетной
печати № 1 Главполиграфпрома Государствен-
ного комитета Совета Министров СССР по пе-
чати. Ленинград, Кронверкская, 7. Заказ № 741.
Набрано Ленинградской типографией № 4
Главполиграфпрома.

Цена 36 коп.

36 коп.