

И. И. Соколов

**МЕТОДИКА
ПРЕПОДАВАНИЯ
ФИЗИКИ**

Учпедгиз. 1959

И. И. СОКОЛОВ

МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ФИЗИКИ В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ

ИЗДАНИЕ ЧЕТВЕРТОЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УЧЕБНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ПРОСВЕЩЕНИЯ РСФСР

Москва — 1959

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящем переиздании методики преподавания физики обе части ее — общие вопросы методики и методика изложения отдельных тем курса — издаются отдельно и притом вторая часть раньше первой. Поэтому я считаю необходимым остановиться в предисловии на задачах второй части методики.

Вторая часть содержит методический разбор отдельных тем школьного курса физики. На конкретных примерах здесь раскрываются общие положения методики, обоснованные в первой части.

Во второй части методики показано познавательное, воспитательное, мировоззренческое и политехническое значение основных разделов программы и отдельных крупных тем курса. Для некоторых тем в ней дано примерное поурочное распределение материала. Для остальных тем эта работа должна быть выполнена самими читателями руководства на основании предложенных примеров.

Точно так же не для всех тем методика преподавания их изложена с одинаковой глубиной и обстоятельностью. Подробно изложены лишь темы, признаваемые наиболее трудными для усвоения.

В каждой подробно разбираемой теме особое внимание уделяется обоснованию основных понятий темы и закономерностей, связывающих основные величины. О методах изложения следствий из этих закономерностей и их использовании в технике даются краткие указания, а иногда делаются только ссылки на учебники и другую литературу.

Вообще надо иметь в виду, что методика преподавания физики не является в то же время учебником физики, руководством для экспериментирования и тем более книгой по технике.

При пользовании руководством по методике преподавания надо иметь, кроме него, вузовский курс общей физики, школьный учебник и (желательно) «Элементарный учебник физики» под редакцией академика Г. С. Ландсберга.

При ссылках на рекомендуемую литературу в книге применяются следующие сокращенные обозначения:

Пер. Фз. 1, вместо: А. В. Перышкин, В. В. Крауклис, Физика, ч. 1.

Пер. Фз. 2, » А. В. Перышкин, В. В. Крауклис, Физика, ч. 2.

Пер. 1; Пер. II; Пер. III, вместо: А. В. Перышкин, Курс физики для средней школы, ч. I, ч. II, ч. III.

Элем. учеб., вместо: Ландсберг Г. С. (редактор). Элементарный учебник физики.

Физ. Эксп., вместо: Галанин и др., Физический эксперимент в школе. Фрон. л. з., вместо: Покровский А. А. и Зворыкин Б. С., Фронтальные лабораторные занятия по физике в средней школе, изд. АПН.

Практ., вместо: Покровский А. А. и др., Практикум по физике в старших классах средней школы, изд. АПН РСФСР.

Проект новой программы по физике предусматривает следующие изменения в программе восьмилетней школы сравнительно с программой для семилетки.

Отдел «Механическое движение» перенесен из VI в VII класс. В программу VI класса включены из программы VII класса два раздела из «Теплоты», именно, расширение тел при нагревании и способы передачи теплоты.

«Звук», «Свет» и «Электричество» составляют содержание программы VIII класса.

Главы XXII, XXIII и XXV данного руководства составил старший преподаватель кафедры методики Московского государственного педагогического института им. В. И. Ленина А. А. Марголис, главу VIII — старший преподаватель той же кафедры Д. М. Мур.

В составлении эскизов к рисункам принял участие старший лаборант кафедры В. В. Сперантов.

Пользуюсь случаем выразить благодарность членам кафедры методики, просматривавшим отдельные главы книги.

Автор

А. ПЕРВАЯ СТУПЕНЬ ИЗУЧЕНИЯ ПРЕДМЕТА ФИЗИКИ

1. Введение к курсу первой ступени

Учитель, работая над методикой преподавания курса физики в средней школе, должен постоянно руководствоваться основными положениями методики, раскрытыми и обоснованными при рассмотрении общих вопросов методики (в первой части курса методики)¹.

Напомним вкратце эти положения.

В едином педагогическом процессе преподавания физики решаются три задачи: образовательная, воспитательная и мировоззренческая.

Готовясь к отдельным урокам, преподаватель сначала должен ясно представить себе, а потом рассказать учащимся на уроке, какое место занимает намеченная им к изложению тема в том или другом разделе курса, как она связана с ранее разобранными темами и как она может быть из них последовательно выведена. Учитель также ясно должен представить себе ее перспективную связь с последующими темами. Школьный предмет — не набор отдельных сведений, а систематическое изложение материала, отражающее систему науки.

Отобрав для изложения на уроке соответствующий учебный материал, преподаватель отмечает его политехническое значение (ч. I, гл. III) и выделяет те места, которые способствуют развитию чувства любви к социалистической Родине и чувства гордости за ученых и изобретателей нашей страны, сделавших выдающийся вклад в мировую науку (ч. I, гл. II, 6).

Излагая материал, преподаватель непрерывно побуждает учащихся к самостоятельному разрешению отдельных проблем, стремясь развить у них диалектико-материалистическое мышление (ч. I, гл. II, 7).

Учитель использует на уроке весь подходящий материал для воспитания у учащихся атеистических убеждений и вооружает

¹ См. И. И. С о к о л о в, Методика преподавания физики в средней школе, Учпедгиз, 1951.

их знаниями для антирелигиозной пропаганды среди населения (ч. I, гл. II, 8).

Помня, что целью всего школьного преподавания является создание цельного диалектико-материалистического представления о природе и обществе, преподаватель должен продумать установление связи материала физики с материалом других школьных предметов (ч. I, гл. XII, 66) и связи развития науки физики с производственными потребностями эпохи (ч. I, гл. XII, 64). Особенно глубоко преподавание физики должно быть связано с занятиями в механических мастерских и с другими практическими занятиями.

Что касается методов преподавания, то в зависимости от темы преподаватель должен пользоваться сочетанием любых из шести методов, описанных в I части (гл. IV, 15), помня, что для оформления у учащихся понятий о новых физических величинах и законах в громадном числе случаев, в особенности на первой ступени обучения физике, необходимо сочетание словесного и экспериментального методов, последнего во всех его трех разновидностях — демонстрациях, классных лабораторных работах и домашних экспериментальных занятиях.

Первая ступень обучения физике должна представлять собой законченный, замкнутый круг знаний, содержащий материал из всех пяти крупных отделов современной науки физики — механики, теплоты, электричества (с магнетизмом как части учения об электричестве), учения о колебаниях (с включением оптики как части учения об электромагнитных колебаниях) и отдела о строении вещества (молекулярно-атомно-ядерное строение).

При изложении основ физики на первой ступени ее изучения нужно постоянно учитывать уровень возрастного умственного развития учащихся и в то же время всемерно использовать имеющийся у них запас жизненных наблюдений и сведений, не оформленных еще в систему знаний.

Поэтому на первой ступени изучается преимущественно (но ни в коем случае не исключительно) качественная сторона явлений и законов, и используются они в основном для решения прямых практических задач.

Что касается физических теорий, то учащиеся на первой ступени должны получить отчетливое представление об основах молекулярно-кинетической теории строения вещества, полностью основанное на повседневных наблюдениях учащихся и на опытах, демонстрируемых в классе.

Теория электронно-ядерного строения атома найдет на первой ступени меньше экспериментального подтверждения, чем молекулярно-кинетическая теория, тем не менее в доступной форме она должна быть сообщена учащимся, так как она нужна для объяснения некоторых электрических явлений.

Глава I.

ПРОГРАММА VI КЛАССА

2. Введение к программе VI класса

Преподавание физики в VI классе связано с особыми трудностями, так как в этом классе преподаватель приступает к формированию у учащихся первых физических понятий.

Особый характер носит первый урок в VI классе. Он должен дать учащимся представление о новом для них предмете — физике и оправдать уже имеющуюся у учащихся заинтересованность в этом предмете.

Этот урок требует от преподавателя много творчества и особенно воодушевления, чтобы, с одной стороны, не разочаровать учащихся сухим или холодным изложением, с другой стороны, чтобы не перегрузить их многочисленными, хотя бы и интересными, опытами и обширными рассказами.

Надо помнить, что на всю беседу преподавателя с учащимися на первом уроке придется максимум 35 минут, так как часть остального времени пойдет на ознакомление преподавателя с классом в начале урока и на сообщение о порядке занятий по физике в конце его.

В журнальной методической литературе ¹ приведены образцы проведения первого урока по физике, но ни одного из них нельзя рекомендовать безоговорочно вследствие их перегруженности материалом.

Последующее изложение не претендует на то, чтобы быть таким образцом. Его задача — конспективно дать тот материал, который преподаватель может вплести в ткань живой беседы.

Предмет, к изучению которого вы приступаете (говорит преподаватель учащимся), — физика — является основной наукой о природе. На это указывает само ее древнее греческое название, так как греческое слово «физика» означает по-русски «наука о при-

¹ Н. Н. К р а в ч е н к о, Вступительная беседа по физике в VI классе, «Физика в школе», 1946, № 1.

Е. Я. М и н ч е н к о в, Первый урок по физике в VI классе, «Физика в школе», 1952, № 4.

роде». Природа включает все находящееся вне человека и самого человека.

Природу познает человек при помощи своих органов чувств и своей умственной деятельности. Вопрос к учащимся: какие органы чувств они знают? После их ответа, возможно неполного, следует вновь перечислить органы чувств человека: зрение, слух, осязание, обоняние, вкус и мышечное чувство.

Далее сообщается, что ощущение, получаемое любым органом чувств человека, отражает воздействие на орган чувства какого-либо предмета природы. В физике каждый предмет носит название «физическое тело», или короче «тело».

Преподаватель предлагает отдельным учащимся назвать тела, находящиеся в классе, затем вне класса; потом сам приводит название тел таких, как звезда, микроб и т. п.

То, из чего состоит любое тело, носит название «вещества». Но вещество различных тел может быть различным.

Путем опроса учащихся выясняется, какие виды вещества учащимся известны (вода, керосин, уголь, кремний, железо, медь, воздух и др.). Преподаватель может показать и назвать другие вещества (ртуть, спирт, кварц, йод и его пары). Тела из одного и того же вещества называются однородными; они могут отличаться друг от друга своими объемами. Пример: стальной гвоздь, стальной молоток, стальной рельс.

В однородных телах отмечают особое качество, называемое «количеством вещества». Так, в молотке количество вещества (стали) больше, чем в гвозде, а в рельсе больше, чем в молотке; количество вещества налитой в стакан воды меньше, чем налитой в кружку, а последнее меньше, чем в литре. Количества вещества разнородных тел нельзя сравнивать.

С телами происходят постоянные и разнообразные изменения. Пока мы беседуем с вами, говорит преподаватель, я несколько раз изменил свое положение относительно стола; отдельные учащиеся поднимались над партой или по-разному меняли свое положение относительно нее. За это время мы могли бы заметить перемещение Солнца по небу, следовательно, движение Земли, заметить ветер, т. е. движение воздуха относительно земной поверхности, или наблюдать течение воды. Наконец, в любое время по всей Земле движутся поезда, автомашины, самолеты, а на заводах перемещаются различные части работающих машин.

Изменение положения одних тел относительно других называется **механическим движением**. В качестве иллюстрации преподаватель приводит в движение какую-либо из машин, находящихся в физическом кабинете.

Но изменения с телами не ограничиваются одним механическим движением, продолжает беседу преподаватель. Он спрашивает учащихся, какие изменения происходят с воздухом, поверхностью Земли и с находящимися на ней телами в течение суток, даже при неподвижности тел. Вероятные ответы: нагревание или охлажде-

ние. Следующий вопрос к учащимся: когда и у каких тел вы ежедневно наблюдаете нагревание и охлаждение в домашней обстановке? После ответа преподаватель называет нагревание и охлаждение тел тепловыми изменениями. Предлагает учащимся привести примеры тепловых изменений вне домашней обстановки, на производстве.

Кроме механических и тепловых изменений, существуют и другие изменения. Преподаватель показывает электризацию эбонитовой палочки, обнаруживаемую по притяжению ею султана, получение электрической искры от электростатической машины, притяжение значительного груза сильным электромагнитом и еще какое-либо электрическое явление, производящее сильное впечатление, например разряд в пустотной трубке, и называет эти изменения электрическими. Заканчивается разбор изменений состояния тел световыми изменениями: показом накала электрическим током проволоки, протянутой над всем демонстрационным столом; явлением фосфоресценции и еще каким-нибудь световым явлением.

Здесь же следует вспомнить с учащимися известные им из начальной школы признаки твердого, жидкого и газового состояний вещества; предложить им перечислить известные им примеры перехода вещества из одного состояния в другое и показать им (если позволяет время) плавление какого-либо легкоплавкого металла или сплава.

В итоге этой беседы надо установить два определения:

1) В физике всякое изменение, происходящее с телами, называется явлением.

2) Физика есть наука об явлениях механических, тепловых, электрических, световых и об общем строении веществ.

Количество демонстраций на уроке должно быть ограниченным, чтобы они не мешали осуществить основную цель урока — ознакомление с предметом физики — и не перегрузили учащихся обилием впечатлений.

В заключение необходимо остановиться на том, что дала человечеству наука физика и для чего нужно ее изучать.

Знание физических явлений позволило человечеству за сравнительно короткий исторический промежуток времени значительно повысить уровень удовлетворения своих жизненных потребностей.

Использование природных явлений для удовлетворения потребностей человеческого общества составляет предмет техники. Таким образом, наука физика является главной основой техники.

За этим следует опрос учащихся, имеющий целью выяснить, какое они имеют представление о современной технике, о различных видах ее. При наличии времени можно показать диапозитивы, эпи- и кинопроекции о наиболее поразительных технических достижениях. Особенно ценно использовать местный материал. С этой

целью следует позаботиться об изготовлении путем заказа или силами учащихся соответствующих таблиц, фотоснимков, моделей.

Итак, на первом уроке путем использования жизненных наблюдений учащихся, беседы преподавателя и небольшого количества опытов учащиеся должны получить понятие о следующих предметах: природа, физическое тело, физическое явление, основные виды физических явлений; физика — наука об основных физических явлениях; техника — наука, использующая физические явления для удовлетворения потребностей человеческого общества; физика — главная основа техники.

Рассказывать об этих новых для них понятиях учащиеся могут своими словами, главное, чтобы они обнаружили понимание предмета.

Одни из авторов, писавших о первом уроке VI класса, предлагают рассказывать и о других науках (Кравченко Н. Н., см. выше) — об астрономии, химии, геологии и пр. и о соотношении их с физикой. Другие рекомендуют говорить о значении русских ученых (Минченков Е. Я., см. выше) в развитии физики и техники с приведением их имен и сделанных ими открытий.

Я думаю, что ни то, ни другое не следует включать в план первого урока во избежание перегрузки его обилием сведений. Последние 5—6 минут урока надо посвятить организации учащихся для дальнейшей работы по физике: сообщить им, что, кроме уроков с изложением нового материала, будут упражнения в виде решения задач, а также лабораторные работы с использованием различных приборов и домашние задания. Для каждого вида занятий — для классных занятий, для лабораторных работ, для решения задач — следует иметь по отдельной тетради с бумагой «в клеточку», так как придется выполнять чертежи (записи по лабораторным работам и решение задач можно совмещать в одной тетради). Для записей и чертежей, кроме ручки, надо иметь черный и цветные карандаши.

Преподаватель с первого же урока начинает прививать учащимся уважение к приборам, сообщая правила пользования ими; а также дает указания о пользовании классной доской и другие указания, вытекающие из требований школы и его личных.

Заданием на дом может служить чтение введения по учебнику и подготовка рассказа о понятиях, сообщенных на уроке.

3. Измерение длины, площади и объема

Первой, за введением, темой программы является тема об измерении длины, площади и объема. Тема для учащихся VI класса не является вполне новой; так как они уже ознакомились с метрической системой в начальной школе. Главное внимание преподаватель должен обратить на лабораторные работы по определению длины и объема обязательно во фронтальной постановке. Преподаватель должен позаботиться о снабжении кабинета большим ко-

личеством различных по размеру и материалу брусков, которые в дальнейшем понадобятся для взвешивания и определения удельного веса. Можно привлечь учащихся к снабжению кабинета такими материалами. Градуировку мензурок преподаватель должен произвести сам с помощью любителей физики из учащихся (его лаборантов). Во всяком случае, эти первые две лабораторные работы должны быть поставлены во всякой школе независимо от качества ее оборудования.

Все уроки должны сопровождаться решением задач и упражнениями на перевод числовых значений длины, площади и объема из одних единиц в другие.

ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ЧТЕНИЯ УЧАЩИМСЯ

К. А. Меркульева, Фабрика точности, ОГИЗ, Молодая гвардия. М.—Л., 1935.

З. Н. Перля. Путь к микрону, ОНТИ, 1936.

4. Сила тяжести

Учащиеся приходят в VI класс с представлением о силе как мускульном усилии, а также с представлением и о других видах сил — о силе тяги, силе тяжести и др.

Задача преподавателя заключается в том, чтобы с самого начала постараться заложить представление о силе как о действии одного тела на другое, выражающееся в изменении движения или формы этого последнего. Такое представление будет постепенно усложняться на всем протяжении курса физики.

Оформление этого жизненного понятия в физическое понятие производится путем разбора примеров, где используется мускульное усилие. Человек производит мускульное усилие, чтобы привести в движение какое-нибудь покоящееся тело (всегда надо указывать конкретно, какое именно), чтобы ускорить или замедлить движение уже движущегося тела или чтобы поддержать рукой падающее тело.

Вывод из наблюдений: для изменения движения какого-либо тела к нему приходится прилагать усилие, или силу.

Второй вывод: сила, прилагаемая человеком к телу, всегда действует между ним и телом, т. е. между двумя телами.

Если же явления падения, ускорения или замедления движения мы наблюдаем с какими-либо телами независимо от непосредственного воздействия человека, то должны искать другое тело природы, действующее на первое.

На наших глазах всякое тело, лишенное подпорки или подвеса, приходит в движение и падает на землю. Такое явление может быть приписано действию Земли на все тела. Так как перемещение тел, производимое человеком, приписывается силе, то и действие Земли на тела носит название **силы тяжести**.

В первой подтеме рассматриваемой темы ставится вопрос о направлении силы тяжести, о вертикальном и горизонтальном направлениях и о приборах для их определения. Этот материал не является новым для учащихся; он известен из географии; его надо излагать в таком объеме, чтобы он уложился не более чем в два часа.

Следующий урок начинается с определения веса тела: весом тела называется сила тяжести, действующая на данное тело. Затем следует повторить меры веса. При этом единица силы — килограмм — определяется как вес эталона (образцовой гири), хранящейся в Международном бюро мер и весов близ Парижа.

Надо отметить, что 1 кг почти равен (на 0,03 г больше) весу дистиллированной воды при 4° в объеме 1 дм³, и ввести обозначение грамма и килограмма силы: г и кг (буква «г» — заглавная).

Далее обязательно ставится фронтальная лабораторная работа по взвешиванию тел. Если в физическом кабинете нет достаточного числа технических весов или весов Беранже для фронтальной постановки работы, то их надо изготовить самостоятельно.

В качестве предметов взвешивания должны служить те самые бруски, объемы которых измеряли учащиеся на предыдущих уроках.

Правила взвешивания на протяжении ряда последующих работ должны быть твердо усвоены всеми учащимися. Если нельзя охватить работой с техническими весами всех учащихся одновременно, их надо обучить ими пользоваться в индивидуальном порядке.

Изготовление самодельных весов и разновесов описано в следующих книгах:

П. В. Албычев, Весы. Серия «сам себе мастер». Работник просвещения, М., 1928, 39 стр.

П. А. Знаменский, Лабораторные занятия по физике в средней школе, ч. I, Учпедгиз, М.—Л., 1936, стр. 85.

Д. Д. Галанин и др., Физический эксперимент в школе, II, Учпедгиз, 1934, стр. 13.

Е. Н. Соколова, Юному физику, Учпедгиз, 1956.

После того как учащиеся познакомятся с процессом взвешивания и освоят его, проделав лабораторную работу, необходимо раскрыть значение взвешивания как способа измерения количества вещества. Это лучше всего сделать при рассмотрении ряда примеров, подобных следующим: а) подъемный кран поднимает балку весом в 1000 кг; б) на изготовление молотка пошло 300 г стали.

В чем различие цифровых данных в этих примерах?

Проанализировав примеры вместе с учащимися, преподаватель указывает, что взвешиванием можно узнавать и вес тела и количество вещества, находящегося в теле. В соответствии с этим и результат взвешивания записывается различно. Первый результат может быть записан таким образом: вес балки равен 1000 кг;

второй — количество стали равно 300 г. При введении буквенных обозначений вес обозначается буквой «Р», количество вещества — «М»¹.

В качестве закрепления представлений о различии между весом и количеством вещества можно предложить учащимся выполнить примерно такие упражнения: а) книга весит 250 Г. Что имеет значение для учащегося, который несет книгу, — вес ее или количество бумаги в ней? б) записать в буквенных обозначениях: вес кирпича равен 4 кГ; в чайнике нагревается 2 кг воды; на изготовление ученического пера пошло 3 г стали; первый искусственный спутник Земли весил 83,6 кГ.

Рассмотрением весового способа измерения количества вещества обогащается содержание этого понятия, которое было дано на первом уроке.

5. Удельный вес

Понятие об удельном весе является первым, совершенно новым для учащихся VI класса физическим понятием после усвоения тех понятий, которые были сообщены им на первом уроке.

Для обоснования необходимости введения нового понятия — удельного веса — обыкновенно применяется один из следующих двух приемов.

Один из них связан с предшествующей лабораторной работой по измерению веса тел из различных веществ и в различных объемах. При анализе результатов измерений у учащихся может возникнуть вопрос (или он может быть поставлен преподавателем): будут ли различные вещества в одинаковых объемах отличаться по своему весу?

Разбор этого вопроса приводит учащихся к признанию необходимости введения новой величины — удельного веса.

Этот путь введения понятия носит, так сказать, академический характер; он для учащихся несколько абстрактен и надуман. Можно подойти к решению вопроса более простым путем.

После опроса учащихся по изложенному ранее материалу, преподаватель обращает внимание учащихся на то, что в человеческой практике часто встречаются случаи, когда надо знать вес тела, которое невозможно поместить на весы. Например, при постройке здания надо знать, какой вес будет иметь каждый следующий этаж стен, лежащих всей своей тяжестью на стены предыдущих этажей, или при изготовлении какого-либо изделия надо решать вопрос, какое выбрать для его изготовления вещество, чтобы при сохранении других необходимых качеств получить изделие наименьшего веса. Бесцельно и невыгодно приготовить ряд таких

¹ Из диссертации Л. А. Люктышиной (Ивановой) «Понятие массы и его изучение в курсе физики средней школы». Ученые записки кафедры методики физики, т. 118, вып. 3, издание МГПИ имени В. И. Ленина, М., 1957, стр. 46—49.

изделий из разных веществ и после путем взвешивания выбрать легчайшее.

Наконец, учащиеся знают, что геологи определяют количество угля или других полезных ископаемых во вновь открытых пластах. Что же нужно знать, чтобы решать такие, постоянно возникающие практические задачи? Достаточно ли знать объем того или другого тела, который можно вычислить по соответствующим геометрическим формулам? Прделанная лабораторная работа показала учащимся, что тела из различных веществ в одинаковых объемах имеют различный вес. Значит, необходимо знать какую-то новую физическую величину, которая при решении таких задач служила бы весовой характеристикой каждого вещества. Такая физическая величина получила название «удельный вес».

Удельный вес есть величина, измеряемая весом вещества в единице объема. Зная удельный вес вещества тела и объем тела, можно путем умножения этих величин найти вес тела. Так решаются все задачи указанного выше типа.

1. Е д и н и ц ы у д е л ь н о г о в е с а. Введя понятие удельного веса, преподаватель сообщает учащимся, что для измерения новой физической величины и расчетов, производимых с нею, необходимо установить единицы ее измерения.

Если вес измеряется в граммах, а объем в кубических сантиметрах, то за единицу удельного веса принимается такой удельный вес, при котором один кубический сантиметр вещества весит 1 г. Эта единица обозначается г/см^3 .

Если вес измеряют в кг , а объем в дм^3 , то единицей измерения удельного веса будет $1 \frac{\text{кг}}{\text{дм}^3}$.

Соответственно при пользовании единицами 1 г и 1 м^3 единицей для измерения удельного веса будет $1 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$.

В физике не установлено какого-либо названия единицы удельного веса, выраженного одним словом. Наименование единиц измерения удельного веса сложное, оно отражает способ введения понятия об этой величине. Этим объясняется появление у физических величин сложных наименований в виде дроби.

Затем преподаватель предлагает учащимся рассчитать удельный вес веществ тех тел, которые они взвешивали на предыдущем уроке.

Заканчивается урок решением задач на вычисление удельных весов различных веществ по данным веса и объема конкретных объектов, а также на вычисление веса тела по удельному весу и объему.

На последующих одном или двух уроках учащиеся определяют удельные веса различных твердых и жидких веществ. На этих и последующих уроках преподаватель знакомит их с удельными весами наиболее часто встречающихся веществ и в то же время проводит упражнения на решение конкретных задач с применением удель-

ного веса, и в частности, показывает, как по весу модели можно рассчитать вес изделия из любого вещества.

Руководство по проведению этой лабораторной работы преподаватель заимствует или из учебника или из книги «Фронтальные лабораторные занятия» А. А. Покровского и Б. С. Зворыкина.

На протяжении уроков, посвященных теме «Удельный вес», преподаватель сообщает учащимся еще ряд сведений.

Удельный вес вещества выражается одним и тем же числом при пользовании любой из вышеприведенных единиц.

Для получения этого вывода можно решить следующие задачи. Вычислить вес 1 дм^3 (и затем 1 м^3) меди, если удельный вес меди $8,9 \frac{\text{Г}}{\text{см}^3}$. Для вычисления надо 1 дм^3 раздробить в см^3 ; $1 \text{ дм}^3 = 1000 \text{ см}^3$. Тогда вес 1 дм^3 меди равен $8,9 \cdot 1000 \text{ Г} = 8900 \text{ Г} = 8,9 \text{ кг}$. Следовательно, вес 1 дм^3 меди равен $8,9 \text{ кг}$, что можно записать так: удельный вес меди $= 8,9 \frac{\text{кг}}{\text{дм}^3}$. Подобный же расчет покажет, что удельный вес меди $= 8,9 \frac{\text{Г}}{\text{м}^3}$.

Этими единицами удобно пользоваться при решении задач производственного характера, в которых рассматриваются тела с большим объемом.

Вывод формулы удельного веса. После ряда подсчетов удельных весов, произведенных арифметически, преподаватель ставит перед учащимися вопрос: какое единое действие учащиеся применяли при всех разнообразных расчетах удельных весов. Учащиеся дают обобщенный ответ: деление веса тела на его объем. Преподаватель предлагает записать это обобщение в следующей условной форме:

$$\text{удельный вес} = \frac{\text{вес тела}}{\text{объем тела}}.$$

Вместо длинных словесных выражений в этой формуле можно ввести условные буквенные обозначения. Вес тела установлено обозначать буквой P , объем — V , удельный вес — d . Тогда написанное выше словесное выражение приводит к формуле:

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

Можно показать, как из этой формулы получить производные формулы: $P = Vd$ и $V = \frac{P}{d}$, пользуясь известными учащимся еще из начальной школы соотношениями между делимым, делителем и частным.

Разрешая учащимся в дальнейшем пользоваться этими формулами, преподаватель должен время от времени проверять, как понимают учащиеся физическое содержание этих формул, чтобы предупредить возможность возникновения формализма при пользовании формулами.

2. Операции над наименованиями единиц. Пользуясь тем, что дана первая физическая формула, преподаватель начинает обучать учащихся операциям над наименованиями единиц.

Для этого обучения можно выбрать следующий путь. Ставится задача: определить вес P куска серебра, если

$V = 10 \text{ см}^3$	$P = dV$
$d = 10,5 \frac{\Gamma}{\text{см}^3}$	$P = 10,5 \cdot 10 = 105$
$P = ?$	По соображению находится наименование единицы искомой величины: Γ . $P = 105 \Gamma$.

Преподаватель сообщает, что тот же ответ вместе с наименованием получится, если в формулу подставить вместо букв числа вместе с их наименованиями и условиться производить над частями наименований те же действия, что и над числами.

$$P = 10,5 \frac{\Gamma}{\text{см}^3} \cdot 10 \text{ см}^3 = 10,5 \cdot 10 \Gamma = 105 \Gamma.$$

Совпадение результатов от математической операции над наименованиями и от нахождения ответа по соображению служит оправданием таких действий. Надо сообщить учащимся, что в такой простой задаче, которую они только что решили, нет необходимости в таком действии, но в более сложных задачах действия над наименованиями единиц позволяют безошибочно получать наименование искомой величины, поэтому следует постепенно приучаться к такому приему.

Итак, в результате уроков, посвященных теме «Удельный вес», преподаватель должен добиться усвоения учащимися следующего объема знаний, умений и навыков: понятия удельный вес, соотношения между удельным весом, весом тела и его объемом.

Учащиеся должны понимать, что вес тел из одного и того же вещества прямо пропорционален удельному весу, но удельный вес всякого вещества не зависит от величины взятого для измерения тела и является для данного вещества при одних и тех же внешних условиях величиной постоянной.

У м е н и я и н а в ы к и. Уметь практически определить удельный вес вещества; уметь вычислить удельный вес по данным веса и объема тела; по удельному весу и объему тела вычислить вес тела и, наконец, вычислить объем тела по весу тела и удельному весу его вещества. При решении этих задач учащиеся должны приобрести навык пользоваться таблицами удельных весов.

Определение удельных весов и решение задач с техническим содержанием являются элементами политехнического обучения по данной теме.

6. Сила и ее измерение

Новая тема должна быть тесно связана с предыдущими темами. В ней осуществляется дальнейшее расширение понятия о силе. Действие одного тела на другое может выражаться не только в изменении движения тела, но и в изменении его формы или объема. Следовательно, другим признаком «силы» является изменение состояния тел, называемое «деформацией».

Сначала преподаватель производит своей мускульной силой деформации растяжения, сжатия, кручения, изгиба, сдвига. Потом повторяет некоторые из этих демонстраций, используя действие силы тяжести. Учащиеся, со своей стороны, приводят примеры деформаций.

Надо подвести учащихся к мысли, что из двух проявлений действия одного тела на другое, т. е. из двух проявлений силы, второе — деформация — может быть использовано для измерения сил.

Затем показывается учащимся динамометр, объясняется его устройство и способ градуировки. В заключение учащиеся обучаются пользоваться динамометром для измерения различных сил.

В этой же теме уместно дать первоначальное понятие об изображении силы отрезком прямой (сила—вектор).

7. Давление

1. С о д е р ж а н и е т е м ы и п л а н и р о в а н и е е е. Программная тема «Давление» распадается на ряд подтем: обоснование понятия о давлении; передача давления телами; гидростатическое давление; атмосферное давление; зависимость давления газа от занимаемого им объема. Закономерности, изучаемые в каждой из подтем, широко используются в самых разнообразных областях техники. Ознакомление с техническим использованием закономерностей дает материал для усиления политехнической направленности уроков физики.

Можно предложить следующее п р и м е р н о е распределение материала темы по урокам (будут разобраны не все уроки, а лишь те, которые содержат введение новых понятий или основные узловые вопросы темы):

- 1-й у р о к. Обоснование понятия о давлении. Единицы давления. Технические и бытовые примеры способов увеличения и уменьшения давления. Расчеты давления в разных случаях.
- 2-й у р о к. Решение задач на расчет давления и силы давления и разбор примеров на использование давления.
- 3-й у р о к. Передача давления твердыми телами, сыпучими, жидкостями и газами. Показ действия гидравлического пресса.
- 4-й у р о к. Давление внутри жидкости, зависящее от ее собственного веса (гидростатическое давление).

- 5-й у р о к. Независимость величины гидростатического давления от формы сосуда. Расчет гидростатического давления при заданных условиях.
- 6-й у р о к. Расположение уровней однородной жидкости в сообщающихся сосудах. Расчеты и техническое использование.
- 7-й у р о к. Объяснение устройства водопровода, фонтанов, шлюзов, жидкостных манометров. Объяснение возникновения природных ключей¹.
- 8-й у р о к. Обоснование понятия об атмосферном давлении. Опыт Торричелли.
- 9-й у р о к. Величина нормального атмосферного давления. Расчеты силы атмосферного давления. Техническая атмосфера.
- 10-й у р о к. Ртутные барометры; их назначение. Обучение учащихся отсчетам по барометру. Расчеты и качественные задачи.
- 11-й у р о к. Анероиды; их применение. Отсчеты по анероиду. Расчеты и качественные задачи.
- 12-й у р о к. Водяные насосы, всасывающий и нагнетательный.
- 13-й у р о к. Давление газа и зависимость его от занимаемого газом объема.
- 14-й у р о к. Воздушный насос и опыты с ним.
- 15-й у р о к. Различные технические использования изменения давления газа с изменением его объема.
- 16-й у р о к. Подведение итогов по разделу.

2. О б о с н о в а н и е п о н я т и я о д а в л е н и и. Новое понятие «давление» тесно связано с ранее изученным понятием «сила».

Учащимся известно, что сила проявляется в деформации. Естественно поставить вопрос, только ли от величины приложенной силы зависит величина деформации тела?

Ответ на этот вопрос учащиеся могут попытаться отыскать на основании своих жизненных наблюдений и на основании демонстраций, осуществленных учителем в классе.

Жизненные наблюдения могут быть взяты из области техники: прогиб почвы под колесами трактора и под гусеничным ходом трактора гусеничного; прогиб снега под колесами повозки и полозьями саней при равном весе саней и повозки. Примеры можно взять также из области спорта.

Обратимся к известным всем явлениям. Идущий по снегу человек проваливается сильнее, чем когда он идет на лыжах, хотя вместе с лыжами он весит больше. Вывод: действие человека на снег, с которым он соприкасается, различно и зависит от площади соприкосновения.

¹ Часть технических применений может быть отнесена и к предыдущему уроку.

Следовательно, одна величина силы не характеризует вполне действия одного тела на другое. Может быть это действие зависит только от площади? Но если на одни и те же лыжи ставить ребенка и взрослого, то деформация снега будет различной. Таким образом, деформация снега¹ под человеком не определяется в отдельности ни силой, ни поверхностью, на которую сила действует. Следовательно, для характеристики этого действия надо ввести новую, особую величину — давление. Давление — более сложное понятие, чем прежние понятия силы и площади. Как же судить о новой величине? Проще всего о ней судить по величине силы, действующей на единицу площади.

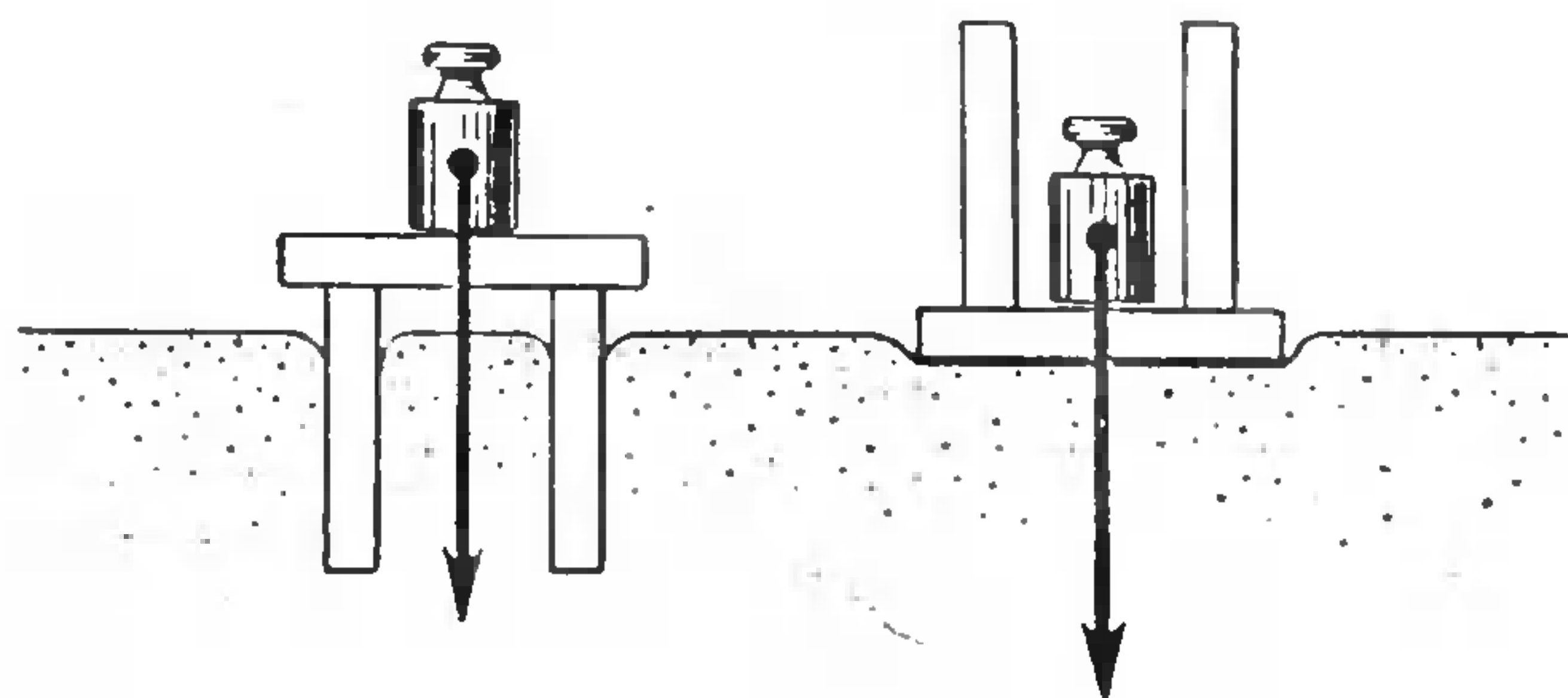


Рис. 1

Преподаватель совместно с учащимися вырабатывает определение новой величины: *давление есть величина, измеряемая силой, действующей на единицу площади*. За единицу измерения давления выбрано давление, при котором сила в 1 Г действует на площадь в 1 см². Ее обозначение: $\frac{Г}{см^2}$. В технике иногда применяются единицы

$\frac{кг}{мм^2}$ или $\frac{кг}{см^2}$.

Жизненные наблюдения учащихся, относящиеся к давлению, надо дополнить классной демонстрацией. Для демонстрации зависимости давления от площади давления можно изготовить скамеечку с четырьмя тонкими ножками. Сначала кладут на сырой песок скамеечку ножками кверху и на них помещают какой-либо груз (кирпич). Замечают углубление песка под скамеечкой. Затем поворачивают скамеечку ножками вниз, помещают на нее тот же груз и отмечают углубление песка под ножками. В обоих случаях вес один, но площади разные и различны действия (рис. 1).

Помещая при одном и том же положении дощечки разные грузы, можно показать зависимость давления от действующей силы.

Полезно предложить учащимся произвести измерение соответствующих площадей и сравнить давление в обоих случаях.

¹ Надо иметь в виду и предупредить об этом учащихся, что не во всех случаях деформация зависит от площади соприкосновения взаимодействующих тел, например прогиб доски, положенной краями на две опоры, не зависит от того, какова площадь груза, помещенного на ее середину.

В порядке внешкольной работы надо посоветовать учащимся понаблюдать за размерами фундаментов под станками, памятниками, стенами строящихся зданий и объяснить, почему они всегда устраиваются шире, чем опирающиеся на них сооружения.

На первом, в особенности на втором уроке, а также на последующих продолжается разбор зависимости давления от действующей силы и площади на примерах преимущественно технического характера. Сначала расчеты давления производятся арифметически, а затем на основании этих расчетов дается формула, введение которой позволяет показать действие над наименованиями единиц, как это было сделано для удельного веса.

При разборе примеров проявления давления в природе и применения его в технике необходимо подчеркнуть пользу уменьшения давления в одних случаях и его увеличения в других (фундаменты, гусеничные тракторы, головки булавок, гвоздей, кнопок, острия булавок и т. д.¹). Эти примеры должны показать, как важно учитывать конкретные условия, в которых приходится пользоваться различными давлениями.

В борьбе за существование в мире животных величина давления имеет большое значение. Россомаха может до утомления загнать по рыхлому снегу лося, так как она производит давление в $22 \frac{\Gamma}{\text{см}^2}$, тогда как давление лося равно $500 \frac{\Gamma}{\text{см}^2}$, и он глубоко проваливается в снег. Заяц (давление $12 \frac{\Gamma}{\text{см}^2}$) может убежать от волка (давление $120 \frac{\Gamma}{\text{см}^2}$) по рыхлому снегу, но не спасется от него при беге по насту.

Учащимся можно сообщить те предельные значения давлений, которых достигает современная техника.

При откачке воздуха современными разрежающими насосами получают давление в несколько стобиллионных долей $\frac{\kappa\Gamma}{\text{см}^2}$.

Изучая действия повышенного давления на разные свойства тел и, в частности, на биологические явления, применяют давления до $100\,000 \frac{\kappa\Gamma}{\text{см}^2}$. При взрывах водородных бомб развивается давление в несколько миллиардов атмосфер.

3. П е р е д а ч а д а в л е н и я. С понятием о существовании давления тесно связан вопрос о передаче давления телами в различных их состояниях.

¹ У учащихся вызывают изумление очень большие давления, производимые остриями булавок, гвоздей, жалами насекомых, при сравнительно малых приложенных силах. Надо пояснить, что в этих случаях силы прилагаются к очень малым площадям, при расчете же давления делается перерасчет на значительно большую площадь — на 1 см^2 .

² Б р и д ж м э н, Новейшие работы в области высоких давлений, «Успехи физических наук», т. XXXI, вып. 1—3, 1947.

Так как различные понятия лучше усваиваются путем их сопоставления, то следует вопрос о передаче давления рассмотреть последовательно для твердых тел, жидкостей и газов.

Передача давления твердыми телами по направлению действия силы, строго говоря, имеет место только по отношению к идеально твердым телам.

Но в первом приближении и по отношению ко многим техническим материалам можно рассматривать такую передачу как общее правило. Что давление передается твердым телом по направлению действия силы, учащиеся могут вывести из своих повседневных наблюдений над бытовыми явлениями и простыми техническими установками.

Труднее убедить их, что давление передается твердым телом только по направлению действия силы.

На эту мысль их может навести наблюдение над ямками в песке, которые образовались от вдавливания в песок ножек стола в вышеописанном опыте. Объем этих ямок соответствует объему ножек; следовательно, не было силы, которая раздвигала бы стенки ямок вбок.

В качестве перехода к передаче давления жидкостью полезно рассмотреть передачу давления сыпучим телом. Для демонстрации достаточно приготовить небольшой картонный цилиндр или параллелепипед с прорезанными в нем в разных местах окошечками, прикрытыми листочками тонкой бумаги. Если насыпать в цилиндр мелкой дроби или зерен пшена и произвести давление плотно входящим поршнем вдоль оси цилиндра, то можно показать учащимся, что давление передается сыпучими телами по разным направлениям, но неравномерно.

Разбирая отличие передачи давления сыпучими телами от передачи давления твердыми телами, надо подчеркнуть влияние относительно большей подвижности частиц сыпучего тела.

Передачу давления жидкостями и газами демонстрируют на шаре Паскаля, наполняемом то жидкостями, то дымным¹ воздухом. В «Методике демонстрационных опытов»² предлагается вместо шара Паскаля взять мяч, сделать в нем проколы, наполнить дымом и, сжимая его, наблюдать выход дымовых струй.

Из опыта можно сделать заключение о передаче жидкостями и газами давления по всем направлениям, о перпендикулярности действующей силы к поверхности, но заключения о равномерности передачи давления вывести нельзя.

Равномерность передачи давления по всем направлениям жидкостями и газами должна быть объяснена высокой подвижностью частиц в этих состояниях (сравнить с передачей давления сыпучими телами).

¹ Дым получают при помощи дымаря, см. § 33 рис. 26.

² В. А. З и б е р, Ф. Н. К р а с и к о в, И. А. Ч е л ю с т к и н, Методика и техника демонстрационных опытов по физике, Учпедгиз, М.—Л., 1934, стр. 33.

Без приложений закон Паскаля будет слишком абстрактен для учащихся и потому труден для понимания. Непременно следует показать гидравлический пресс, не входя в подробности его устройства и в проведение расчетов, и рассказать об его использовании в технике.

4. Д а в л е н и е ж и д к о с т и, з а в и с я щ е е о т е е в е с а. Переходя к вопросу о давлении внутри жидкости, зависящем от ее веса, надо показать логическую обоснованность возникновения этого нового вопроса, так как в обучении самым важным является вскрытие связи между явлениями.

Учащиеся знают, что жидкости, как и все тела, имеют вес; они могут высказать гипотезу, что каждый горизонтальный слой жидкости своим весом должен действовать на нижележащие слои. По закону Паскаля давление должно передаваться равномерно.

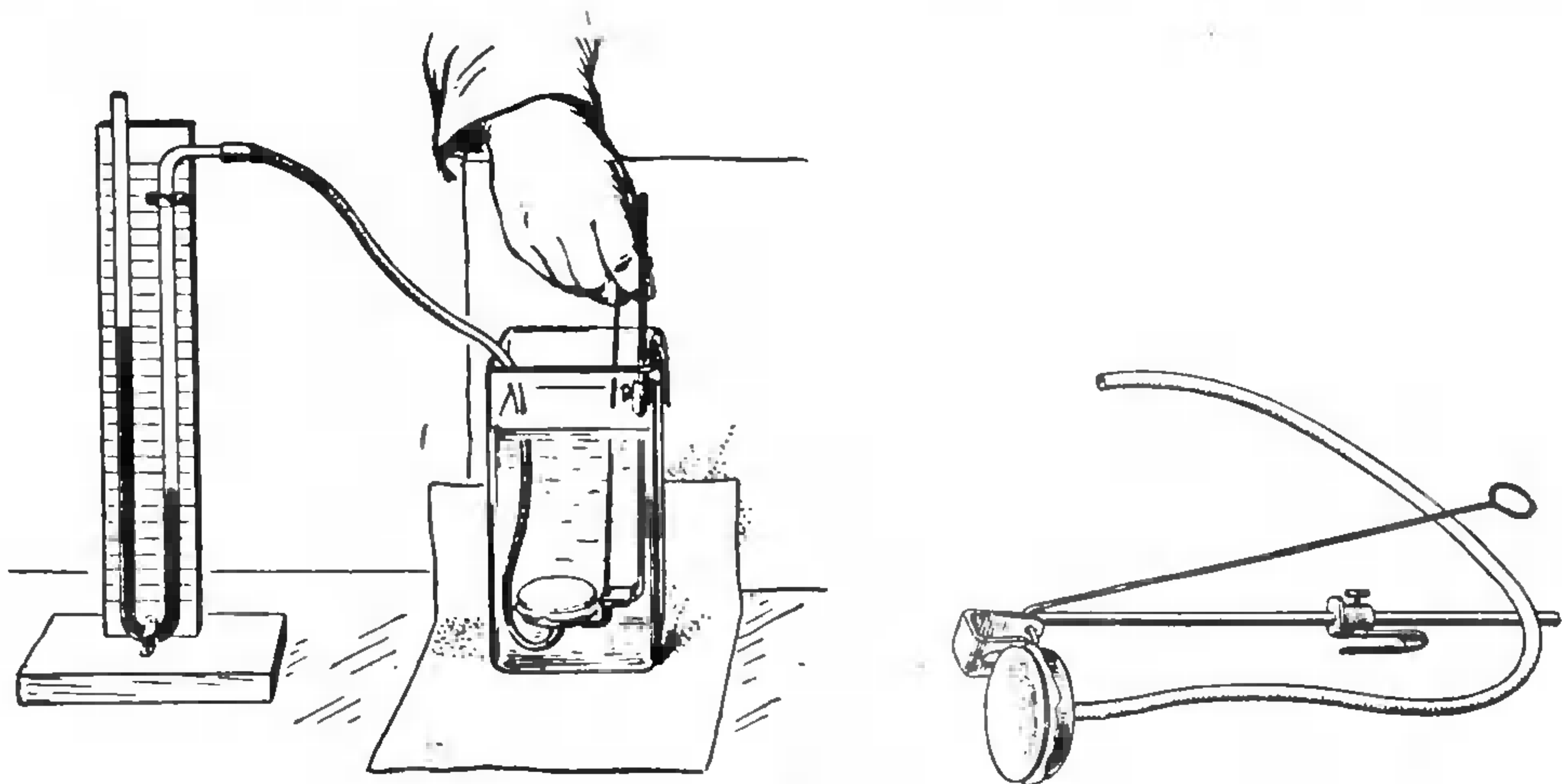


Рис. 2

Из совокупности всех этих данных возникает новая задача: выяснить, существует ли давление внутри жидкости, зависящее от ее веса (так называемое «гидростатическое» давление), и, если существует, то как оно проявляется.

На рисунке 2 изображен прибор для опытного изучения этого вопроса, представляющий собой металлическую коробку, одна сторона которой состоит из тонкой резиновой перепонки и внутренность которой соединена с манометрической трубкой; коробка может поворачиваться вокруг оси, совпадающей с диаметром перепонки.

Возражают, что для изучения давления жидкости нельзя пользоваться прибором, основанным на свойстве газа. Но это возражение можно отвести тем, что сначала производится ознакомление с манометром. Именно, держа коробку вне жидкости, нажимают слегка на глазах у учащихся пальцем на перепонку; учащиеся наблюдают изменение положения уровней в коленях трубки манометра. Отсюда учащиеся устанавливают: перемещение уровней в манометре свидетельствует о том, что на перепонку произведено

давление: чем больше сила, действующая на перепонку, тем больше и изменение уровней.

После демонстрации действия манометра преподаватель обращается к исследованию вопроса, существует ли давление внутри жидкости, и опускает коробку внутрь жидкости, держа ее перепонкой кверху. По смещению уровней учащиеся устанавливают наличие давления внутри жидкости.

Затем исследуется второй вопрос, зависит ли в данной жидкости давление от глубины погружения. Вопрос рассматривается только качественно. Перед учащимися производится несколько погружений коробки по-прежнему перепонкой кверху на разные глубины. Из повторных опытов учащиеся устанавливают, что давление растет с увеличением глубины. Пропорциональность давления глубине определяется не путем количественных измерений, а догматически, но восприятие этого догматически сообщенного положения подготовлено предыдущими качественными опытами.

Наконец, ставится третий вопрос, зависит ли давление на данной глубине в данной жидкости от направления площадки. Отметив снаружи сосуда какую-нибудь глубину наклеенной полоской бумаги и установив против этой полоски перепонку, вращают коробку около горизонтальной оси так, чтобы центр перепонки оставался на данной глубине. При аккуратном вращении коробки уровни жидкости в манометре остаются неизменными, несмотря на поворот перепонки на 180° и затем на 360° .

Опыт показывает, что давление на данной глубине в данной жидкости одинаково для всех направлений площадки, т. е. не зависит от положения площадки.

Установив это, преподаватель опять возвращается к опытам и останавливает внимание учащихся на том случае, когда перепонка стоит вертикально. Это положение перепонки соответствует вертикальной стенке сосуда. Отсюда делается заключение о существовании давления на стенку сосуда и об одинаковости давления на стенку с давлением на горизонтальную площадку, помещенную против центра площадки, выделенной на боковой стенке.

Затем на той же глубине исследуется давление на перепонку, обращенную вниз. Учащиеся устанавливают, что для каждой глубины давление снизу вверх равно давлению сверху вниз. Последнее подтверждается тем соображением, что в сосуде каждый горизонтальный слой внутри жидкости остается в покое; следовательно, оба давления на него — сверху и снизу — действительно равны, иначе было бы смещение его в сторону действия большей силы.

Хорошо повторить опыт с давлением для жидкостей разной плотности, показав, что давление при одной и той же глубине растет с повышением плотности (в VI классе говорится об удельном весе) жидкости.

Если в физическом кабинете нет описанного фабричного прибора, его можно заменить самодельным, состоящим из воронки от бюретки, затянутой с широкой стороны тонкой резиновой пере-

понкой. Горлышко воронки соединяется гибкой резиновой трубкой с манометром. При погружении в воду держат края воронки большим и средним пальцами и вращают ее указательным.

Два последних положения относительно давления на боковую стенку и относительно давления жидкости снизу вверх, выведенные из основного опыта, проверяются еще дополнительными, всем известными опытами (рис. 46 и 49 учеб.).

После того как сделан вывод относительно давления внутри жидкости, ставятся две новые задачи: 1) измерить силу, действующую на данную площадь внутри жидкости; 2) объяснить, почему давление на данной глубине одинаково по всем направлениям.

Для решения первой поставленной задачи преподаватель вновь обращает внимание учащихся на давление жидкости, которое она

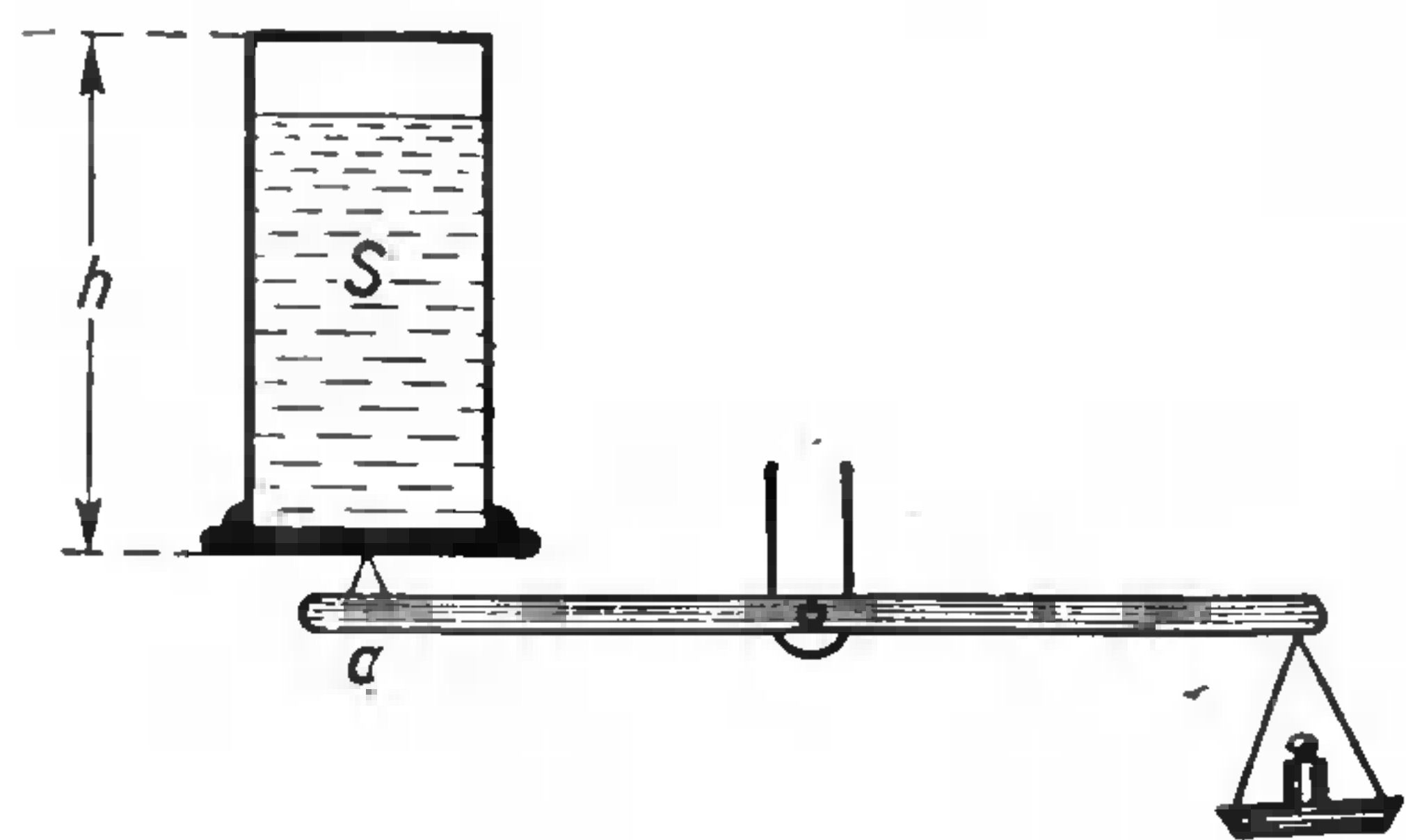


Рис. 3

оказывает на горизонтально расположенную перепонку, обращенную вверх. В этом положении перепонки силой, действующей на нее, является вес столба жидкости, находящейся над перепонкой. Возможно, это рассуждение будет недостаточно убедительным для учеников VI класса. Лучше было бы измерить силу давления на подвижное дно в прямом цилиндрическом сосуде на приборе для

демонстрации парадокса Паскаля, при условии, что рычаг прибора — равноплечий. Тогда можно было бы показать вычислением, что сила давления на дно, измеряемая разновесом, равна весу соответствующего вертикального столба жидкости (рис. 3).

Если обозначить площадь, на которую действует вес жидкости, через S и глубину ее погружения через h , а удельный вес жидкости через d , то вес жидкости в объеме Sh , или сила, действующая на всю площадь, будет $P = dSh$, тогда давление жидкости на глубине h можно выразить как $p = dh$.

Конечно, в данном случае, как и в других в VI классе, учащихся следует сначала познакомить с этим соотношением на числовых примерах и только под конец облечь его в формулу.

С этого момента учащиеся должны строить все дальнейшие расчеты на выведенном соотношении между давлением жидкости, высотой ее над площадкой и удельным весом.

Для решения второй выдвинутой задачи делается чертеж, на котором преподаватель изображает силу, действующую на горизонтальную площадку, такую же силу, действующую на равную площадку боковой стенки сосуда, центр которой помещен на глубине горизонтальной площадки. Чертеж создает представление о том, что давление жидкости, зависящее от ее собственного веса, передается и по другим направлениям (рис. 4).

Опираясь на закон Паскаля, преподаватель дает объяснение зависимости давления от глубины и независимости от направления расположения площадки и подчеркивает, что наблюдаемое явление есть результат весомости жидкости и равномерной передачи давления вследствие подвижности ее частиц.

Педагогический опыт показывает, что учащиеся легко смешивают закон Паскаля и изменчивость давления с глубиной. Надо отчетливо подчеркнуть, что закон Паскаля выражает свойство жидкости **п е р е д а в а т ь** давление, производимое, например, извне на поверхность жидкости. Это давление передавалось бы жидкостью, если бы она и не имела веса. Распределение же давления с глубиной в основном зависит именно от **в е с о м о с т и** жидкости.

Этими опытами и рассуждениями устанавливается все необходимое для дальнейшего разбора гидростатических явлений. Если учащиеся усвоили, что давление $p = dh$, а сила, действующая на площадь, $P = dhS$, то для них должно быть ясно, что в сосудах разной формы, но с равным по площади дном, заполняемых до одинаковой высоты, силы, действующие на дно, должны быть одинаковыми. Поэтому данный опыт можно ставить в порядке проверки сделанных ранее выводов.

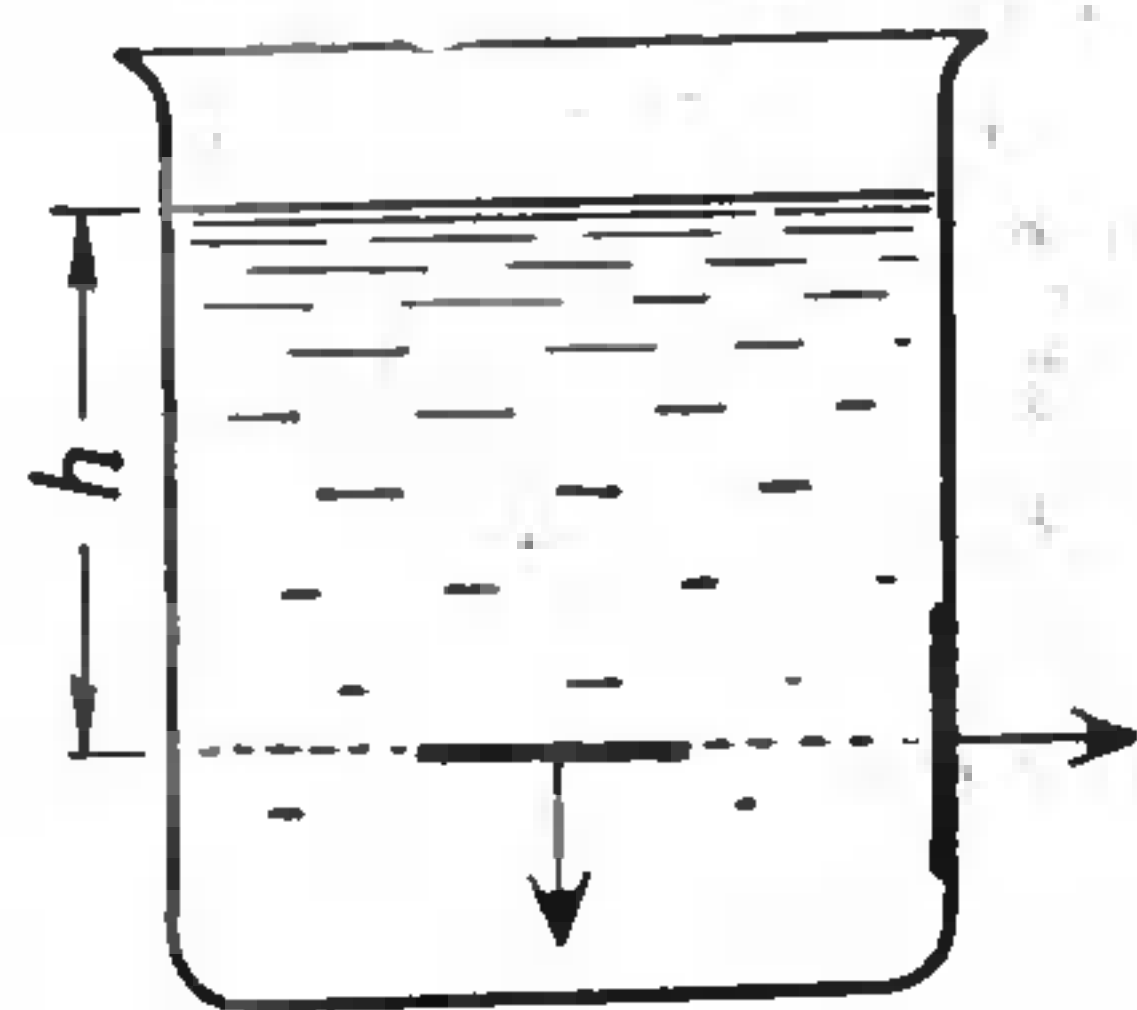


Рис. 4

Рассмотренный теоретический материал должен быть закреплен разбором различных примеров из природы и техники.

Поведение жидкости в сообщающихся сосудах, представляющих собой простейшую модель водопровода, выводится из того факта, что каждый слой жидкости находится в покое. Значит, давление на вертикальную площадку в жидкости в соединительной трубке с обеих сторон одинаково, т. е.

$$dh = dh_1, \quad \text{или} \quad h = h_1.$$

Уровни одной и той же жидкости в сообщающихся сосудах располагаются на одной высоте (демонстрация).

Затем приводится описание устройства водопровода и технических устройств, основанных на условии равновесия жидкости в сообщающихся сосудах.

Разбор действия водопровода полезно сопровождать демонстрацией простого опыта. В тубус стеклянного цилиндра, находящегося на высокой подставке, вставлена через пробку стеклянная трубка, на нее надета резиновая трубка, заканчивающаяся оттянутой стеклянной трубкой. Открывая зажим, надетый на конец резиновой трубки, и поддерживая уровень воды в сосуде постоянным, можно показать, как меняется напор вытекающей струи с поднятием трубки (изменение напора по этажам здания). Подняв кончик трубки выше уровня в цилиндре, надо обратить внимание учеников на то, что течение воды прекращается, и на основании этого объяс-

нить, отчего иногда в верхние этажи зданий может прекратиться подача воды по водопроводной сети, хотя она продолжается в нижние этажи. Поставив трубку вертикально, можно продемонстрировать действие фонтана.

В этом разделе преподавателю впервые приходится упомянуть об уравнивающей силе. На конкретном случае покоя столбов жидкости в сообщающихся сосудах преподаватель устанавливает условия взаимного уравнивания сил: равенство сил и противоположные направления их.

Надо также объяснить образование ключей в естественных условиях. Необходимо уделить время для объяснения действия речных шлюзов, показав на уроке кинофильм о грандиозных шлюзах каналов Беломорско-Балтийского, имени Москвы, Волго-Донского, чтобы возбудить в них чувство гордости за нашу Родину.

При изучении этого раздела программы следует провести экскурсию на водопроводную станцию города, завода или поселка.

5. Атмосферное давление. Тема распадается на подтемы: доказательство существования атмосферного давления, история его открытия, его измерение, приборы для его измерения и приборы, действие которых основано на атмосферном давлении.

Как видно из этого перечня, самым существенным и ответственным является первый урок этой темы, на котором обосновывается новое для учащихся понятие об атмосферном давлении.

Традиционный подход к введению понятия об атмосферном давлении — историко-производственный. Но возможен и другой подход, логически связанный с предыдущими темами.

В предварительной беседе преподаватель путем вопросов восстанавливает в памяти учащихся следующие положения. Газы, как жидкости и твердые тела, весомы. Частицы газа, подобно частицам жидкости, передают производимое на них давление по всем направлениям равномерно. В этих свойствах наблюдается полное сходство жидкого и газового состояний.

Но жидкость вследствие своей весомости и передачи давления оказывает давление, возрастающее с глубиной водоема. Естественно сделать предположение (гипотезу), что воздушный океан вследствие таких же свойств воздуха должен оказывать давление, возрастающее к его дну. Урок и посвящается доказательству существования атмосферного давления. (Тема урока записывается на доске.)

Ставятся опыты по обнаружению атмосферного давления.

Первый опыт. Воронка затягивается тонкой резиновой перепонкой и через трубку из нее отсасывается воздух. Перепонка прогибается внутрь воронки при любом положении воронки. Учащиеся знают, что деформация одного тела может происходить только под действием другого тела. Никакое другое тело, кроме воздуха, не соприкасается с перепонкой. Следовательно, воздух производит давление и притом по всем направлениям. Уже этот опыт дает положительный ответ на поставленный вопрос о наличии атмосферного давления.

Второй опыт. Поднятие воды под поршнем в стеклянной модели всасывающего насоса.

С этим опытом можно связать историю открытия атмосферного давления.

Третий опыт. Предложить двум-трем учащимся вытягивать поршень нагнетательного насоса (хотя бы велосипедного) из его наиболее глубокого положения один раз при открытом отверстии и другой раз — при закрытом. Большее усилие во втором случае наводит на мысль о том, что воздух производит давление на внешнюю часть поршня. Повторение этого опыта при всяких положениях насоса укажет на наличие атмосферного давления по всем направлениям.

Методика изложения вопроса о существовании и измерении атмосферного давления по приему Торричелли достаточно разработана во всех учебниках.

Не разбирая вопроса во всей полноте, отметим некоторые пункты его, рассматриваемые на первом и на следующих уроках.

(Первый урок заканчивается опытом Торричелли.)

1) Для доказательства того, что вес ртутного столба в трубке Торричелли с основанием в 1 см^2 измеряет атмосферное давление, очень полезно заставить учащихся пронаблюдать, что при наклоне трубки количество ртути в трубке увеличивается, а уровень ее остается на одной и той же горизонтали. Из уроков гидростатики учащиеся должны были хорошо усвоить, что давление на дно в сосуде с любыми наклонными стенками измеряется весом вертикального столба жидкости. При наклоне трубки, следя за постоянством уровня, учащиеся убеждаются, что давление ртутного столба остается неизменным; также сохраняется неизменным во время опыта и состояние атмосферы. Значит, давлением ртутного столба измеряется именно атмосферное давление.

2) В подтверждение того, что давление жидкостного столба измеряет атмосферное давление, полезно рассказать об опытах Паскаля, о повторении им опыта Торричелли с разными жидкостями. Высоты этих столбов оказались такого размера, что $d_{\text{рт}} \cdot h_{\text{рт}} = d_{\text{вод}} \cdot h_{\text{вод}} = d_{\text{м}} \cdot h_{\text{м}}$, т. е. одинаковым во всех случаях оказывается именно давление.

3) Также необходимо отметить, что по опытам Паскаля давление внутри воздушного океана изменяется с высотой, как и давление внутри водяного океана.

4) После всестороннего разбора устанавливается, что атмосферное давление измеряется давлением ртутного столба в торричеллиевой, или барометрической, трубке.

Нельзя приучать учащихся к тому, что атмосферное давление измеряется давлением ртутного столба в 76 см. Такой ответ должен следовать только на вопрос, что принимается за нормальное атмосферное давление, а не на вопрос, чем измеряется атмосферное давление в каждый момент времени.

5) Далее устанавливается и закрепляется формула давления:

$$p_{\text{атм}} = d_{\text{рт}} \cdot h_{\text{рт}}.$$

С этой формулой учащиеся имеют дело на протяжении изучения всей гидростатики и аэростатики.

6) Затем следует вычислить величину нормального атмосферного давления в кГ/см^2 и дать величину технической атмосферы.

7) Надо остановить внимание учащихся на том, что такие записи, как атмосферное давление $p=75 \text{ см}$, неправильны. Их следует записывать подробно: $p=75 \text{ см рт. ст.}$, или $p=75 \text{ см Нг}$.

8) Преподавателю не следует увлекаться задачами на расчет высоты подъема в атмосферу по разности показаний барометра, принимая плотность постоянной. Следует рассказать о том, что существуют особые формулы и таблицы, которые позволяют решать эту задачу.

Для небольших же высот можно вычислить один раз изменение показания барометра при подъеме на 10 м и пользоваться найденным числом для решения некоторых задач о высоте подъема.

9) При разборе устройства и действия барометра обязательно надо указать, что барометр предназначается только для измерения атмосферного давления и не имеет назначения показывать погоду, так как погода зависит от многих факторов, например влажности, температуры, направления и силы ветра и др.

10) Говоря о торричеллиевой пустоте, надо продемонстрировать ее наличие быстрым наклоном трубки и получением звучного металлического удара. По окончании разбора опыта можно опять заполнить трубку, оставив в ней часть воздуха; тогда при наклоне ее звучного удара не получается.

11) Надо непременно проверить понимание учащимися гидростатических и аэростатических явлений, поставив перед ними вопрос, изменится ли высота ртутного столба в торричеллиевой трубке, если брать трубки разного поперечного сечения.

12) Объяснение устройства барометров и приборов, действие которых основано на атмосферном давлении, не требует введения новых понятий и не представляет принципиальных затруднений.

6. Д а в л е н и е г а з а. Эта подтема общей темы «Давление» рассматривается в VI классе только с качественной стороны без вывода количественных соотношений. Излагая ее, преподаватель должен закрепить в памяти учащихся следующие положения: 1) распространение газа по всему возможному для него объему; 2) давление газа на стенки сосуда, в котором он находится; 3) изменение давления взятого количества газа при изменении объема его.

Конечно, должны быть также сообщены примеры использования показанных свойств газа в технике.

1. Как показать безграничную распространяемость газа из незамкнутого сосуда? Так как для выявления этого свойства газов приходится пользоваться бесцветными газами — аммиаком, парами эфира (цветные газы — хлор, пары брома — вредны для

здоровья), то для обнаружения их вне сосуда их приходится задымлять. Если газы пахучи, то их утечку из сосуда можно обнаружить по распространению характерного для них запаха.

Налив на блюдо на демонстрационном столе эфир (или одеколон), хлористый аммоний или какую-либо иную сильно пахучую (но безвредную) жидкость, спрашивают учащихся первых рядов, чувствуют ли они ее запах. Положительный ответ укажет на то, что образовавшийся из жидкости газ (пар) начал распространяться по объему класса. Ощущение запаха учащимися в дальних рядах свидетельствует о неограниченном распространении газа в открытом пространстве.

Сообщения учащихся о подобных наблюдениях за распространением запахов в домашней обстановке подкрепляет обоснованность последующих выводов.

Из всей совокупности наблюдений учащиеся под руководством преподавателя приходят к следующим выводам:

а) Пары (газы) состоят из отдельных частиц; ощущение запаха возможно только при воздействии вещества на орган обоняния; повсеместное ощущение запаха свидетельствует о делении небольшого количества образовавшегося пара на огромное число частиц.

б) Частицы газа находятся в движении, иначе они не могли бы быть обнаружены в местах, отдаленных от места их образования.

в) Вследствие движения частиц газ распространяется по всему доступному для него пространству.

Можно рекомендовать учащимся понаблюдать дома за распространением запахов керосина, нафталина, камфоры или ванили.

2. Можно взять детский резиновый шар, наполненный светильным газом, и проколоть его булавкой; или взять надутую камеру автомобильного колеса или футбольного мяча и открыть краны их. Во всех случаях при выходе газа оболочка сжимается. Превышенная деформация оболочки, как всякая деформация, была вызвана, как известно учащимся, силой. Следовательно, газ, находясь в сосуде, производит на все его стенки давление; каждая часть поверхности стенки (каждый см^2) испытывает воздействие силы давления.

Целесообразно показать следующий известный опыт. На резиновую подушку помещают доску, на которую ставят гирю весом в 20 кг или даже сажают учащегося. При вдувании в подушку через трубку воздуха подушка надувается и приподнимает доску с грузом. Опыт подтверждает: а) существование давления газа на стенки; б) передачу газом давления по закону Паскаля.

3. Наконец, чтобы качественно показать зависимость давления одного и того же количества газа от занимаемого им объема (при неизменной температуре), можно выполнить ряд опытов, начиная с простейших.

а) Один конец стеклянной трубки закрыть пробкой, а в другой вставить поршень (воздушный пистолет); при вдвигании поршня пробка будет вытолкнута силой давления газа, увеличивающейся по мере уменьшения объема.

б) Предложить одному-двум учащимся в классе (а остальным желающим — дома), зажав отверстие велосипедного насоса, вдвигать в него поршень, а затем отпустить его.

Увеличение усилия при вдвигании укажет на возрастание силы давления со стороны газа при уменьшении объема его. Выталкивание поршня на некоторое

расстояние покажет, что сила давления газа постепенно убывает по мере увеличения объема, пока не уравнивается атмосферным давлением.

в) Заперев при помощи ртути в одном колене прибора (рис. 5, а) некоторое количество воздуха, затем поднимают второе колено на такую высоту, чтобы объем воздуха уменьшился вдвое (рис. 5, б), и по разности столбов ртути судят о том давлении, которое производит воздух в уменьшенном объеме. Опуская подвижное колено и увеличивая объем воздуха сравнительно с первоначальным (рис. 5, в), обнаруживают уменьшение давления воздуха.

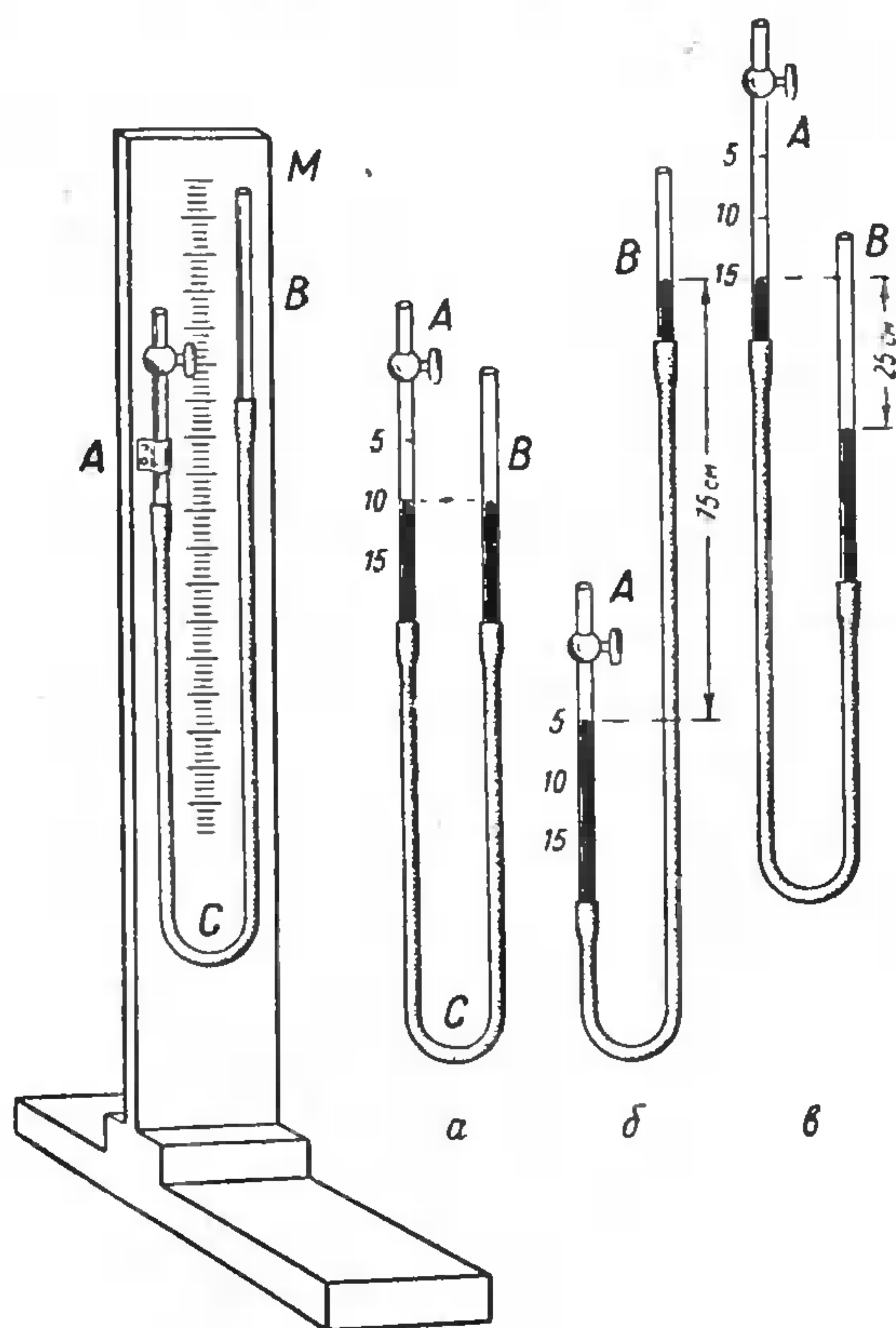


Рис. 5

Из этих опытов (минимально) и других, поставленных преподавателем, учащиеся под руководством его выводят качественную зависимость между давлением и объемом взятого количества газа (при постоянной температуре).

7. Приборы и техническое использование изложенных закономерностей. В программу входит изучение манометров разного вида, водяных и воздушных насосов всасывающих и нагнетательных. В этой книге их описание дано не будет.

При изложении этих вопросов на уроке можно ограничиться материалом учебника. Только настоятельно рекомендуется при этом дать возможно более подробные чертежи, изображающие части

приборов, их расположение и роль этих частей в разные моменты действия приборов ¹.

Технические приложения также не могут быть здесь подробно изложены. Ограничимся конспективным перечислением части их: примус, воздушные тормоза на транспорте, самооткрывающиеся двери вагонов, выталкивание воды из балластных цистерн подводной лодки, кессоны для работы под водой, водолазное дело, отбойные молотки для работы в шахтах, пневматические молоты, пневматическая почта и многое другое, о чем сообщают юношеские журналы и научно-техническая популярная литература.

Обилие технических приложений дает материал для использования его в кружковой работе учащихся.

8. Действие жидкости и газа на находящиеся внутри них тела (закон Архимеда)

1. Общие замечания по разделу программы. Названный раздел очень тесно связан с предыдущим. При его изучении учащиеся не встретятся с новыми физическими величинами, они будут иметь дело с величинами ранее изученными, но в новых комбинациях. Поэтому учащиеся могут быть подведены к новому разделу курса логическим путем.

Так как на раскрываемых в этом разделе закономерностях основано устройство водного транспорта и воздухоплавательных аппаратов легче воздуха, то политехническое значение этого раздела очевидно.

Большую роль в развитии водного транспорта и воздухоплавания сыграли русские ученые и инженеры, поэтому этот раздел дает обильный материал для воспитания у учащихся патриотизма, чувства гордости за талантливых представителей своего народа.

Создание водного транспорта и изобретение воздухоплавательных аппаратов имеет длительную историю, которую следует раскрыть перед учащимися частично на уроках, более подробно на внеклассных занятиях. Принцип историзма в преподавании находит здесь свое наглядное выражение.

Раздел распадается на две темы. 1. Действие жидкости и газа на находящееся внутри них тело — закон Архимеда. 2. Поведение тел внутри жидкости или газа.

Необходимо помнить, что изложение учебного материала должно сопровождаться конкретным сообщением о технических и практических применениях изучаемых закономерностей.

2. Закон Архимеда. Хотя закон Архимеда может быть выведен теоретически из факта существования гидростатического давления и его зависимости от глубины, но предпочтительнее

¹ За образец можно принять чертежи из книг: Е. Н. Горячкин, Методика преподавания физики в семилетней школе, т. IV, Учпедгиз, М., 1955, стр. 164—166.

Е. Н. Горячкин, Физика, Учебные материалы для VI класса, изд. АПН РСФСР, М., 1953, стр. 143—144, 149.

вывести его экспериментальным путем, во-первых, потому, что этот путь исходит от живого созерцания явления; во-вторых, потому, что он обеспечивает наибольшую активность класса при выводе закона; наконец, потому, что в действительности закон был открыт Архимедом почти на две тысячи лет раньше расчета гидростатического давления.

Теоретический вывод может быть (но не обязательно) разобран преподавателем с учащимися на упражнениях.

На первом уроке, посвященном новой теме, преподаватель повторяет сначала путем опроса учащихся с мест основные факты, касающиеся гидростатического давления.

Затем преподаватель обращает внимание учащихся на то, что в действительности внутри жидкости обычно находятся не отдельные геометрические площадки, а физические тела, ограниченные поверхностями разного направления, находящимися на разной глубине от уровня жидкости. Каждая часть поверхности любого физического тела, находящегося внутри жидкости, испытывает со стороны жидкости определенное действие; возникает вопрос, каково же будет общее действие жидкости на находящееся внутри нее тело. Преподаватель объявляет, что исследование этого вопроса составит содержание урока, и записывает тему на доске. Если он найдет нужным упомянуть, что решение вопроса было дано Архимедом, то он приписывает к теме слова «Закон Архимеда». Сначала преподаватель показывает явление в крупном масштабе. К концу твердой пружины подвешивает кирпич, большой камень или двадцатикилограммовую гирю, показывает растяжение пружины в воздухе, затем погружает груз в ведро с водой. На глазах учащихся растяжение пружины уменьшается. Учащиеся делают предварительный вывод.

Дальше преподаватель путем опроса учащихся выясняет, какие у них имеются жизненные наблюдения по данному явлению. Из совокупности опыта и наблюдений учащиеся сами устанавливают, что вода производит на находящееся внутри нее тело или на погружаемое в нее тело выталкивающее действие. Дальше можно подвергнуть исследованию, от каких качеств тела и жидкости зависит величина выталкивающей силы. а) Зависит ли она от объемов погружаемых тел при одном и том же весе их? Взяв два полых цилиндра разного объема и догрузив их дробью до одинакового веса, преподаватель прикрепляет их к концам равноплечего рычага и погружает то и другое тело в сосуды с водой. Подъем конца, к которому подвешен больший объем, дает ответ на поставленный вопрос. б) Зависит ли величина выталкивающей силы от рода жидкости, именно, от ее удельного веса? Уравновесив на равноплечем рычаге два тела одинакового объема и одинакового веса, опускают одно тело в воду, другое в другую жидкость (денатурат, керосин и т. п.). Подъем того конца рычага, на котором находится тело, опущенное в жидкость с бóльшим удельным весом, дает ответ на поставленный вопрос.

Преподаватель, отмечая правильность вывода, останавливает внимание учащихся на том, что их наблюдения и качественные опыты не дают еще понятия о величине выталкивающей силы. Между тем для полноты изучения явления недостаточно знать о существовании выталкивающей силы, надо выяснить, от чего зависит ее величина. Такую цель и ставит преподаватель перед следующим опытом. Лучше, проще и опрятнее пользоваться для этого опыта динамометром, изображенным на рисунке 6.

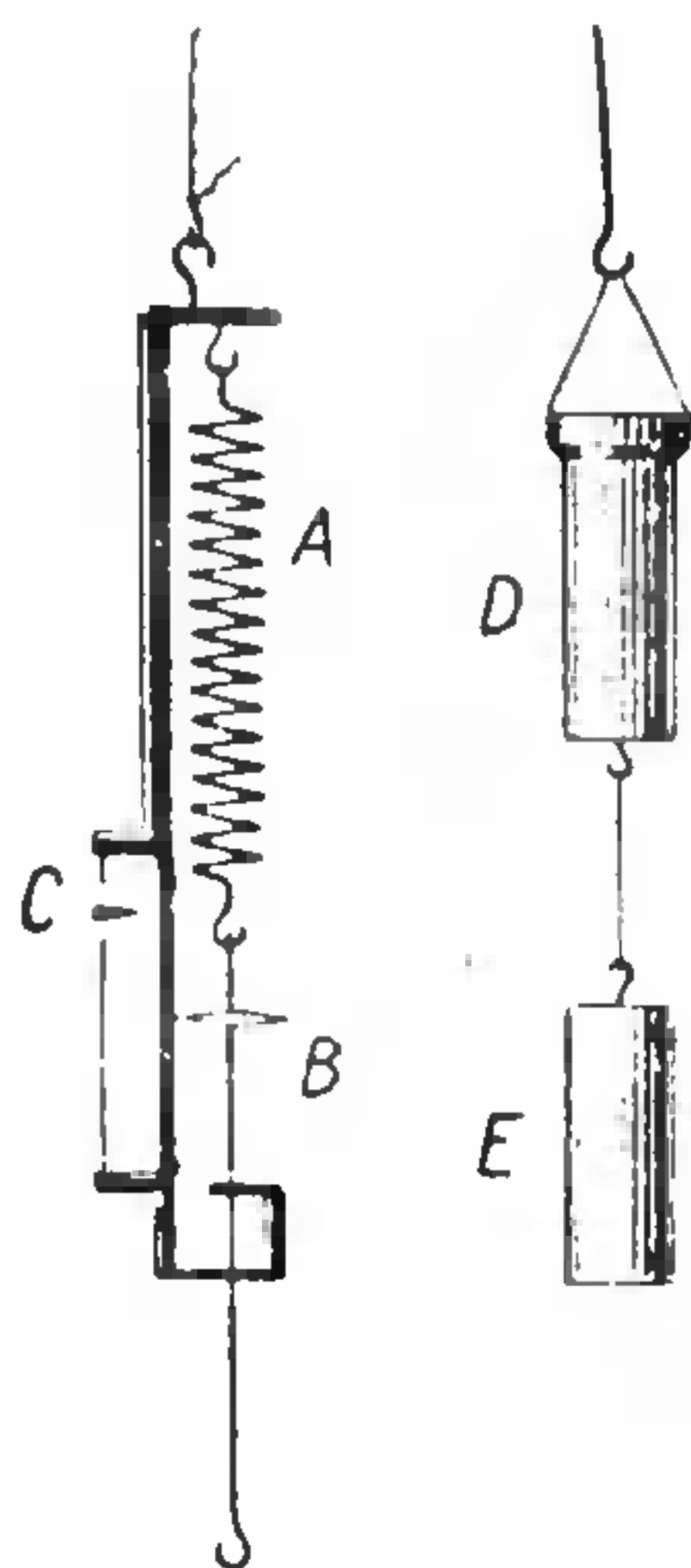


Рис. 6

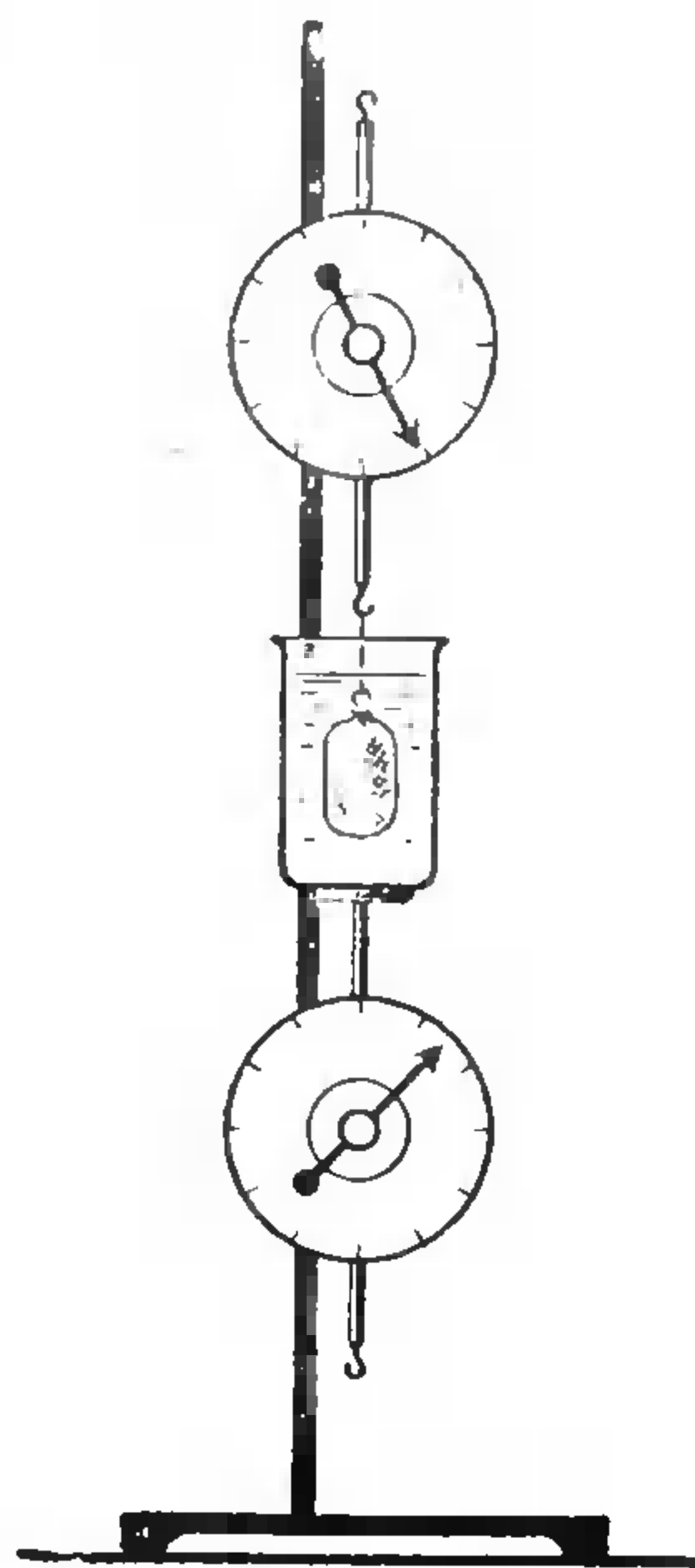


Рис. 7

К динамометру прилагаются цилиндры, сплошной и полый; внутренний объем последнего равен объему сплошного цилиндра (ход демонстрации известен).

Учащиеся делают предварительный вывод закона для действия воды. Учитель быстро повторяет такие же опыты с денатуратом, молоком и другими жидкостями и дает точную формулировку закона Архимеда.

Недостатком взятого прибора является то, что учащиеся не могут видеть, до какой высоты налита вода в полый металлический сосуд. Надо показать уровень воды в нем при помощи зеркала, поставленного под углом в 45° к горизонту.

3. Действие на жидкость погруженного в нее тела. Темой второго урока является, во-первых, действие на жидкость тела, погруженного в нее, во-вторых, действие газа на находящееся в нем тело.

Сначала на установке с демонстрационным динамометром (рис. 7) снова измеряется выталкивающая сила жидкости. Затем в другой установке с таким же демонстрационным динамометром

показывается сила давления того же тела на жидкость, и делается вывод.

После этого обращается внимание учащихся, что показанное взаимодействие является одним из постоянно имеющих место в природе явлений одновременного взаимодействия двух тел друг на друга с силами равными и противоположно направленными. В таком взаимодействии обнаруживается единство двух противоположностей.

Ни о третьем законе динамики, ни об элементах диалектико-материалистической философии здесь упоминать не следует, но сообщение такого факта надо рассматривать как закладывание первого камня для построения того и другого.

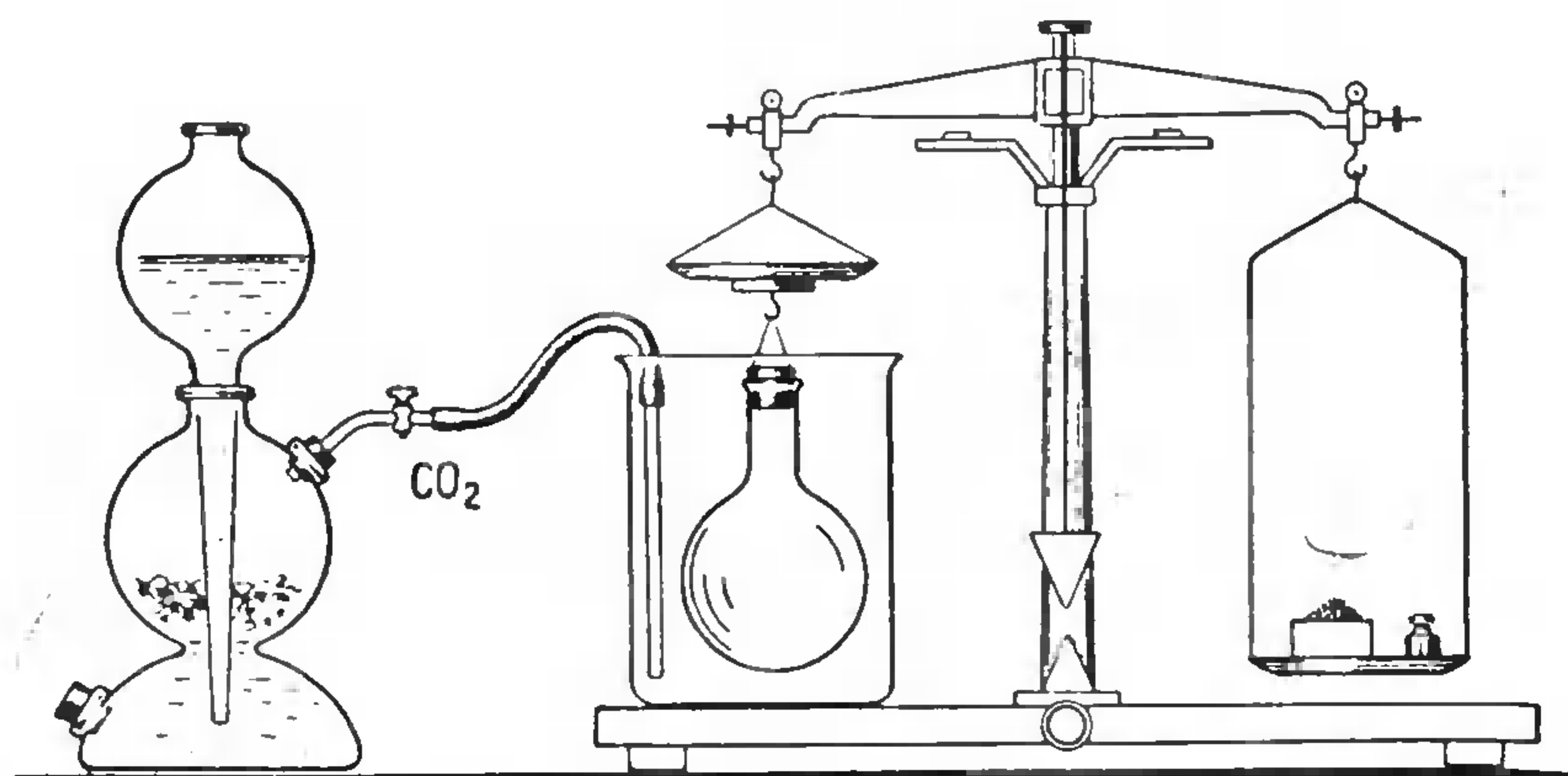


Рис. 8

4. Закон Архимеда для газов. Для вывода закона Архимеда для газов (рис. 8) к коромыслу весов на место снятой чашки подвешивается открытая колба емкостью до 2 л свободно входящая в поставленный под нее стеклянный цилиндр. После того как установлено тарированием равновесие весов, в цилиндр пускают углекислый газ. Чашка с колбой поднимается. Если, поддерживая наполнение цилиндра углекислым газом, пускать углекислый газ и в колбу, то она снова опускается. Если бы можно было и в цилиндре и в колбе совершенно заместить воздух углекислым газом, то равновесие вновь восстановилось бы.

Следующие один-два урока следует посвятить расчетам, основанным на законе Архимеда.

При этом каждая задача должна иметь вполне конкретный характер и относиться к определенному веществу и к определенной жидкости.

Возможен расчет общей силы давления на шесть граней бруска, находящегося внутри жидкости, так как ее решение позволит показать учащимся, как может быть выведен теоретически закон Архимеда.

Очень полезно предложить учащимся провести дома проверку закона Архимеда на простой установке, описанной С. И. Юровым¹.

5. Поведение тел внутри жидкости. Через несколько уроков преподаватель переходит ко второй теме, вытекающей из закона Архимеда, именно к выяснению того, как ведет себя погруженное в жидкость тело под действием двух противоположно направленных сил: его веса P и выталкивающей силы F .

После записи темы на доске преподаватель может провести объяснение этого вопроса теоретически или экспериментально.

При теоретическом разборе преподаватель делает на доске чертежи тела внутри жидкости с приложенными к нему силами P и F (рис. 9) и разбирает с учащимися, что при

$F < P$ тело тонет,

$F = P$ » остается в месте погружения,

$F > P$ » выталкивается к поверхности, всплывает.

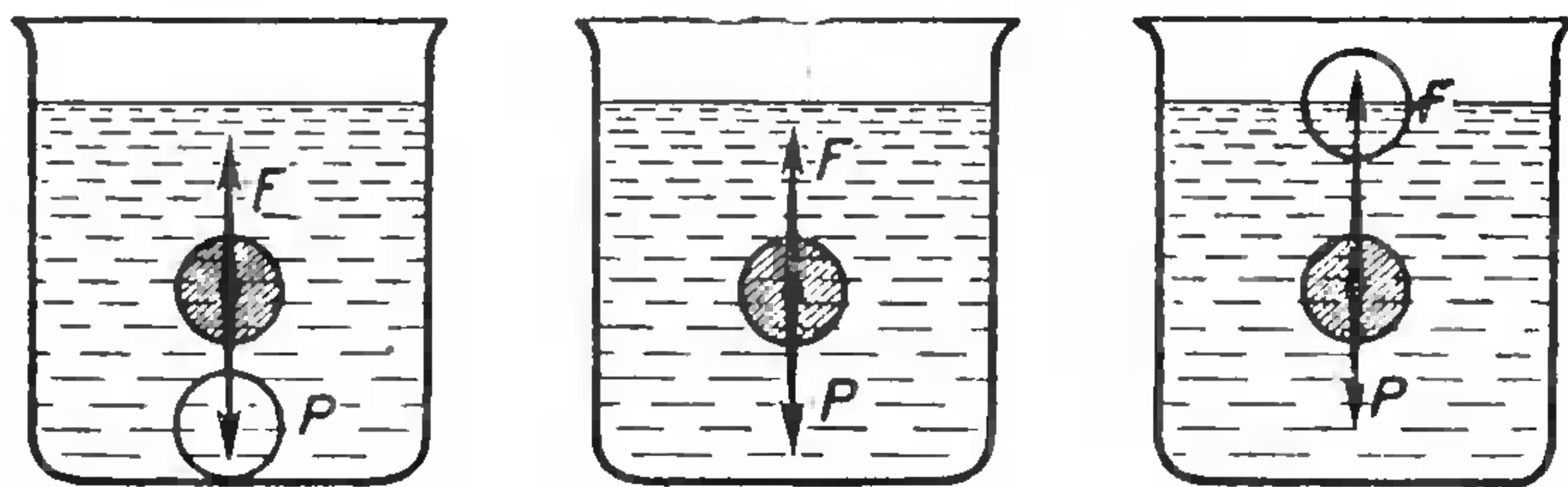


Рис. 9

В результате разбора преподаватель дает понятие о подъемной силе жидкости (а также и газа) равной $F - P$.

После теоретического разбора преподаватель переходит к демонстрации этих трех случаев.

Для демонстрации поведения тела внутри жидкости можно воспользоваться описанным выше динамометром (рис. 7). Тела тонущие, плавающие внутри жидкости и всплывающие по очереди подвешивают на крючок динамометра, определяют их вес в воздухе, затем погружают в поднесенный снизу на подставке сосуд с водой, находят каждый раз по динамометру выталкивающую силу, сравнивают обе силы и получают вышеприведенные выводы.

Таким же приемом можно вывести условие плавания тела на поверхности жидкости. Следует иметь набор тел, плавающих на поверхности жидкости и погружающихся в нее на разные глубины. Для каждого тела надо измерить вес его в воздухе и величину выталкивающей силы, т. е. вес жидкости в объеме погруженной части тела.

При показе значительного количества плавающих тел можно обойтись без лабораторной работы, которая является громоздкой,

¹ С. И. Ю р о в. Домашние экспериментальные работы учащихся по физике. Учпедгиз, М., 1954, стр. 83.

требующей значительного оборудования и не дающей учащимся новых практических навыков.

Следующие часы этой темы посвящаются опросу, техническим приложениям по выбору преподавателя, задачам на соображение и вычислительным задачам.

Разбор использования в технике закона Архимеда и его следствий сопровождается демонстрациями, показом таблиц, диапозитивов, фильмов. Учащихся надо научить пользоваться ареометрами.

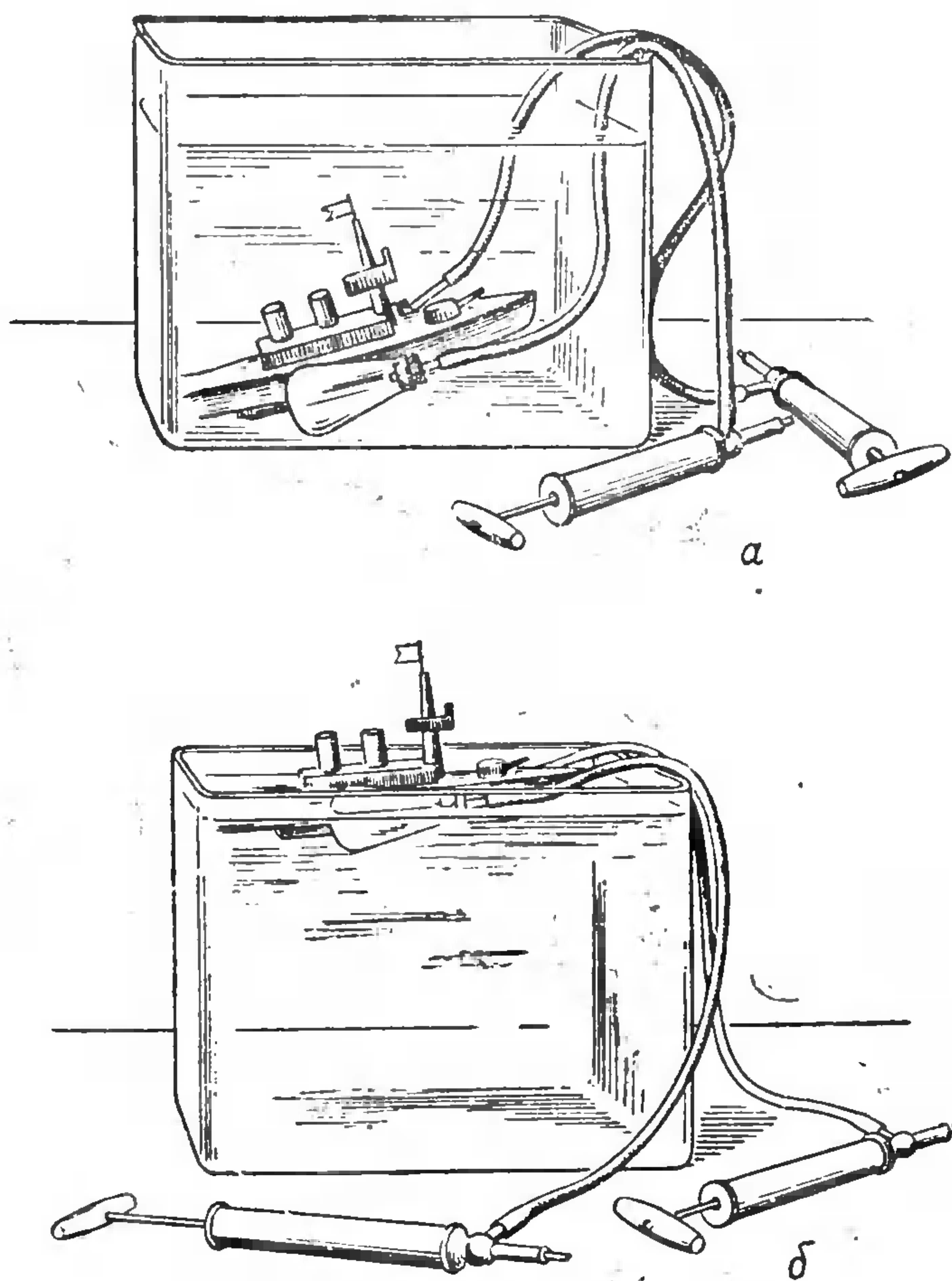


Рис. 10

Они должны получить представление о ватерлинии (с показом на таблице) и о водоизмещении судна.

Устройство подводной лодки показывается на таблице или в проекции на экран.

Подъем затонувшего судна может быть показан на упрощенном устройстве (рис. 10а. и 10б).

Также на таблицах и диапозитивах показываются образцы воздушных шаров, дирижаблей, зондов.

История воздухоплавания может дать обильный материал для демонстраций и докладов на внеклассных занятиях.

При разборе технических применений закона Архимеда следует особенно остановиться на деятельности русских кораблестроителей (адмирала С. А. Макарова, академика А. Н. Крылова), первых русских строителей подводных судов (Александровский — 1867 г., Джевецкий — 1877 г., братья Карышевы — 1881 г.), на полетах русских стратонавтов и на научном значении этих полетов для изучения стратосферы.

Материал для рассказа об этом можно найти в следующих книгах:

«Люди русской науки» (Макаров, Крылов). Огиз, 1948.

В. В. Д а н и л е в с к и й, проф., Русская техника. изд. 2. 1948, стр. 403—418.

Я. И. П е р е л ь м а н, Физическая хрестоматия, изд. 2. Л., Гос. изд. 1924—1925, вып. I. Статьи: «Закон Архимеда», «Водоизмещение корабля»; «Из техники судостроения», «Водолазное дело»; «Неуправляемые аэростаты».

Н. А. Р ы н и н, проф., Аэростат, изд. «Молодая гвардия», 1924 стр. 125.

Н. Б о л г а р о в, Подводная лодка, Детиздат, 1940, 127 стр.

Н. А. Р ы н и н, проф., В стратосферу, изд. 2, изд. «Молодая гвардия», Л., 1934.

Т. Б о б р и ц к и й, Завоевание глубин. Эпизоды из жизни Эпрона изд. «Молодая гвардия», Л., 1934.

9. Начальные сведения о механическом движении

1. С о д е р ж а н и е р а з д е л а. Третий крупный раздел в программе VI класса составляют «Начальные сведения о механическом движении». Этот раздел состоит из трех тем: 1) Равномерное движение тела. 2) Инерция тел. 3) Трение.

2. Р а в н о м е р н о е д в и ж е н и е. Эта тема не имеет непосредственной связи с предыдущими; поэтому после проверки усвоения материала предыдущего урока преподаватель может сразу перейти к новой теме. Учитель предлагает учащимся вспомнить, что на первом уроке среди различных явлений природы было отмечено на первом месте, как простейшее, м е х а н и ч е с к о е д в и ж е н и е. Ученики по его просьбе приводят несколько примеров движения тел с указанием признаков, позволяющих судить о том, что тело находится в состоянии механического движения.

В результате разбора примеров преподаватель формулирует два понятия: понятие о механическом движении и понятие об о т н о с и т е л ь н о с т и всякого движения.

Преподаватель сообщает, что громадное число движений рассматривается о т н о с и т е л ь н о З е м л и, которая в этих случаях принимается за неподвижное тело, хотя, как известно, она сама движется вокруг оси и в пространстве. Другой пример — в заводских станках движение их рабочих частей рассматривается относительно станины, принимаемой за неподвижное тело.

Далее проводится разделение движений по форме пути, проходимого телом, на прямолинейные и криволинейные. При этом используются жизненные наблюдения учащихся и показывается свободное падение тела, движение тела, брошенного под углом к горизонту, и вращательное движение тела.

К понятию о равномерном движении удобно будет подойти через сопоставление его с движением неравномерным. Учащимся ставятся вопросы, как происходит движение поездов, автомобилей, отходящих от станции и подходящих к станции. Среди различных ученических ответов, вероятно, будут и такие, что в первом случае в каждую следующую минуту (или секунду или в равный промежуток времени) проходится все больший и больший путь, на втором — все меньший и меньший путь. Ставится новый вопрос, не может ли быть где-нибудь между станциями на прямом

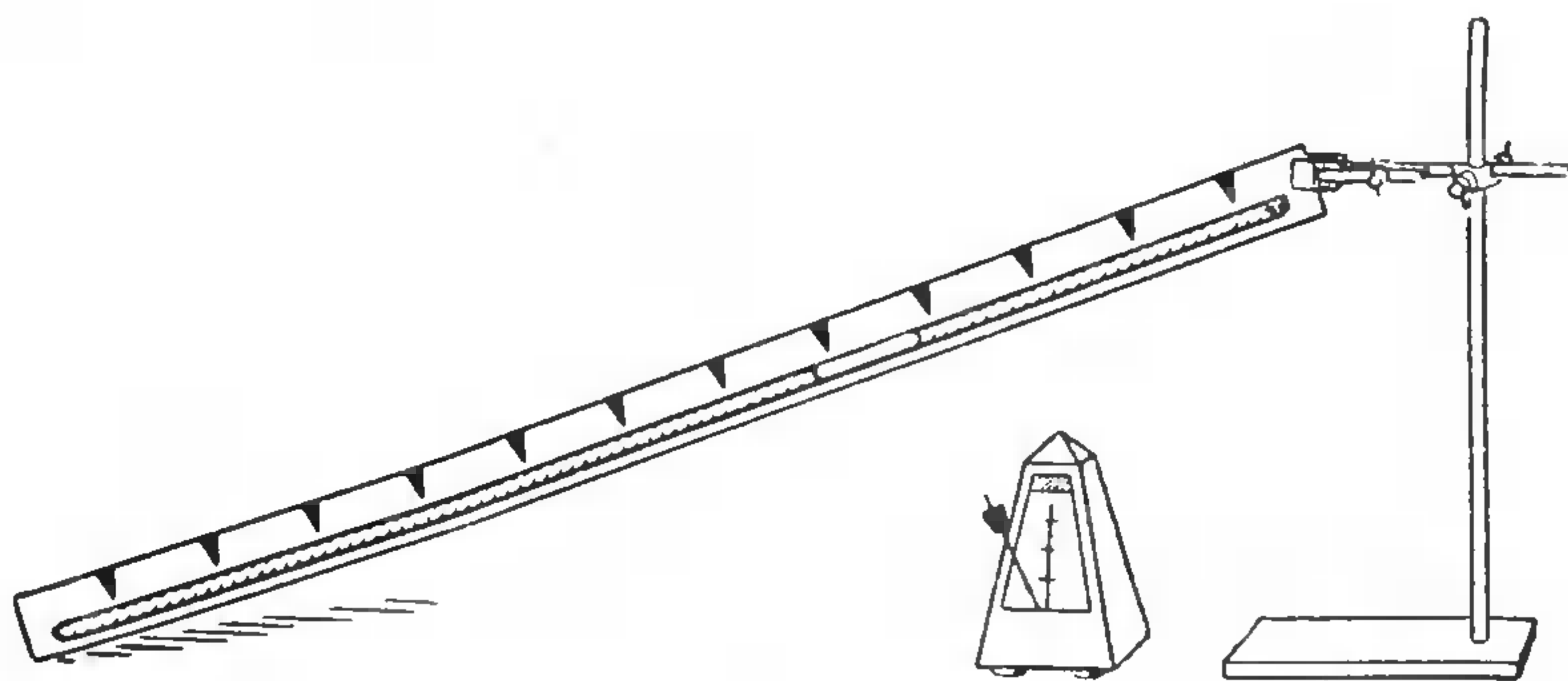


Рис. 11

горизонтальном пути еще и другого вида движения. Всегда возможен ответ учащихся, что может быть и такое движение, при котором в равные промежутки времени проходятся равные части пути. Так, путем противопоставления закладывается понятие о равномерном движении. Можно дать качественную сравнительную демонстрацию переменного и равномерного движений на машине Атвуда или на любом высоко закрепленном блоке по принципу машины Атвуда. Можно медленно пустить мотор с приводным ремнем к какому-либо далеко поставленному шкиву и следить за движением отдельных отмеченных точек ремня.

Затем надо перейти к уточнению понятия о равномерном движении, как таком, при котором в л ю б ы е равные промежутки времени проходятся р а в н ы е части пути.

Помимо демонстраций равномерного движения, описанных в учебнике, можно наглядно показать равномерное движение металлического шарика или воздушного пузырька в трубке, заполненной маслом или водой. На трубку наклеивается полоска бумаги с отчетливо выделенными на ней дециметрами или другими равными отрезками (рис. 11). Пускается метроном, отбивающий равные промежутки времени, не обязательно секунды, и путем пред-

варительных проб подбирается такой наклон трубки, чтобы прохождение пузырька через деления шкалы совпадало с ударами метронома. Затем уточняется определение равномерного движения и проверяется путем опроса учащихся его усвоение.

Желательно было бы закончить первый урок введением понятия о скорости равномерного движения. Если для этого не хватит времени на первом уроке, то с понятия о скорости надо начать 2-й урок.

Надо считаться с тем, что у учащихся уже есть некоторое понятие о скорости, но оно нуждается в уточнении с точки зрения физики.

Подход к понятию скорости может быть сделан из сравнения движения бегунов, конькобежцев, лыжников, велосипедистов и др. Учащимся ставится вопрос, чем отличается движение победителей в состязаниях от движения остальных участников, даже в том случае, если движение всех было равномерным.

Получив вероятный ответ учащихся, что отличие состоит в скорости движения, преподаватель приступает к выяснению этого нового понятия. Он особенно должен остановиться на том, что скорость есть не путь, а качество движения. Отрезок пути между двумя путевыми столбами всегда существует; о скорости же можно говорить только в том случае, если по этому отрезку пути совершает движение какое-либо тело. Скорость — понятие более сложное, чем путь, так как составить представление о скорости, зная только пройденный путь, нельзя: необходимо еще знать время движения.

Также нельзя составить представление о скорости, зная только время движения, не зная пройденного пути. Понятие о скорости может быть составлено только через сопоставление пройденного пути и времени его прохождения.

Так как скорость есть величина, отличная от пути и времени, то она может быть измерена только в единицах скорости. Чтобы узнать, сколько единиц имеет данная скорость, надо измерить в соответствующих единицах длину пройденного телом пути, продолжительность времени движения и первое число разделить на второе; тогда полученное число покажет число единиц в измеряемой скорости.

Так подводятся учащиеся к известному определению скорости. (В спорте скорость измеряется временем, в течение которого пройдено определенное расстояние). Для демонстрации равномерных движений с разными скоростями можно по-разному пускать мотор с длинным приводным ремнем или показывать движение шарика в трубке с жидкостью при различных наклонах ее.

Хорошо было бы показать учащимся движение со скоростью в $1 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$ и, например, в $5 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$, подобрав соответствующие грузы для машины Атвуда или на трибометре, или на другом приборе.

После разбора понятия о скорости преподаватель при участии учащихся дает другое определение **равномерного движе-**

ния, как движения с постоянной скоростью. Соответственно установившемуся порядку преподаватель вводит единицы скорости: $\frac{\text{см}}{\text{сек}}$, $\frac{\text{м}}{\text{сек}}$, $\frac{\text{км}}{\text{час}}$.

Затем разбирает таблицу (помещенную в учебнике, в справочнике или стенную) скоростей движения определенных тел и предлагает учащимся производить расчеты скорости или пути, или времени движения конкретных тел сначала арифметическим приемом. После достаточного числа примеров устанавливает так, как показано выше, формулу скорости $v = \frac{s}{t}$, выводит из нее формулы $s = vt$ и $t = \frac{s}{v}$ и снова показывает прием действий над наименованием величин. Упражнениям и повторениям посвящается и 3-й урок.

Запись тем на классной доске: на 1-м уроке — механическое движение и его основные виды; на 2-м уроке — скорость равномерного движения и зависимость между скоростью и длиной пути; на 3-м уроке — упражнения.

3. Инерция тел. Вторая подтема тесно связана с первой и должна ответить на вопрос, когда, по какой причине тела могут находиться в равномерном движении. Поставив перед учащимися этот вопрос, преподаватель не записывает его в виде названия темы на доске, но предлагает учащимся оставить в тетрадях место для записи темы «Инерция тел», когда они в процессе обсуждения вопроса будут подведены к этому понятию.

Сначала преподаватель выясняет, как тела (конкретно называемые учащимися) приходят в движение из состояния покоя относительно Земли.

Анализ всех рассмотренных примеров и опытов убеждает учащихся, что ни одно тело само по себе не изменяет своего состояния относительно покоя, а приводится в движение какими-либо другими телами (в разбираемых примерах и опытах — определенными).

Учащиеся могут сослаться на то, что живые существа приходят в движение как будто бы самостоятельно, без постороннего воздействия. Надо разъяснить им, что сухопутные существа передвигаются по Земле, отталкиваясь от ее поверхности благодаря трению. Пусть вспомнят, как трудно, а иногда даже невозможно передвигаться по очень скользкой поверхности. Птицы летают, отталкиваясь от воздуха, водяные животные плавают, отталкиваясь от воды.

Далее преподаватель ставит вопрос: если тело находится в движении, то по какой причине может измениться его скорость? Ставится опыт: с одной и той же высоты наклонной плоскости учитель скатывает шарик на горизонтально постланную полосу сукна, затем на стол, посыпанный толстым, затем тонким слоем песка, на стеклянную полосу и разбирает причины различного замедления дви-

жения; показывает другие примеры замедления, например приведенного толчком в движение велосипедного колеса, рассматривает случаи катания на коньках и наблюдения над движением машин после выключения двигателя. Подробный анализ примеров снова покажет учащимся, что изменение скорости движущегося тела происходит всегда благодаря действию других тел.

Преподаватель выясняет дальше, почему может происходить изменение направления движения. Преподаватель пускает с наклонной плоскости на стол железный шарик — он движется прямолинейно; ставит на пути прямолинейно движущегося шарика изогнутую жестяную полосу — шарик при соприкосновении с полоской приобретает криволинейное движение; пускает скатывающийся шарик около сильного подковообразного магнита — путь шарика искривляется. Прикрепляет к какому-либо шарiku нить, другой конец которой закреплен неподвижно на столе, и ударяет по нему (под углом к нитке); шар движется сначала прямолинейно вдоль направления удара, пока не натянет нить, затем начинает двигаться по окружности.

Привлекаются наблюдения учащихся над тем, как производят поворот бегуны, конькобежцы, велосипедисты, движущиеся с большой скоростью.

Из всех приведенных примеров учитель вместе с учениками делает вывод: тело изменяет свое состояние покоя или скорость и направление движения **т о л ь к о** под действием посторонних тел. Следовательно, тело само по себе сохраняет состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения. Это свойство является одним из основных свойств вещества и носит название инерции.

Преподаватель дает определение инерции, учащиеся повторяют его и вписывают заглавие темы.

В конце урока, а также на следующих двух уроках преподаватель показывает общеизвестные опыты по проявлению инерции и разбирает разнообразные случаи обнаружения и использования инерции в быту и в технике.

Особенно надо подчеркнуть, что инерция вовсе не обозначает стремления тела к покою. Инерция выражается в сохранении того состояния движения, т. е. той скорости, с которой тело движется в данный момент.

Надо так повести разбор, чтобы у учащихся не появилось мысли, что инерция обнаруживается только тогда, когда данное тело не находится под действием других тел. Этот частный случай позволяет отчетливо вскрыть свойство инерции, но инерция существует и проявляет себя и при наличии действия других тел.

У учащихся может возникнуть вопрос, как же может происходить равномерное движение тела под действием силы. На примерах следует пояснить, что равномерное движение может быть и при наличии действующих сил, но при условии, что на движущееся тело действуют одновременно две силы, равные и противоположно направленные.

Именно здесь следует окончательно сформулировать понятие о взаимно уравновешивающихся силах.

4. Т р е н и е. По отношению к третьей подтеме — трению, которой посвящаются следующие уроки, я ограничусь только отдельными замечаниями, не развертывая их в ход урока.

а) Из двух причин, порождающих трение, — шероховатости трущихся поверхностей и молекулярных взаимодействий — в VI классе рассматривается только первая.

В качестве наглядного, хотя и грубого, влияния шероховатости может быть показана затруднительность движений одной щетки по другой при обращении щетиной друг к другу.

б) Измерить силу трения при скольжении или качении одного тела по поверхности другого можно, уравновесив силу трения силой тяги. Признаком такого уравновешивания будет сохранение скользящим или катящимся телом равномерного прямолинейного движения. Динамометр, прикрепленный к телу, покажет силу тяги, равную силе трения, но противоположно направленную.

При проведении опыта надо следить за тем, чтобы шнур, соединяющий динамометр с телом, был направлен параллельно доске, по которой происходит скольжение или качение.

в) Первый опыт должен ответить на вопрос, зависит ли, и, если зависит, то как именно, сила трения от силы давления для двух определенно выбранных поверхностей. Три или четыре измерения, занесенные в таблицу, позволят дать ответ на поставленный вопрос и ввести понятие о коэффициенте трения.

г) Дальнейшие опыты должны ответить на следующие вопросы:

1) зависит ли сила трения от величины трущихся поверхностей при одной и той же силе давления;

2) одинакова ли сила трения для поверхностей разных материалов при прочих одинаковых условиях;

3) как изменяется сила трения от смазки поверхностей при одной и той же силе давления;

4) какова величина трения качения по сравнению с силой трения скольжения? В последнем случае следует передвигать одну и ту же площадку по другой сначала скольжением, а потом на катках — двух круглых стеклянных палочках.

д) Те же вопросы могут быть поставлены при выполнении обязательной лабораторной работы.

е) На всех уроках подтемы, а потом и на последующих уроках надо давать практические задачи на расчет сил трения с использованием коэффициента трения.

ж) На уроках следует привести примеры, где в технике требуется увеличение трения, а где необходимо его уменьшение.

з) При рассмотрении устройства и действия шарикоподшипников надо рассказать о грандиозном развитии в нашей стране производства шарикоподшипников и о их роли в народном хозяйстве.

и) Очень многие стороны значения трения в природе, быту и производстве можно раскрыть в докладах учащихся на кружковых занятиях, для подготовки которых можно рекомендовать следующие статьи и книги.

Я. И. П е р е л ь м а н, Физическая хрестоматия, Гос. изд., 1924—1925, вып. I, статьи: «Трение скольжения», «Телега и паровоз», «Движение поезда».

Я. И. П е р е л ь м а н, Занимательная физика, ГТТИ, изд. 15, 1949, статья «Крепость узлов».

Л. Л и с о в с к и й, А. С а л а м о н о в и ч. Сила трения, Госкультпросветиздат, М., 1948.

10. Работа и энергия

1. З н а ч е н и е т е м ы. Тема «Работа и энергия» является завершающей и обобщающей темой в разделе механики в VI классе. Она распадается на 4 подтемы: 1. Понятие о работе и ее измерение; 2. Понятие о мощности и ее измерение; 3. Понятие об энергии, ее видах и ее связи с работой; 4. Закон превращения и сохранения энергии в механических процессах.

Как показывают самые заголовки подтем, вся тема имеет большое политехническое значение, так как она раскрывает понятие о величинах, используемых в любом техническом процессе.

Также велико и ее мировоззренческое значение, так как она подводит к первоначальному знакомству с основным законом природы, лежащем в основе диалектико-материалистического понимания явлений природы.

2. Р а б о т а. Введение понятия о работе отличается особенной трудностью, так как по сравнению с ранее введенными величинами — удельным весом и давлением — это понятие не кажется столь ясным и необходимым. Между тем согласно методике преподавания следует всегда выявлять необходимость введения нового понятия, обосновывая эту необходимость задачей более полного понимания и описания явлений.

Приступая к изложению темы «Понятие о работе и ее измерение», преподаватель напоминает учащимся в беседе с ними, что п о д д е р ж а н и е любого действительного равномерного прямолинейного движения возможно только при наличии двух сил: силы сопротивления и силы тяги, равной по величине силе сопротивления, но противоположно направленной.

С давних времен всякое перемещение человеком предметов с затратой мускульных усилий называлось р а б о т о й.

Поднятие тяжестей или перемещение их по горизонтальному пути, сгибание или растяжение материала, строгание, распиливание, резание — все эти процессы связаны с мускульными усилиями вдоль некоторого пути.

Необходимо ли вводить для характеристики рассмотренных процессов новую величину или достаточно знать только движущую силу? Опыт показывает, что при равномерном перемещении тела на

разные расстояния, даже при неизменной движущей силе человека, реакция организма — усталость — оказывается различной. Следовательно, для характеристики работы недостаточно знать лишь величину действующей силы. Работа зависит не только от приложенной силы, но и от расстояния (пути), на котором сила прилагается.

При дальнейшем развитии цивилизации источниками движущей силы, кроме мускулов человека и животных, явились ветер, текущая вода, упругость пара и газа, магнетизм, электризация тел.

Понятие работы вошло в физику и технику, перестав быть чисто физиологическим понятием.

Преподаватель вызывает учащихся к демонстрационному столу, чтобы они произвели работу, передвигая равномерно какой-либо груз за динамометр по столу или поднимая груз на разные высоты.

Учащимся предлагается привести различные известные им примеры работы.

Целевой установкой разбора этих примеров должно быть закрепление в умах учащихся двух основных положений. Понятие о работе применяется только при наличии двух условий: 1) действующей силы и 2) перемещения тела под действием этой силы.

К телу, лежащему в покое на столе, приложена сила тяжести, но работы нет, так как эта сила не производит перемещения. При перемещении тела по горизонтальному пути вес тела не совершает работы, несмотря на перемещение тела, так как не он производит перемещение, а сила тяги.

Далее надо подчеркнуть, что, говоря о работе силы, следует постоянно иметь в виду работу одного тела над другим, так как сила есть мера механического действия одного тела на другое.

Наконец, надо показать и объяснить на примерах, в чем различие физического и физиологического понятий о работе¹.

3. Единицы работы. Этот вопрос ставится в виде первой подтемы на втором уроке, тема которого — измерение работы.

Преподаватель сообщает, что в технике и во многих случаях в физике за единицу работы принимается работа силы в 1 кг на пути в 1 м по направлению силы. Ее название *кгм*.

Далее надо дать почувствовать учащимся величину этой единицы, для чего одни учащиеся передвигают равномерно на 1 м груз с горизонтальной силой тяги в 1 кг, другие поднимают гирю весом в 1 кг на высоту в 1 м.

4. Измерение работы. Естественно поставить вопрос, как же измерять работу любой силы на любом расстоянии? Преподаватель напоминает, что для совершения работы необходимо наличие действующей силы и перемещения. Поэтому проще всего судить о величине работы по произведению силы на величину пере-

¹ В быту работой считается простое стояние на посту или поддержание груза без перемещения его, так как такие состояния связаны с усиленной деятельностью организма, но с физической точки зрения работы в этих случаях нет, так как нет перемещения.

мещения. На этом основании в физике принято такое определение работы: *работа есть величина, измеряемая произведением силы на путь перемещенного ею тела по направлению действия силы.*

Затем преподаватель рассматривает разнообразные примеры, поясняющие (но не доказывающие, так как определение не доказывается) пропорциональность работы и силы, работы и пути. После этого он дает учащимся ряд примеров на арифметический расчет работы (или силы, или пути) и заканчивает тему на этом уроке или на следующем формулой: $A = F \cdot s$.

При технических расчетах сила измеряется в кГ , путь в м . Попутно вводится единица работы килоджоуль, равная 102 кГм , и тысячная доля килоджоуля — джоуль, равная $0,1 \text{ кГм}$ (с точностью до тысячных долей).

При разборе этого вопроса следует неоднократно производить в классе практическое измерение работы при подъеме разных грузов на разные высоты, а также работы при равномерном и прямолинейном перемещении на разные расстояния различных тел по столу динамометром. При этих измерениях важно подчеркнуть, что во втором случае совершает работу не вес тела, а сила тяги, которая меньше веса. Можно предложить учащимся, дав какой-либо груз, совершить работу в 1 джоуль, предоставив им сообразить о способе выполнения этой работы.

5. М о щ н о с т ь. В социалистическом строительстве широко распространена механизация работ. Прежде тяговой силой при пахоте была сила лошади, теперь — сила трактора; прежде ямы, канавы, выемки копали землекопы, теперь — экскаваторы; прежде при постройке здания кирпичи поднимали грузчики, теперь — подъемные краны. В чем же заключается различие? Ведь, чтобы преодолеть сопротивление почвы на площади в гектар или чтобы совершить работу по подъему кирпичей, необходимых для возведения этажа, или для выброса земли из ямы определенного объема, требуется совершение определенной работы независимо от того, кем или чем эта работа выполнена.

Для учащихся из их жизненных наблюдений ясно, что различие в этих случаях обнаруживается в скорости выполнения работы. Поэтому для сравнения различных двигателей вводится еще новая механическая величина, измеряемая работой за 1 секунду и называемая **м о щ н о с т ь ю**.

Преподаватель демонстрирует различие мощностей при совершении различных работ, предлагая учащимся поднимать грузы с пола и отмечая время подъема (например, по метроному). При этом производятся расчеты мощности.

Преподаватель приводит единицы мощности: лошадиная сила¹, ватт, киловатт; указывает мощности паровозов, тепловозов, автомобилей, двигателей морских судов и т. п.; предлагает учащимся

¹ Слова «лошадиная сила» не отражают смысла, вкладываемого в понятие мощности. Термин этот сложился исторически.

примеры на арифметические расчеты мощности (или работы, или времени), устанавливает формулу мощности $N = \frac{A}{t}$. На этом или последующем уроке учитель переходит к решению комбинированных задач на использование формул работы и мощности.

Так как учащиеся интересуются величинами мощностей различных двигателей, то им надо привести некоторые новейшие данные о мощностях, заимствуя их из газет и журналов.

6. Энергия тела. Постановка вопроса о работе тела, естественно, приводит к вопросу об условиях, при которых тело совершает работу. Показать эти условия на конкретных примерах из бытовой и промышленной техники не составляет трудности.

В начале урока преподаватель напоминает, что выражение «работа силы» есть только краткое выражение вместо — «работа одного тела над другим».

Далее преподаватель предлагает учащимся вспомнить примеры совершения работы различными телами. На приведенных примерах выясняется, что совершать работу могут тела или вследствие своего движения или вследствие своего положения относительно земли (или частиц тела друг относительно друга).

Совершение работы одного тела над другим физика приписывает особому качеству тела, которое получило название «энергии». Энергия тела обнаруживается при совершении им работы над другим телом.

Величина совершенной телом работы равна изменению его энергии. Энергия определяется как величина той работы, которую может совершить тело над другими телами (при изменении его скорости или положения относительно других тел). Поэтому энергия измеряется в тех же единицах, в каких измеряется работа.

Разбирая примеры совершения работы движущимся телом над другими телами, преподаватель вводит для обозначения энергии движения название «кинетическая энергия» (кинео — по-гречески двигаю).

При разборе случаев совершения работы телом, поднятым над землей или деформированным, вводится понятие «потенциальной энергии» (потенциа — по-латыни сила, влияние).

11. Закон превращения и сохранения энергии в механических процессах

После того как оформлено понятие об энергии тела, выяснены два рода условий, при которых тело обладает энергией, ставится вопрос о взаимоотношении этих видов энергии.

Разбор известных природных, технических, бытовых явлений, демонстрация опытов с подпрыгивающим и падающим мячом, с колеблющейся вертикальной пружиной, с обыкновенным маятником и маятником Максвелла позволяют дать учащимся понятие о взаимных переходах одной формы энергии в другую.

Равенство исчезающего количества одной формы энергии и возникающего одновременно количества другой формы энергии не может быть доказано на предыдущих опытах количественно, но понятие об этом равенстве может быть обосновано качественными опытами и затем сформулировано самим преподавателем.

В этой теме раздел механики в VI классе достигает своего высшего развития: учащиеся узнают, что можно мерить работой изменение энергии, и знакомятся с наиболее общим законом природы — законом превращения и сохранения энергии.

В дальнейшем преподаватель так должен вести преподавание, чтобы учащиеся поняли, что этим законом можно пользоваться как орудием исследования.

В заключение развития темы преподаватель знакомит учащихся с попытками изобрести вечный двигатель, демонстрируя на экране или на таблице какой-либо из видов таких двигателей, отличный от помещенного в учебнике, и разъясняя неудачи всех попыток. Невозможность удачного разрешения этой проблемы служит опытным доказательством справедливости закона сохранения энергии.

Преподаватель не должен упустить возможности обобщений с материалистических позиций. Опираясь на всеобщность закона превращения и сохранения энергии, он должен подчеркнуть постоянную связь явлений природы, отсутствие проявлений какого-либо вмешательства в ход явлений природы извне, следовательно, отсутствие каких-либо признаков существования бога. Закон сохранения энергии непременно должен быть использован как антирелигиозное орудие и основа материалистического миропонимания.

12. Простые механизмы

1. П р е д в а р и т е л ь н ы е з а м е ч а н и я. Закон сохранения и превращения энергии, с которым учащиеся познакомились на предыдущих уроках, явился обобщением огромного количества опытов и жизненных наблюдений. Человек всегда стремился найти такие приемы работы, которые облегчили бы его труд. На первых ступенях своего развития человек использовал для этого простейшие приспособления: жердь для перемещения тяжестей, палку с острым суком для рыхления почвы, острую кость для прокалывания и сшивания шкур. В дальнейшем орудия труда человека усложнялись и совершенствовались. Учащимся можно сообщить следующее определение.

Всякое тело, служащее при совершении работы для п р е о б р а з о в а н и я с и л ы и повторяющее движение человеческой руки, называется о р у д и е м, или инструментом.

Здесь полезно сказать учащимся, что сознательное использование орудий труда и выдвинуло человека на высшую ступень среди животных.

Далее, надо отметить, что те приспособления, которые позволяют орудию совершать вполне определенные и точные движения,

называются **механизмами**. Например, та совокупность тел, благодаря которой швейная игла в машине совершает однообразные движения в отличие от неправильных и непохожих одно на другое движений в руке швеи, является механизмом.

Совокупность механизмов, предназначенная для совершения определенной работы, называется **машиной** (швейная машина, штамповальный станок, печатный станок, слесарный и токарный станки в школьной мастерской, паровая машина; на последней демонстрируются отдельные механизмы: поршень, шатун, кривошип и т. п.). Так преподаватель устанавливает понятия орудия, механизма и машины и тут же сообщает, что некоторым телам, издавна служащим для совершения работы в руках человека: рычагу, вороту, блокам, клину, винту, присвоено название простых машин, хотя это и противоречит данному выше определению машины. На самом деле, эти тела то являются орудием, когда они берутся отдельно, то входят в состав механизмов.

Разобрав действие механизмов, входящих в состав различных машин, показанных в классе и в мастерской, можно подвести итог этим действиям.

Механизмы могут: а) **передавать** движение от двигателя к другой составной части машины; б) **преобразовывать** одну форму движения в другую (например, вращательное движение в колебательное или обратно); в) **изменять** скорость движения; г) **изменять** направление действующей силы; д) **изменять** величину силы.

При дальнейшем разборе надо обращать внимание на сходство действия отдельных механизмов, входящих в состав различных по внешнему виду машин.

Изучение действия механизмов можно провести на основе только что изученного всеобщего закона превращения и сохранения энергии.

Какие бы ни взять орудия, механизмы и машины, от них нельзя получить работы больше, чем работа, которую совершает сила, приводящая их в движение.

Иначе оказалось бы, что машина сама по себе без каких-либо изменений ее свойств и ее состояния способна сделать бóльшую работу, чем совершает двигатель.

Ни одна машина не дает выигрыша в работе. Назначение машины — преобразовывать приложенную к машине внешнюю силу и сообщенную скорость. Но работа движущей машину силы равна, при отсутствии трения в ее частях, работе, выполненной самой машиной.

Это равенство работ получило с давних пор название «золотого правила механики». Это правило — следствие закона сохранения энергии.

Благодаря трению в машине полезная работа машины всегда меньше работы, затраченной на приведение ее в движение.

Допуская идеальный случай, что нет потери работы на трение, преподаватель предлагает рассмотреть, какое преобразование силы происходит в так называемых простых механизмах.

Программа ограничивает разбор простых механизмов только тремя видами их: блоком, воротом, рычагом.

Данный в программе порядок — блок, ворот, рычаг — соответствует методическому требованию перехода от более простого к более сложному.

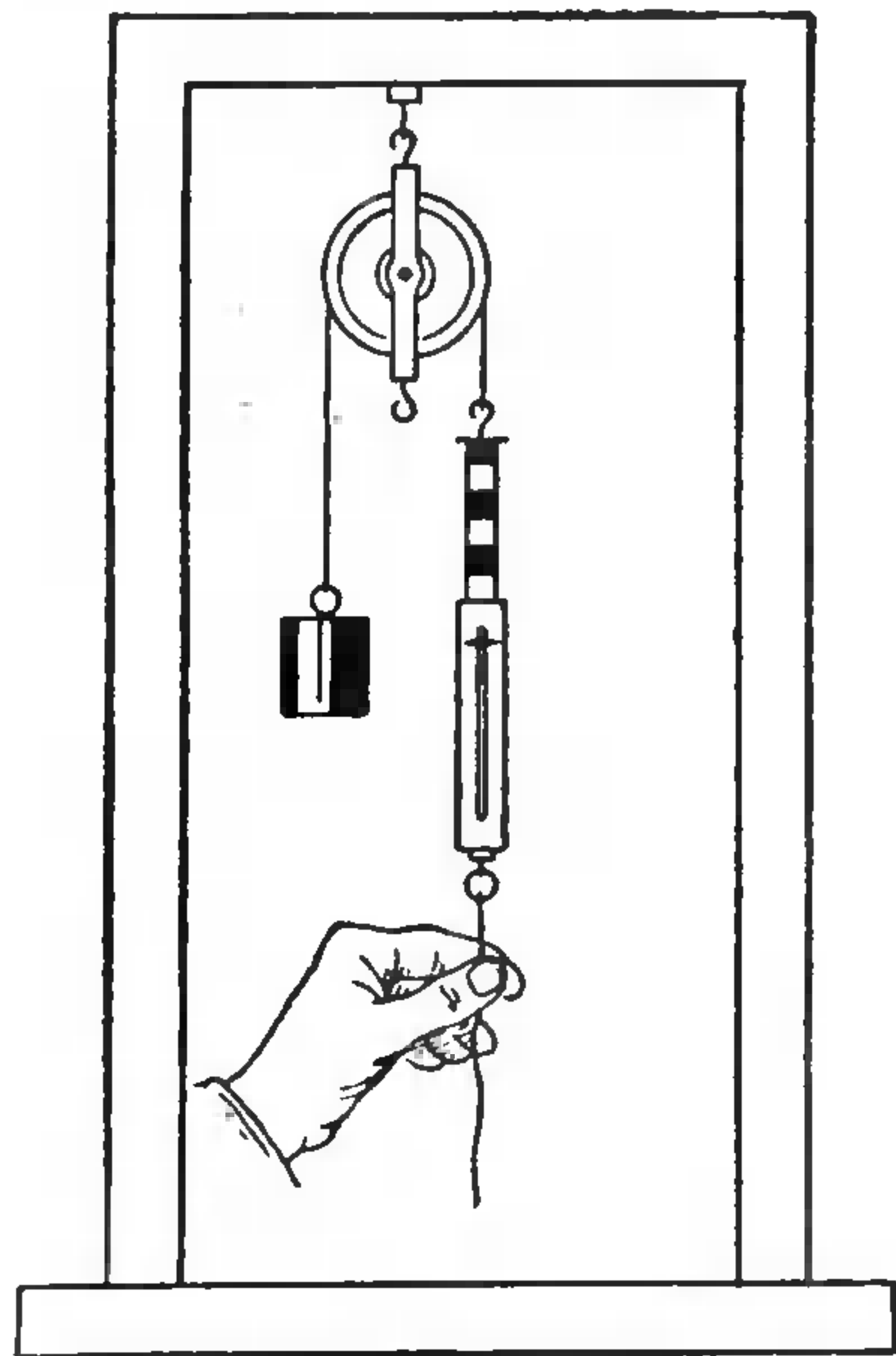


Рис. 12а

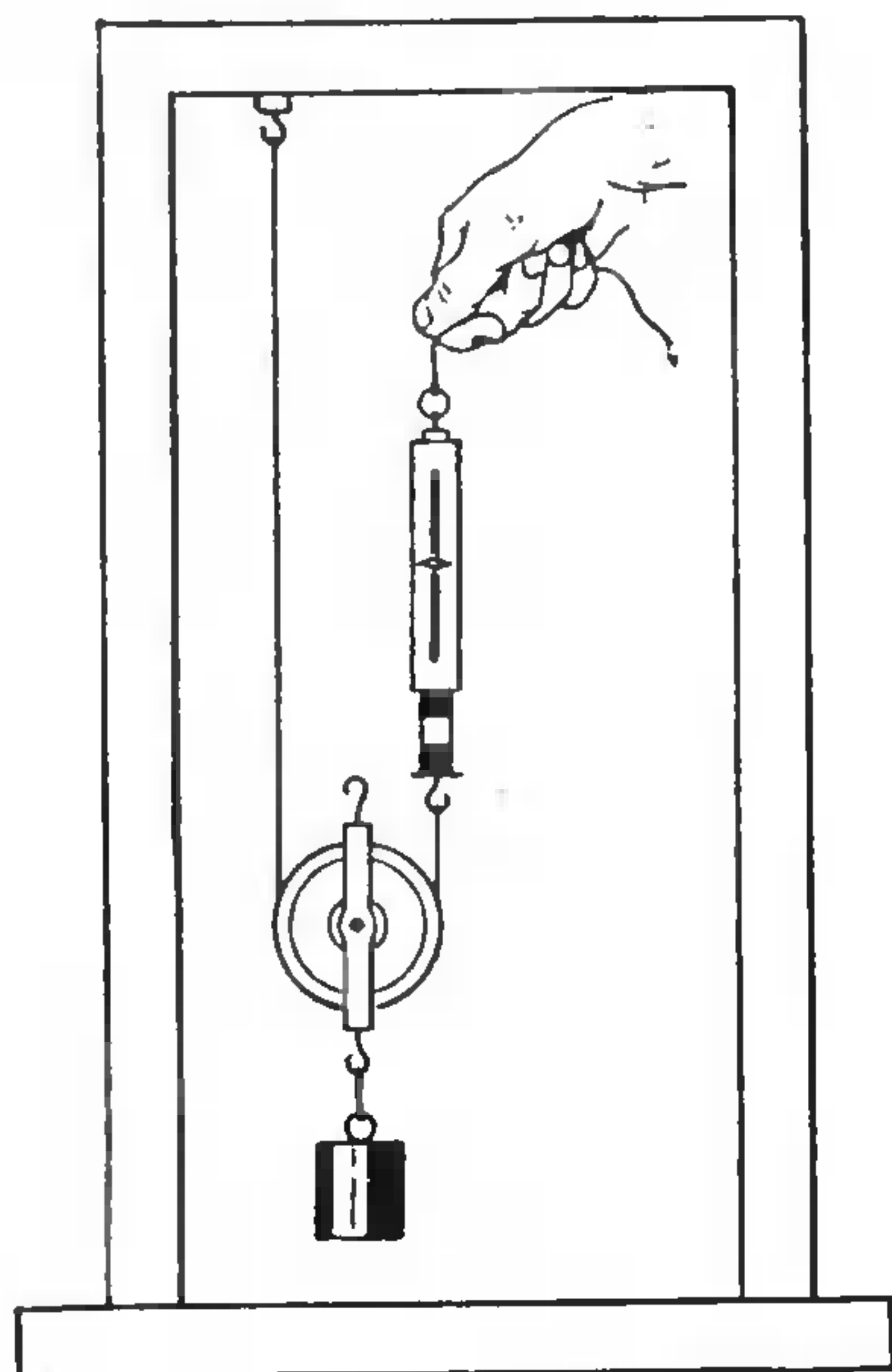


Рис. 12б

Задача изучения механизмов состоит в установлении условия равновесия сил на каждом из них, необходимого для равномерного движения их без трения или для сохранения ими состояния покоя.

При выводе условия равновесия сил на механизмах необходимо делать этот вывод при равномерном движении механизма, а не при его покое. Иначе у учащихся возникает недоразумение, зачем надо изучать соотношение движущей силы и сил сопротивления при покое механизмов, когда в технике они главным образом используются в состоянии движения.

2. Б л о к и. а) Неподвижный блок (рис. 12 а). Показав блок и дав его определение, прикрепляют к одному концу шнура определенный груз, величина которого записывается на доске: $F_1 = \dots$. Затем против каждого из концов шнура помещается по вертикальному масштабу и свободный конец шнура рукой равномерно перемещается на некоторое расстояние h_1 (10 см; 20 см; 25 см и т. д.); измеряются перемещения другого конца h , которые тоже оказываются равными 10 см; 20 см; 25 см и т. д. Работа по поднятию груза

(сопротивления) в каждом случае равна $A_1 = F_1 h_1$. Такую же работу (при отсутствии трения) должна выполнить пока неизвестная сила F на пути h , т. е. работу $A = Fh$. Из равенства работ (сначала на числовых примерах) можно вычислить искомую силу F путем деления работы A на путь h , равный h_1 . Откуда получается: $F = F_1$.

б) П о д в и ж н о й б л о к (рис. 12 б). Демонстрации и измерения для подвижного блока дают $h_1 = 10$ см, $h = 20$ см или $h_1 = 20$ см и $h = 40$ см и т. д., в общем случае $h_1 = \frac{1}{2} h$.

Вычисление работ: $A = 0,1F_1$; $A = 0,2F$ или $A_1 = 0,2F_1$; $A = 0,4F$ или в общем случае $A = Fh$; $A_1 = F_1 h_1$. Общий закон работ гласит: $0,1F_1 = 0,2F$ или $Fh = F_1 h_1$; так как $h_1 = \frac{1}{2} h$, то $F = \frac{1}{2} F_1$.

3. Переходя к работе в о р о т а, преподаватель может не производить на опыте измерения перемещений точек приложения движущей силы и сопротивления.

Достаточно продемонстрировать, что при одном обороте точки приложения сил перемещаются на длины C соответствующих окружностей¹. Поэтому должны быть равны работы $CF = C_1 F_1$.

4. Р ы ч а г. При измерении сил, приложенных к прямолинейному рычагу, надо по масштабам на штативах отмечать первоначальное положение рычага и затем измерять пути перемещения по вертикали точек приложения сил.

По закону равенства работ должно быть $Fh = F_1 h_1$ (1).

Но измерение расстояний точек приложения сил от точки опоры или плеч рычага покажет, что $h : h_1 = l : l_1$, или $h_1 l = h l_1$ (2).

Если перемножить оба равенства и сократить полученное равенство на общий множитель $h h_1$, то получится новое соотношение $Fl = F_1 l_1$.

Это последнее равенство позволяет сравнить силы не с перемещениями, а с длинами плеч рычага, что представляет большее удобство, так как размеры плеч могут быть легче измерены.

Из полученных чисел учащиеся выводят заключение, что для равновесия сил на рычаге они должны быть обратно пропорциональны плечам.

При разборе рычага надо добиться, чтобы учащиеся твердо усвоили понятие о плече рычага, именно: плечом рычага называется расстояние от центра оси до каждой из приложенных к рычагу сил по направлению, п е р п е н д и к у л я р н о м у к направлению силы.

После рассмотрения трех простых машин преподаватель еще раз вместе с учащимися разбирает назначение простых машин — изменение величины или направления силы, основываясь на так называемом золотом правиле механики (или на законе равенства работ).

¹ Учащиеся научились измерять длину окружности через ее радиус еще в V классе.

5. Коэффициент полезного действия. Возвращаясь к опытам с блоками, воротом и рычагом, преподаватель предлагает проверить полученные выше выводы путем измерения сил.

При этом оказывается, что для приведения в равномерное движение простых машин требуется всегда бóльшая сила, чем вычисляемая по предыдущим соотношениям.

Подчеркивается еще раз то, что должно быть отмечено ранее для каждой отдельной машины, именно: выведенные соотношения между силами имеют место только в случае равномерного движения без трения. Выделяя из всей затраченной работы полезную работу, преподаватель вводит понятие о коэффициенте полезного действия.

Нет необходимости различать два вида рычага.

Все задачи на определение того, рычаг какого рода представляет тот или другой прибор, при наличии общего условия равновесия теряют свой смысл. Но, конечно, сохраняет смысл требование, чтобы учащиеся различали положение оси, точки приложения и направление сил во всех действительных расчетах.

Понятие о коэффициенте полезного действия можно ввести сразу же после разбора первого механизма — блока.

По рассмотренной теме было бы полезно поставить фронтальную лабораторную работу.

6. Технические применения перечисленных простых механизмов в их отдельном виде и в сложных соединениях весьма многочисленны и разнообразны. Нет необходимости здесь их перечислять. Разбор технических применений получит политехническое значение, если учащиеся научатся находить в этом многообразии те немногие принципы, которые лежат в основе использования всех механизмов.

Для чтения ученикам можно рекомендовать:

Я. И. Перельман, Занимательная физика. кн. 1, «Вечные двигатели», кн. 2, «Мог ли Архимед поднять Землю?»

Глава II.

ТЕПЛОТА

13. Замечания по программе отдела «Теплота»

Достоинством программы является то обстоятельство, что она покончила с трактовкой теплоты как особого вида энергии. Хотя программа и не вводит явно понятия о внутренней энергии, но она перестановкой тем и включением вопроса о природе теплоты непосредственно за темой «Работа и теплота» определенно указывает на то, что работа и теплота рассматриваются как эквивалентные формы изменения энергии тел, и тем самым подготавливает к введению понятия о внутренней энергии.

Уроки по новому разделу физики следует начать некоторым общим введением, о котором нет указания в последней программе. (Можно поставить введение и после урока о молекулярном строении вещества.)

14. Введение к отделу «Теплота»

Во введении к разделу надо отметить, что отдельные участки человеческой кожи и слизистые оболочки испытывают особые ощущения, которые получили название «тепловых».

По большей или меньшей силе этих ощущений можно заключить, что одно тело теплее или холоднее другого. Многократное получение тепловых ощущений от одного и того же тела позволяет также сделать заключение, что тепловое состояние тела может меняться. Из подобных рассуждений делаются выводы:

1) Существуют явления, которые проявляются в особом воздействии тел на нашу кожу и слизистые оболочки. Эти явления называются тепловыми и непосредственно воспринимаются человеком через тепловые ощущения.

2) Тепловые ощущения позволяют судить о тепловом состоянии тел.

3) Тепловое состояние тела характеризуется особой величиной, называемой его температурой.

4) Можно с одинаковым правом употреблять выражения: тело нагревается, или его температура повышается (или в противоположном порядке).

5) Тепловые ощущения человеческого тела позволяют делать только очень приближенные суждения о тепловом состоянии тела (о температуре его). Эти суждения сильно зависят от предшествующих тепловых ощущений. Предлагается учащимся проделать дома известный опыт: опустить одну руку в очень теплую воду, другую — в холодную, а затем обе погрузить в воду комнатной температуры и сравнить ощущения в той и другой руке¹.

После установления понятия о температуре надо остановиться на источниках теплоты, т. е. на тех средствах, при помощи которых тела нагреваются, или, короче, при помощи которых температура тела повышается.

а) На первое место надо поставить работу при преодолении трения, при ударе и других подобных механических воздействиях. Так как работа совершается при изменении энергии тела, то в этом первом случае источником теплоты является изменение полной энергии тела (кинетической и потенциальной).

¹ При навыке определение температуры тела через осязание может быть сделано с погрешностью в $0,5^\circ$; при помощи приборов температура может быть определена с точностью до $0,00001^\circ$.

Этот способ нагревания можно показать на многочисленных простых, хорошо известных демонстрациях и подтвердить еще более многочисленными бытовыми наблюдениями.

Возможно уже в этом месте или в конце урока сделать экскурс в область первобытной культуры и рассказать о первобытном способе добывания огня трением с показом картин.

б) Вторым источником теплоты можно поставить **г о р е н и е**. Горение является результатом химического взаимодействия веществ, при котором происходит превращение энергии особого рода, называемой химической энергией. При горении общее количество энергии не изменяется. Энергия двух тел — горючего и кислорода воздуха — больше, чем энергия тел, образовавшихся после горения. Изменение химической энергии участвующих в процессе горения тел проявляется в тепловом нагревании тел, окружающих горящее тело.

в) Источником теплоты является **С о л н ц е** и любые раскаленные тела.

г) Наконец, надо показать, что теплота может быть получена от **э л е к т р и ч е с к о г о т о к а** (нагревание воды электрическим кипятильником или на электрической плитке).

Закончить введение надо рассказом о роли использования теплоты в истории культуры и в современной жизни и подчеркнуть большое научное и политехническое значение предстоящего изучения раздела о теплоте.

15. Основы молекулярно-кинетической теории строения вещества

Следующий урок после введения преподаватель начинает с указания, что понимание тепловых явлений может быть облегчено, если предварительно познакомиться с общим строением тел, и объявляет темой урока «Молекулярное строение вещества».

Путем беседы преподаватель напоминает учащимся, что изученные ими в VI классе деформации расширения и сжатия тел давали основания считать, что объем тела не сплошь занят веществом. Можно предположить, что вещество состоит из отдельных частиц, между которыми существуют промежутки.

Известные им из бытовых наблюдений и из занятий в начальной школе тепловое расширение и сжатие и в особенности испарение подтверждают сделанные предположения.

Какие же наблюдения и опыты могут дать понятие о размерах частиц, составляющих тела?

Преподаватель наливает на стекло несколько капель эфира; через некоторое время запах его ощущается в значительной части класса.

Затем он бросает в воду, наполняющую многолитровую стеклянную банку, несколько кристаллов марганцовокислого калия,

и на фоне экрана видна окраска воды. Он напоминает, что стойкий запах в комнатах может создать небольшое количество нафталина или других пахучих веществ ¹.

Эти опыты и наблюдения указывают, во-первых, на делимость веществ до частиц, имеющих чрезвычайно малые размеры;

во-вторых, они подтверждают существование промежутков между частицами воздуха или воды; иначе невозможно было бы распространение посторонних частиц пахучего или красящего вещества по всему объему воздуха или воды;

в-третьих, они показывают, что мельчайшие частицы вещества находятся в д в и ж е н и и, так как без их движения невозможно было бы их распространение по всему объему.

После такого экспериментального обоснования строения тел из мельчайших частиц и их чрезвычайно высокой степени делимости преподаватель сообщает учащимся, что многие физические явления, изучаемые в других отделах, а также химические явления прочно обосновывают заключение, что деление вещества физическими средствами происходит н е б е с п р е д е л ь н о; наименьшее количество всякого вещества, сохраняющее его химические свойства, называется его м о л е к у л о й. Таким образом, все тела состоят из молекул. Преподаватель может привести некоторые данные о размере и числе молекул в единице объема не в числовом, а в образном изложении.

Молекулы разделены промежутками. В каком же относительном положении находятся молекулы в теле? Распространение запаха свидетельствует о движении молекул пара. Испарение жидкостей и твердых тел может быть объяснено только тем, что отдельные молекулы тела обладают такими большими скоростями, что вылетают за его пределы.

Таким образом, испарение, получающее простое объяснение на основе принятия движения молекул, в то же время служит доказательством этого движения. Дальнейшим подтверждением движения молекул в телах будет показ преподавателем явления диффузии и рассказ о нем, в особенности, если будет тщательно подчеркнуто, что диффузия состоит в движении молекул не под действием внешней силы, а даже против внешней силы, например против силы тяжести.

Отметив, что скорость диффузии, следовательно, скорость движения молекул, увеличивается с повышением температуры, пре-

¹ В комнате в 100 м^3 запах спирта чувствуется от 180 мг вещества (концентрация $24\,000 \cdot 10^9 \frac{\text{мол}}{\text{см}^3}$);

запах карболки чувствуется от 4 мг (фенол $260 \cdot 10^9 \frac{\text{мол}}{\text{см}^3}$);

» лимона » » $0,001 \text{ мг}$ (цитраль $30 \cdot 10^6 \frac{\text{мол}}{\text{см}^3}$);

» ванилина » » $0,005 \text{ мг}$ (ванилин $20 \cdot 10^6 \frac{\text{мол}}{\text{см}^3}$).

подаватель сообщает, что эти наблюдения указывают на связь температуры тела со скоростью движения его молекул.

Так как молекулы движутся, то они обладают кинетической энергией. Эта кинетическая энергия составляет одну из частей внутренней энергии тела.

Кроме того, учащиеся легко могут представить себе, что между молекулами твердых и жидких тел существуют силы сцепления, иначе жидкости и твердые тела не могли бы занимать определенного объема (в газах действие молекулярных сил сцепления сказывается значительно меньше).

Каждая пара взаимодействующих молекул обладает потенциальной энергией, подобно тому как такой энергией обладает всякое тело, взаимодействующее с Землей и приподнятое над Землей.

Потенциальная энергия молекул также составляет часть внутренней энергии тела.

Другие составные части внутренней энергии могут быть выяснены при изучении других разделов курса.

Для воспитания у учащихся гордости за русскую науку надо рассказать, что одним из первых ученых, стремившихся установить в науке подлинно материалистическое мировоззрение, был М. В. Ломоносов. Ломоносов был убежденным сторонником молекулярно-кинетической теории. Все тепловые явления он успешно объяснял особенностями движения молекул, из которых состоят все тела. Ломоносов был решительным противником антинаучной теории теплорода, господствовавшей на протяжении всего XVIII в.

Необходимо рекомендовать учащимся познакомиться с биографией М. В. Ломоносова по одной из книг, указанных в конце этой главы.

Продолжая разбор вопроса о строении тел, преподаватель кратко говорит учащимся о строении молекул вещества из атомов, так как это известно им из уроков химии.

16. Тепловое расширение тел

Надо напомнить учащимся о невозможности основать на непосредственных тепловых ощущениях более или менее точные суждения о температуре тела.

Благодаря громадному значению, которое имеют тепловые явления в природных процессах, в жизни всех организмов и в технике (как выяснено во введении) крайне важно уметь измерять температуру с высокой степенью точности.

Поэтому измерение температуры надо обосновать не на субъективном ощущении (объяснить термин), а на объективных данных (объяснить термин) влияния изменения температуры на какие-либо свойства тел.

К одному из наиболее постоянных и наглядных явлений, сопровождающих нагревание, относится тепловое расширение тел. Явление теплового расширения тел имеет очень широкое распро-

странение в природе и постоянно учитывается в технике. Поэтому оно и изучается первым в разделе «Теплота».

На первом уроке надо поставить перед собой задачи: 1) показать расширение твердых тел, жидкостей и газов при нагревании и сжатие их при охлаждении; 2) показать, что различные твердые и жидкие тела расширяются при нагревании и сжимаются при охлаждении по-разному¹; 3) отметить, что расширение жидкостей больше, чем расширение твердых тел в том же объеме, а расширение газов значительно больше, чем жидкостей.

Преподаватель должен приготовить для опытов следующие приборы² и показать с ними демонстрации.

1) Какой-либо прибор для демонстрации линейного расширения, в котором стержни из разных металлов, расширяясь, перемещали бы малый конец рычага с большим отношением плеч.

2) Две пластинки разных металлов, склепанные между собой. По их изгибу при нагревании и охлаждении можно заключить о неодинаковости расширения разных металлов при одинаковом нагреве.

3) Металлический круг (пятикопеечная монета) и деревянная подставка с вбитыми на расстоянии диаметра монеты гвоздями. Чтобы показать плоскостное расширение, надо нагреть круг и показать, что при любом повороте в плоскости подставки он в нагретом состоянии не проходит между гвоздями.

4) Шар, легко проскальзывающий через кольцо до нагревания и застревающий в нем в нагретом состоянии. После остывания шар вновь легко проходит через кольцо. Чтобы показать, что расширение при нагревании произошло по разным направлениям (объемное расширение), надо укладывать шар в кольцо по разным диаметрально плоскостям его.

5) Две колбы с трубками, проходящими через их пробки, заполненные, например, водой и керосином, для демонстрации расширения жидкостей (и притом различного для разных жидкостей).

Необходимо отметить и показать учащимся первоначальное понижение уровня жидкости в трубке при помещении колбы в горячую воду. Спросить учащихся, чем можно объяснить такое понижение, и объяснить, почему оно не наблюдается в следующем опыте с газом.

6) Шар или колбу, заканчивающуюся трубкой, содержащей небольшой столбик жидкости, запирающий воздух в колбе. Нагревая сосуд даже руками, можно показать расширение воздуха.

Преподаватель должен затем выяснить вопрос, как объяснить тепловое расширение тел с точки зрения молекулярно-кинетической теории.

¹ Только при охлаждении или нагревании газа в замкнутом сосуде его объем не изменяется.

² Для этих опытов преподаватель должен позаботиться о хорошей видимости опытов, пользуясь всеми теми средствами, которые предложены в 1 части методики физики.

Следует разобрать значение теплового расширения для технических сооружений (предложив более широко познакомиться с этим по популярной литературе).

Таким образом, на этом уроке устанавливается один из основных внешних признаков нагревания или охлаждения — тепловое расширение и сжатие тел.

Затем подробно разбирается устройство термометра и измерение температуры термометром (на это отводится два урока).

Преподаватель подводит учащихся к мысли, что тепловым расширением тел можно воспользоваться для устройства прибора, измеряющего температуру.

Перед переходом к подтеме об устройстве термометра желательно дать краткий очерк истории изобретения термометра.

Из термометрических шкал изучается стоградусная шкала температур.

При рассказе о правилах измерения температуры по термометру преподаватель должен: а) показать правильное положение глаза при отсчете показаний по шкале (во избежание параллакса); б) обратить внимание учащихся на то, что термометр, которым измеряется температура в физических опытах, во время отсчета показаний не должен отрываться от того тела, температура которого измеряется; в частности, не должен выниматься из исследуемой жидкости — постоянная ошибка учащихся; в) предупредить учащихся против встряхивания термометра перед опытом по образцу обращения с медицинским термометром, так как встряхивание может привести к порче термометров; г) внушить учащимся, что под температурой воздуха подразумевается показание термометра в тени и что термометр всегда показывает свою собственную температуру, совпадающую с температурой тела, находящегося в длительном соприкосновении с термометром.

Учащиеся должны получить твердый навык в измерении температур при помощи термометров. С этой целью было бы очень полезно поставить лабораторную работу на измерение температуры нагреваемой воды с непременно построением графика зависимости изменения температуры от времени нагревания.

Кончается данная тема рассмотрением теплового расширения воды. Здесь обязательно надо продемонстрировать наибольший удельный вес воды при 4° . С этой целью изготовляют из парафина и вкрапленных в него дробинок цилиндр, который плавал бы в воде при 4° . Затем его помещают в воду, имеющую температуру ниже 4° и выше 4° , и наблюдают, что он в обоих случаях тонет. Из опыта делается вывод, что при 4° С вода имеет наибольшую плотность. Могут быть выбраны и другие известные демонстрации. Надо обстоятельно выяснить значение наибольшего удельного веса воды при 4° для жизни водных растений и животных.

Для чтения ученикам по теме можно рекомендовать:

Я. И. П е р е л ь м а н, Физическая хрестоматия. вып. 1 — «Обманчивость тепловых ощущений»; вып. 2 — «Выпрямление наклонных стен»;

«История термометра»; «Устройство термометра»; «Тепловое расширение воды» (см. выше).

Я. И. П е р е л ь м а н, Занимательная физика кн. 1; «Когда Октябрьская дорога длиннее — летом или зимой» «Безнаказанное хищение», «Высота Эйфелевой башни», «Физика за чайным столом» «Легенда о сапоге в бане» «Героновы чудеса»; «Часы без завода» (см. выше).

17. Передача теплоты

Во всех ранее поставленных опытах на тепловое расширение тел их нагревание шло за счет внешних источников теплоты.

Теперь следует подвергнуть исследованию вопрос о способах передачи теплоты от одного тела к другому.

Эту общую тему преподаватель расчленяет на части. Первая подтема отвечает на вопрос, как происходит нагревание жидкости и газа.

а) К о н в е к ц и я. Бросив в колбу с водой через стеклянную трубку один-два кристалла марганцовокислого калия, поставив колбу перед освещенным матовым стеклом и подогревая колбу снизу на пламени спички или тонкой свечи, преподаватель предоставляет учащимся пронаблюдать все стороны явления: поднятие подкрашенных струй в средней части и опускание по краям. Учащиеся, устанавливая характер явления, выясняют назначение брошенного в воду кристалла и с помощью преподавателя объясняют явление. Затем зарисовывают опыт.

Преподаватель дает название рассмотренному явлению: к о н в е к ц и я.

Затем он переходит к выяснению вопроса о нагревании газа. Для этого в качестве показателя движения газа он пользуется дымом. Слой дыма должен находиться у дна колбы. Для этого дым предварительно пропускают через трубку, погруженную в холодную воду¹. Затем, нагревая дно колбы на пламени спички, наблюдают движение дыма в колбе на фоне темного экрана.

Из этих опытов окончательно устанавливается признак конвекции, выясняется, в каком состоянии тела могут нагреваться путем конвекции и как должен быть помещен источник теплоты для нагревания конвекцией.

Конец первого урока и весь второй урок посвящаются ознакомлению с конвекцией в природе и технике. Рассматривается, как происходит нагревание атмосферы и отчего возникают ветры; в порядке домашней экспериментальной работы предлагается учащимся проследить, как происходит нагревание комнатного воздуха от печей и радиаторов; на простых моделях показывается значение ламповых стекол и заводских труб для усиления тяги газов; изучается круговорот воды в системе водяного отопления, работающей без нагнетательных насосов. Таблицами или кино-

¹ Охлаждение необходимо для того, чтобы дым лежал плотным слоем на дне колбы.

фильмом иллюстрируется устройство и действие системы охлаждения в автомобиле или в тракторе.

б) **Теплопроводность**: На следующем уроке естественно поставить вопрос: возможна ли конвекция в твердом теле? Учащиеся могут дать вполне обоснованный ответ, так как признаки твердого тела ими были изучены еще на первом уроке.

Придя по предварительным соображениям к отрицательному ответу относительно возможности конвекции в твердом теле, учащиеся поставят вопрос относительно способа передачи теплоты или способа нагревания твердого тела. Преподаватель отмечает, что этот вопрос составит содержание настоящего урока.

Урок после повторения пройденного проводится эвристически при помощи следующих демонстраций. 1) Постепенная передача теплоты по телу, не связанная с перемещением частей тела по направлению распространения теплоты. 2) Различная скорость распространения теплоты в разных телах.

Для первого опыта берут медный стержень или кусок медной проволоки и прикрепляют к нему парафином или воском бумажки, нагруженные снизу легкими гвоздиками. С одного конца подогревают горизонтально укрепленный стержень на пламени горелки. Последовательное отпадание бумажек вследствие плавления парафина позволяет выяснить, как происходит распространение теплоты в твердом теле.

Для второго опыта берутся две разнородные металлические проволоки, к которым воском прикрепляются в разных местах бумажки с грузиками; одни концы проволок скручиваются вместе и помещаются в пламя. Отпадание одинаково расположенных бумажек на разных металлах происходит в разное время.

Учащиеся делают вывод. Преподаватель, подводя итог опытам, дает название явлению — **теплопроводность** и характеризует явление теплопроводности. Особенное внимание учащихся преподаватель останавливает на том, что при распространении теплоты путем теплопроводности между двумя крайними частями тела — нагреваемым местом, имеющим наиболее высокую температуру, и местом с наиболее низкой температурой — располагаются последовательно места с промежуточной, постепенно уменьшающейся температурой.

Затем возникает вопрос, существует ли теплопроводность в жидкостях и газах. Ответом служат демонстрации. 1) Плохое распространение теплоты вдоль водяного столба при нагревании на пламени пробирки с водой в ее верхней части. Показателем плохой теплопроводности служит кусочек льда или парафина, задержанный грузиком на дне пробирки. При нагревании верхней части столба воды до кипения лед или парафин не плавится. 2) Плохая передача теплоты слоем воздуха в пробирке; пробирка надевается на палец, поднимается дном кверху и подводится верхним концом к пламени; палец долго не испытывает нагрева; как только пробирка опрокидывается и подогрев производится снизу, палец через

очень короткое время из-за нагрева горячим воздухом становится невозможно держать в пробирке. 3) Рука может очень долго находиться сбоку пламени на очень близком расстоянии от него и не выдерживает нагрева даже короткое время на том же расстоянии над пламенем.

Последние два опыта из-за субъективности теплового ощущения не могут служить классной демонстрацией. Эти наблюдения лучше предложить выполнить вне класса или дома.

На основе опытов учащиеся делают выводы о сравнительной теплопроводности веществ в различных агрегатных состояниях.

Конец урока преподаватель посвящает объяснению природных явлений теплопроводности, рассказывает о хороших и плохих проводниках теплоты и об их использовании в быту и технике.

Очень полезно разбирать с учащимися производимые перед ними опыты, которым они должны давать объяснения. Например, следующие опыты: нагревание в пламени чистой тряпки, а потом той же тряпки, но натянутой на большую латунную гирю; зажигание газа над и под медной сеткой; опускание горячей свечи, окруженной медной сеткой, в большую закрытую стеклянную банку, в которую предварительно пущено несколько капель эфира; затем бросание туда же зажженной спички (последние опыты объясняют действие лампы Дэви).

По рассматриваемой теме можно предложить много задач-вопросов на соображение.

Рассказы о теплопроводности, конечно, не дают учащимся на I-ой ступени изучения физики понятия о коэффициенте теплопроводности; но можно привести сравнительную характеристику теплопроводности различных веществ.

в) Л у ч е и с п у с к а н и е. Четвертый урок посвящается третьей подтеме — лучеиспусканию.

Повторив главные признаки конвекции и теплопроводности, преподаватель ставит вопрос, каким способом происходит нагревание Земли Солнцем. Учащиеся не найдут здесь ни главного признака конвекции — упорядоченного движения молекул вещества (потокa вещества), ни главного признака теплопроводности — постепенного падения температуры вдоль направления распространения теплоты. (Всем ученикам известны сведения о вертикальном распределении температуры из полетов советских стратостатов. На высоте 10—25 км температура воздуха около минус 55°.)

Между тем нагревание, несомненно, происходит. Учащиеся заключают, что существует третий способ передачи. Нагревание явно производится солнечными лучами.

Преподаватель дает название этому способу нагревания — л у ч е и с п у с к а н и е.

Затем он переходит к установлению признаков этого способа распространения теплоты.

Первый признак вытекает из рассмотрения нагревания Земли солнечными лучами. Распространение теплоты путем лучеиспуска-

ния происходит без соответствующего нагревания промежуточной среды; причем в ней не обязательно постепенное падение температуры от более высокой температуры источника до более низкой температуры нагреваемого тела. (Примеры: холодный воздух в зимний солнечный день; мерзлое стекло, через которое проникают в комнату греющие солнечные лучи.)

Учащиеся, естественно, поставят вопрос: чем объяснить такое явление? Ответ на этот вопрос позволит преподавателю установить и второй признак. Преподаватель выставляет на солнце два термометра, шарик одного из которых закопчен. При этом он дает беглое предварительное объяснение, чем отличаются блестящая и черная поверхности. Учащиеся приходят к выводу, что нагревание тел лучеиспусканием происходит при поглощении ими лучей.

Варианты первого опыта: собирание в фокусе линзы солнечных лучей или лучей от электрической дуги; помещение в фокусе линзы белой и черной бумаги или кусочков засвеченной киноплёнки и отмытой (светлой).

Установив признаки лучеиспускания на примере солнечных лучей, преподаватель ставит вопрос, только ли от солнца теплота передается лучеиспусканием. Рассматривается нагревание окружающих предметов раскаленными углями. Устанавливается и для этого случая признак лучеиспускания: стоит на том же месте повернуться к раскаленным углям спиной или загородить лицо ладонью, листом бумаги, как лицо перестает чувствовать нагревание; значит, промежуточный воздух не нагрет так, как он должен был бы нагреться, если бы теплота распространялась путем теплопроводности.

Наконец, возникает вопрос: происходит ли лучеиспускание только от раскаленных тел? Учащиеся могут знать, что нагревание может происходить от чайника с кипятком, нагретого утюга и т. п.

Преподаватель ставит опыт с зеркалами Пикте и нагретой гирей и делает обобщение, что лучеиспускание происходит от всех тел при всякой температуре.

В заключение урока преподаватель дает краткие сведения (с возможными демонстрациями) о прозрачности веществ по отношению к различным лучам и о соотношении поглощательной и испускательной способностей различных поверхностей.

Объем последних сведений не должен выходить за пределы программы. Центральным вопросом урока остается тема о лучеиспускании. По теме проводятся упражнения, материалом которых продолжают служить задачи учебника и отдельные демонстрации и бытовые явления, объясняемые учащимися на основании изученной темы.

Для внеклассного чтения учащимся можно предложить следующую литературу.

Я. И. П е р е л ь м а н, Занимательная физика см. (выше) кн. 1 — «Поучительная папироса», «Лед не тающий в кипятке», «На лед или под лед».

«Почему дует от закрытого окна», «Таинственная вертушка», «Греет ли шуба», «Какое время года у нас под ногами», «Бумажная кастрюля».

Я. И. Перельман, Физическая хрестоматия. (см. выше) вып. 11—
«Теплопроводность», «Теплота жилища и одежды», «Температура под землей».

18. Тепловое изменение состояния вещества

1) П л а в л е н и е и о т в е р д е в а н и е. Учащиеся уже имели случай во введении к курсу VI класса усвоить внешние признаки твердого, жидкого и газового состояний, а также на основании разбора своих жизненных наблюдений и классных опытов убедиться, что каждое состояние не является раз навсегда определенным для данного тела, а изменяется в зависимости от условий, в которых находится тело, в частности от его температуры.

В предстоящей теме учащиеся должны изучить условия перехода тел из одного состояния в другое и законы этих переходов.

Подходом к теме может служить продолжение прежнего вопроса о действии теплоты на тела. В § 16 было выяснено, что приток теплоты от источника к изучаемому телу вызывает его расширение. Естественно поставить вопрос, произойдет ли какое-либо изменение при дальнейшем притоке теплоты к телу. Ответ учащиеся могут получить, проделав лабораторную работу. Работа заключается в исследовании процессов, сопровождающих нагревание кристаллического твердого тела. Впоследствии учащиеся узнают, что только кристаллическое состояние существенно отличается от жидкого (строение аморфных твердых тел мало отличается от строения жидкости). Удобно выбрать для исследования нафталин, температура плавления которого (в чистом виде) 80° .

Результаты наблюдений изображают графически, откладывая на осях координат время и температуру нафталина.

На следующем уроке, перейдя к теме «Плавление твердого тела», преподаватель подводит вместе с учащимися итоги лабораторной работы, обобщает ее и дополняет научными данными. На основе этого материала устанавливаются известные законы плавления.

Так как во все время плавления температура остается неизменной, несмотря на приток теплоты, то, очевидно, количество теплоты, полученное телом во время плавления (при постоянной температуре), идет на перевод тела из твердого состояния в жидкое.

Эту мысль преподаватель подтверждает опытом, один раз вливая в калориметр, содержащий 300 г воды при комнатной температуре, 50 г воды при 0° , а другой раз всыпая в такое же количество воды 50 г льда при 0° .

Подчеркивается, что во время плавления происходит передача расплавленному телу энергии в форме теплоты от другого тела — источника теплоты. С другой стороны, при своем отвердевании тело передает то же количество теплоты окружающим телам. Передача теплоты всегда связана с изменением энергии тела, отдающего теп-

лоту. Из этих фактов можно заключить, что тело в жидком состоянии обладает большим количеством энергии, чем то же тело в твердом состоянии.

Этот избыток энергии не является кинетической энергией всего тела так как оно как в твердом, так и в жидком состоянии может находиться в покое.

Этот избыток энергии не может быть приписан и изменению потенциальной энергии положения, так как тела в твердом и жидком состоянии могут находиться на одной и той же высоте над Землей.

В таком случае приходится признать существование еще одного вида энергии, называемого «внутренней энергией» тела.

При получении телом теплоты от других тел или при отдаче ее другим телам внутренняя энергия тела изменяется.

Теплота плавления, приобретение которой не отмечается термометром, не теряется, а идет на повышение внутренней энергии и может быть возвращена телом при отвердевании.

На опыте с остыванием расплавленного в пробирке парафина показывается уменьшение объема при отвердевании (вогнутая поверхность парафина), демонстрируется на смеси снега и соли понижение температуры смеси вследствие поглощения теплоты при плавлении; опытом с замораживанием в охлаждающей смеси пробирки, целиком заполненной водой и плотно заткнутой пробкой, подтверждаются жизненные наблюдения учащихся, что вода при отвердевании увеличивается в объеме; на опыте с каким-либо легкоплавким сплавом (например, сплавом Вуда) учащиеся знакомятся со свойством сплава иметь меньшую температуру плавления, чем его составные части; при этом рассказывается учащимся о техническом значении сплавов.

2) П а р о о б р а з о в а н и е. Подобным же образом проходит тема о кипении.

Из опытов делается вывод о существовании определенной температуры кипения для каждой жидкости при данных условиях и о постоянстве температуры во время кипения. Преподаватель показывает, что объем тела увеличивается при обращении в пар и обратно (охлаждение паров в колбе, где кипятилась вода, и всасывание через трубку воды из другого сосуда), что при повышении давления температура кипения увеличивается (котел Папина) и при понижении давления уменьшается.

Подобно тому, как это было сделано при изучении плавления, надо отметить, что внутренняя энергия пара больше внутренней энергии того же весового количества жидкости.

В теме «Испарение» преподаватель отмечает отличие испарения от кипения жидкости и на опыте устанавливает законы испарения.

Наконец, на основании жизненных наблюдений и опыта (продувание воздуха через эфир, налитый в стаканчик, и измерение температуры эфира по мере продувания) преподаватель устанавливает

ливаает, что всякое парообразование требует затраты теплоты, и рассказывает о техническом и бытовом использовании этого явления.

19. Понятие о природе теплоты

Последняя крупная тема раздела «Теплота» посвящена физическим основам действия паровых машин. Эта тема содержит как частную тему переход работы в теплоту и теплоты в работу.

Чтобы развить тему о связи двух величин — работы и теплоты надо оформить понятие о каждой величине в отдельности.

Понятие о работе было введено раньше. Следовательно, теперь необходимо раскрыть понятие о теплоте. Этому вопросу и должен быть посвящен первый урок по последней общей теме.

1. Задача преподавателя состоит в том, чтобы сформировать у учащихся представление о теплоте как об одной из форм изменения энергии тела.

Напомнив, что тела благодаря своему движению и положению относительно других взаимодействующих с ними тел обладают кинетической и потенциальной энергией, преподаватель расширяет понятие об энергии тела. На одном из первых уроков физики и химии учащиеся должны были усвоить, что молекулы тела находятся в непрерывном движении, следовательно, все они обладают кинетической энергией; кроме того, между молекулами действуют силы сцепления, зависящие от расстояния, следовательно, молекулы вследствие своего взаимодействия обладают и потенциальной энергией.

Совокупность кинетической и потенциальной энергии молекул составляет большую часть так называемой внутренней энергии тела.

Далее преподаватель путем вопросов помогает учащимся вспомнить, что изменение механической энергии тел выражалось в совершении телом работы над другими телами. Учащимся известно, что всякая простая машина дает полезную работу, меньшую, чем работа, затраченная для приведения ее в действие. Следовательно, полное изменение энергии тела, являющегося источником работы, больше того изменения, которое нашло свое выражение в совершенной работе.

Между тем закон сохранения энергии говорит о том, что энергия в природе не создается и не исчезает. Это противоречие толкает мысль на поиски той части энергии, которая кажется пропавшей. Имеющиеся у учащихся наблюдения позволяют им сделать заключение, что всякий раз, когда изменение энергии не обнаруживается в виде работы, возникает нагревание тела, т. е. получается теплота.

Учащиеся в качестве примеров могут привести случаи нагревания осей у движущихся вагонов, нагревания пилы при распилке дерева или металла. Если с классом была проведена экскурсия на металлообрабатывающий завод, то надо привести примеры ис-

кусственного охлаждения рабочей части станков. Преподаватель дополняет эти наблюдения опытом с трубкой Тиндаля (или другими подобными опытами в упрощенной постановке), в котором посредством трения происходит нагревание трубки и ее содержимого.

Эти опыты наводят на мысль о том, что та часть механической энергии, которая пошла на преодоление трения, определяет возникновение теплоты.

Возникновение теплоты при ударе, помимо ссылки на работу кузнеца, преподаватель демонстрирует на ударах молотом по куску свинца, нагрев которого показывается на термоскопе. Опыт с воздушным огнем, рассказы о метеорах дополняют общую картину, из которой учащиеся делают вывод, что изменение энергии тела во многих случаях сопровождается возникновением теплоты.

Таким образом, первый урок заканчивается выводом, что теплота, так же как и совершение работы, обнаруживается при изменении энергии тела.

2. С в я з ь р а б о т ы и т е п л о т ы. Так как на первом уроке преподаватель выяснил, что работа и теплота являются двумя результатами или способами изменения энергии тела, то естественно на втором уроке выяснить, существует ли связь между работой и теплотой.

Так как работа и теплота являются двумя способами или двумя проявлениями изменения энергии тела, то между ними возможны взаимные переходы. Преподаватель разбирает случаи перехода теплоты в работу. Сначала он возвращается к разбору произведенного на предыдущем уроке опыта с трубкой Тиндаля (или другого, подобного ему), заканчивающегося вылетом пробки из трубки: работа на перемещение пробки была совершена за счет теплоты. Верчение вертушки (опыт) над пламенем говорит о движении вверх нагретого воздуха, т. е. о преобразовании теплоты в работу подъема воздуха против силы тяжести.

Здесь уместно напомнить учащимся о восходящих токах в атмосфере при нагревании поверхности земли, известных учащимся из темы о конвекции.

Что при подъеме воздуха снова происходит затрата работы на расширение его, можно показать на примере выкачивания воздуха из-под колокола воздушного насоса: при достаточно быстром разрежении получается туман. Учащимся уже известно, что туман состоит из капелек воды и образуется при охлаждении водяного пара.

Следовательно, работа при расширении воздуха происходит за счет изменения внутренней энергии воздуха в форме теплоты. В результате воздух охлаждается.

Наконец, работа тепловых машин завершает группу фактов, из которых учащиеся могут сделать вывод: за счет теплоты можно получить работу.

Так как выяснено, что работа, совершаемая при изменении механической энергии, может переходить в теплоту и что теплота

может переходить в работу, то учащиеся могут сделать общий вывод: теплота, как и работа, возникает при изменении энергии тела, включая изменение и внутренней энергии.

Через отдачу теплоты уменьшается внутренняя энергия тела; через получение телом теплоты она увеличивается. Точно так же при совершении телом работы его энергия уменьшается, при совершении работы над телом его энергия увеличивается.

Таким образом, изменение энергии тела может происходить или путем совершения работы или путем передачи теплоты.

Напомнив явления, показывающие переход одной формы изменения энергии в другую, преподаватель помогает учащимся сделать вывод: теплота и работа — величины взаимно переходящие друг в друга.

3. К о л и ч е с т в о т е п л о т ы и е г о е д и н и ц а. Так как на предыдущих уроках выяснена равноценность работы и теплоты, как двух способов изменения энергии тела — механической и внутренней, то, следовательно, можно говорить о количестве теплоты.

Что же понимается под количеством теплоты?

Количеством теплоты называется количество энергии, передаваемое от одного тела другому без совершения работы.

Этот вопрос о количестве теплоты и его измерении преподаватель и делает темой 3-го урока.

Программа не вводит описание опытов (Джоуля или других) для установления эквивалентности работы и теплоты, измеренных в тепловых единицах. Поэтому преподаватель, не углубляясь в историю вопроса и в описание опытов, дает, как принятое, следующее определение единицы количества теплоты: *за единицу количества теплоты принимается изменение энергии в 0,4 джоуля.*

Это количество энергии поднимает температуру 1 г дистиллированной воды на 1°C в пределах от $19,5$ до $20,5^{\circ}\text{C}$.

Так как исторически учение о теплоте развивалось независимо от механики, то эта единица получила раньше особое название «калория», которое сохраняется и до сих пор. Следовательно, единицу теплоты — калорию — можно определять таким образом: калория есть такое количество теплоты, которое поднимает температуру 1 г дистиллированной воды на 1° в пределах от $19,5$ до $20,5^{\circ}\text{C}$. Затем дается определение килокалории и сообщается об ее эквивалентности 427 килограммометрам работы.

Заканчивается урок сообщением, что отношение числа единиц работы, соответствующее единице теплоты, называется «механическим эквивалентом теплоты» и обозначается буквой j . Следовательно, «механический эквивалент теплоты» равен

$$j = 0,4 \frac{\text{дж}}{\text{кал}}, \text{ или } 427 \frac{\text{кгм}}{\text{ккал}}.$$

Надо обратить внимание на наименование механического эквивалента теплоты.

Желательно уже на этом уроке дать учащимся примеры для простейших устных расчетов.

4. Следующий урок посвящается теме «Расчет количества теплоты, получаемого или выделяемого при изменении температуры данного количества воды».

Эти расчеты делаются арифметически, без вывода формул, с обязательной постановкой в число сомножителей единицы, чтобы учащиеся с самого начала твердо запомнили, что выражение для количества теплоты при изменении температуры состоит из трех сомножителей.

Далее необходимо подчеркнуть, что при расчете всегда берут в качестве одного из сомножителей разность температур. Учащиеся не сразу начинают различать выражения: тело нагрето до таких-то градусов и тело нагрето на столько-то градусов.

5. Т е п л о е м к о с т ь. На следующем уроке изучается тема об удельной теплоемкости веществ.

Приступить к ней можно с вопроса: одинаковое или разное количество теплоты идет на нагревание двух различных веществ на одно и то же число градусов (весовые количества веществ и другие условия — одинаковы)?

Чтобы ответить на этот вопрос, преподаватель может проделать два опыта. Первый описан в стабильном учебнике. Второй — общеизвестен. Учащиеся из опытов делают вывод, что вещества отличаются друг от друга количествами теплоты, получаемой для нагревания или отдаваемой при остывании при всех прочих одинаковых условиях.

Как только выяснилось, что существует отличие веществ по нагреваемости их, необходимо ввести величину, которая характеризовала бы в этом отношении вещество. Такая величина носит название удельной теплоемкости вещества. Учащиеся на основании предыдущих опытов могут сами установить определение удельной теплоемкости. Преподавателю остается уточнить и продиктовать окончательное определение удельной теплоемкости вещества, теплоемкости тела и указать правильный путь для расчета количества теплоты, получаемой или отдаваемой при изменении температуры.

Устные расчеты могут проводиться путем рассуждения, схема которого представлена в следующей таблице.

Количество вещества	Разность температур	Количество теплоты
1 г свинца	1°	0,03 кал.
10 г »	1°	0,03 · 10 кал
10 г »	40°	0,03 · 10 · 40 кал.

После ряда арифметических расчетов устанавливается единая формула для количества теплоты, получаемой или выделяемой при изменении температуры, годная для всех веществ, не исключая и воды.

Формула выводится путем того же рассуждения, которое дано для устного расчета.

Учащиеся должны помнить, что в полученной формуле $Q = cm(t_2 - t_1)$ более высокой температурой является t_2 , более низкой — t_1 , поэтому при нагревании t_2 — конечная температура, при остывании — начальная. В формулу всегда вставляется только разность этих температур.

Хотя произведение и не меняется от перестановки сомножителей, тем не менее следует требовать от учащихся соблюдения данного выше порядка сомножителей, соответствующего ходу вычисления.

Произведение cm обозначает величину теплоемкости тела.

Необходимо ввести обозначение для единицы удельной теплоемкости $\frac{\text{кал}}{\text{г} \cdot \text{град}}$ или $\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$.

Следующие уроки посвящаются решению задач, выяснению понятия о калорийности топлива, о коэффициенте полезного действия нагревателя и лабораторной работе по измерению этого коэффициента, ход которой достаточно обстоятельно разработан во всех руководствах.

После того как дано понятие об единице количества теплоты, можно раскрыть смысл понятий о теплоте плавления и о теплоте парообразования, привести числовые значения этих теплот и к расчетам теплоты нагревания тел присоединить расчеты на теплоту плавления или парообразования.

Во всяком случае учащиеся должны твердо усвоить, что какое количество теплоты требуется для нагревания тела (или его плавления, или парообразования), такое же количество выделяется при охлаждении тела в тех же пределах температур (вообще при обратном процессе — отвердевании или сжижении паров при одних и тех же условиях).

6. Тепловые машины. Последняя часть раздела «Теплота» посвящена тепловым двигателям и содержит обширный материал по использованию взаимосвязи работы и теплоты в технике и устройству паровых машин. Этот материал имеет большое политехническое значение. Не разбивая этот материал на отдельные уроки и не ставя себе задачей подробное поурочное развертывание его, ограничусь отдельными замечаниями.

Прежде всего преподаватель должен исправить искаженное представление об историческом ходе изобретательства паровой машины, перешедшее из иностранной литературы и заключающееся в том, что изобретателем паровой машины как промышленного двигателя считался Джемс Уатт. Трудом русских историков науки и техники окончательно выяснено, что после «атмосферических»

машин, действовавших с начала XVIII в. только в качестве паровых насосов, первую паровую машину за два десятилетия до Уатта изобрел и применил в качестве промышленного двигателя в 1763—1765 гг. первый русский теплотехник Иван Иванович Ползунов, «изобретатель и конструктор, технолог и машиностроитель, знаток руд и строительных материалов, строитель лесопильных мельниц и плотин, горняк и металлург, механик и математик, физик и метеоролог, выдающийся педагог и мастер чертежа и рисунка», по словам его биографа.

С жизнью и деятельностью И. И. Ползунова можно познакомиться по книгам, указанным в конце главы.

Также следует на протяжении изложения этой темы показать участие других русских изобретателей в развитии теплотехники: Шухова и Рамзина — в котлостроении, Черепановых и Бородина — в паровозостроении и других в различных областях.

Таким образом, учащимся становится ясно, что развитие техники есть результат труда многих ученых различных стран мира, труда, в который немалую долю внесли русские ученые и изобретатели.

Биографические и исторические очерки можно представить в виде коротких докладов учащихся по заранее предложенной литературе. Кто бы ни вел это историческое изложение — преподаватель или учащиеся, — оно должно быть сопровождаемо показом диапозитивов с изображением машин и портретов изобретателей.

Переходя к описанию машины Уатта, преподаватель должен добиться от учащихся отчетливого понимания следующих фактов.

1) В паровой машине работает водяной пар, давление которого растет с повышением температуры и убывает с понижением ее.

2) Для непрерывной работы машины необходимо наличие двух тел, между которыми перемещается работающий пар: котла, в котором пар доводится до высокой температуры и высокого давления, и холодильника (вода или воздух), в который пар попадает при пониженной температуре и пониженном давлении.

3) Переходя в холодильник, пар отдает ему часть теплоты, полученной в котле. Поэтому не вся теплота, полученная паром в котле, может быть обращена в работу; следовательно, у каждой паровой машины имеется определенный коэффициент полезного действия.

4) Поочередный выпуск пара в цилиндр и выпуск его из цилиндра производится при помощи автоматического приспособления, изобретенного Уаттом. Учащиеся должны уметь начертить схемы цилиндра, парораспределительной коробки и золотника для двух его основных положений (без отсечки пара) и объяснять по ним выпуск и выпуск пара и передвижение поршня.

5) Наконец, нужно познакомить учащихся с тем, какие малые коэффициенты полезного действия имели первоначальные машины (например, для получения работы в 1 л. с. в час требовалось угля в 1820 г. 12 кг, в 1830 г. — 5 кг, в 1840 г. — 2,5 кг, в 1860 г. — 2 кг,

в 1880 г.— 1,4 кг, в 1890 г.— 1,2 кг, в 1920 г.— 0,93 кг, в 1925 г.— 0,57 кг), и сообщить им, что все дальнейшие усовершенствования паровой машины ведутся под знаком повышения их коэффициента полезного действия.

Способы этого повышения не входят в программу 1-ой ступени изучения физики, составляя содержание соответствующей главы X класса. В порядке ознакомления преподаватель может сообщить их учащимся.

Изучение паровой машины сопровождается показом иллюстраций и плакатов, имеющихся по данной теме, и демонстрацией разборной и действующей моделей паровой машины.

Переходя к подтеме о двигателе внутреннего сгорания, преподаватель должен при помощи моделей, кинофильмов, диапозитивов, плакатов наглядно показать основы устройства и действия этих машин. Следует при этом пояснить, чем вызван переход от паровых машин к двигателям внутреннего сгорания и каковы преимущества и недостатки каждого из этих видов двигателей.

В заключение этой темы преподаватель или учащиеся в своих докладах сообщают о применении двигателей внутреннего сгорания на военных судах, танках, самолетах, тракторах, в автомобильном транспорте, в тепловозах и т. п. и освещают их роль в советском социалистическом хозяйстве, сопровождая и эту часть изложения подробными иллюстрациями.

Для знакомства с паровыми или тепловыми двигателями полезно провести экскурсию в паровозное депо или в машинное отделение завода.

Сведения о двигателях могут быть пополнены еще раз на протяжении 1-ой ступени изучения физики при изучении темы о производстве электроэнергии и при экскурсии на электростанцию.

7. Закон превращения и сохранения энергии. Преподаватель заканчивает раздел учения о теплоте уроком, посвященном обобщению закона превращения и сохранения энергии.

На основе разобранных на уроках качественных и количественных примеров переходов теплоты в работу и обратно преподаватель окончательно обобщает закон превращения и сохранения энергии, впервые примененный в VI классе для случая преобразования кинетической и потенциальной энергии, на те случаи, где изменение всей энергии тела связано также с получением или отдачей теплоты.

Следует разобрать с энергетической точки зрения круговорот воды, испаряемой за счет энергии Солнца. В этом разборе может помочь плакат, изданный Учпедгизом под заглавием «Использование энергии движения воды».

При разборе различных природных явлений надо подвести учащихся к мысли, что Солнце — источник энергии на Земле.

Надо также напомнить учащимся сделанное им раньше сообщение, что предшественником западноевропейских ученых, окончательно установивших закон сохранения энергии в сороковых

годах XIX века, был наш гениальный ученый М. В. Ломоносов, высказавший еще двести лет назад идею о законах сохранения в любых «переменах, в натуре случающихся».

Литература о Ломоносове и других русских ученых и изобретателях в области теплотехники:

«Люди русской науки», Огиз, 1948 (о Ломоносове, т. I, стр. 63—82; о Ползунове, т. II, стр. 869—873; о Черепановых, т. II, стр. 889—893; о Шухове, т. II, стр. 1025—1033).

В. В. Данилевский, Русская техника, Л., Газ.-журн. изд., изд. 2, 1948 (о Ползунове, стр. 150—156, о Кулибине, стр. 163—170, о Черепановых, стр. 182—186).

Б. Н. Меншуткин, Жизнеописание Михаила Васильевича Ломоносова, АН СССР, Научно-популярная серия. М.—Л., 1947.

Б. Н. Меншуткин, Труды Ломоносова по физике и химии, изд. АН СССР, М.—Л., 1936.

В. А. Стеклов, Ломоносов, Госиздат, 1921.

Г. С. Васецкий, М. В. Ломоносов, его философские и социально-политические взгляды, Соцэкгиз, М., 1940.

М. Муратов, Юность Ломоносова, Детгиз, 1944, 120 стр. с рисунками.

В. В. Данилевский, И. И. Ползунов. Труды и жизнь первого русского теплотехника, М.—Л., изд. АН СССР, 1940.

В. В. Данилевский, Творец паровой машины — Ползунов, «Молодая гвардия», 1947, стр. 16.

А. М. Иерусалимский, Автомобиль. Популярно-исторический очерк для юношества, ОНТИ, 1934, 43 стр., 14 рис.

Б. Житков, Сила трактора. Главная редакция научно-популярной и юношеской литературы, 1936, 61 стр., с чертежами.

П. С. Кудрявцев, История физики, Учпедгиз, ч. I, 1948, ч. II, 1956.

Глава III.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

20. Общие замечания к отделу электричества

Задача школьного курса электричества на 1-ой ступени изучения физики—в научном обосновании коренной проблемы народного хозяйства — электрификации страны. Это подчеркивает важность учения об электрическом токе.

Учащиеся хорошо знают, что электрический ток, образно говоря, греет, освещает, возит пассажиров и вообще выполняет самые разнообразные работы. Когда преподаватель переходит к отделу «Электричество», учащиеся уже подготовлены к тому, что этот отдел физики имеет большое практическое значение. Кроме того, по отношению к явлениям электрического тока учащиеся уже владеют некоторым жизненным опытом, что также имеет не мало-важное значение.

Все эти соображения приводят к тому, что было бы более целесообразным начинать курс электричества на 1-ой ступени с учения об электрическом токе, а не с электростатических явлений, не с электризации трением, как это соответствует историческому раз-

виту учения об электричестве. Такое построение курса можно было выполнить вполне систематично.

Современная программа остается еще во власти исторической традиции. Мнение авторов программы, что при изложении явлений электризации трением легче ввести понятие об электрическом заряде, чем в учении об электрическом токе, не является вполне убедительным, так как в обоих случаях это понятие вводится догматически.

21. Первоначальные сведения об электричестве

1. Э л е к т р и з а ц и я т р е н и е м. Хотя первый урок по электричеству и посвящается электризации трением, а не электрическому току, тем не менее преподаватель посвящает часть урока выяснению значения электрических явлений в современной социалистической технике.

Переходя затем к теме, преподаватель ставит основной задачей урока показать учащимся, что при трении происходит о д н о в р е м е н н а я электризация обоих соприкасающихся тел. Подвести учащихся к этому основному факту можно следующим путем.

Взяв стеклянную палочку, подносят ее к мелко нарезанным кусочкам бумаги, расположенным на высокой подставке; показывают, что между палочкой и бумажками нет никакого взаимодействия. Натирают палочку об амальгамированную кожу, снова приближают к кусочкам бумаги и показывают притяжение их к палочке.

Повторяют подобные же действия с эбонитовой палочкой, натираемой о сукно.

Преподаватель ставит вопрос, можно ли объяснить притяжение кусочков бумаги натертой стеклянной или эбонитовой палочкой известными учащимся механическими силами или тепловыми явлениями.

Отрицательный ответ позволяет считать это притяжение совершенно новым явлением, отличным от механических и тепловых явлений.

Вводятся новые термины: сообщить телу способность притягивать всевозможные предметы — значит н а э л е к т р и з о в а т ь его; тело, получившее способность притягивать предметы, называется н а э л е к т р и з о в а н н ы м, или имеющим электрический заряд. Вместе с этим дается объяснение происхождению термина «электричество».

После установления самого факта — возникновения нового явления — возможен исторический очерк, переплетающийся с опытами, раскрывающими различные стороны нового явления.

Вторая демонстрация должна показать, что от трения друг о друга (точнее — от соприкосновения) оба тела электризуются одновременно, но получают заряды, п р о т и в о п о л о ж н ы е по своим свойствам и о д и н а к о в ы е по величине.

Для этого опыта следует приготовить круги (или пластины) одинакового диаметра: стеклянный; стеклянный, оклеенный амальгамированной кожей; стеклянный, оклеенный сукном; эбонитовый. Первые три прикреплены к стеклянным ручкам, последний — к эбонитовой.

Натираются друг о друга стеклянный и кожаный круги (потом суконный и эбонитовый) и подносятся к мелко нарезанным кусочкам папиросной бумаги сначала в отдельности, затем вместе.

При раздельном поднесении кругов бумажки притягиваются к каждому из них, при совместном — притяжения не обнаруживается.

Последнее явление может быть объяснено только тем, что электризация обоих тел взаимно уничтожается, т. е. заряды оказываются разнородными.

Из двух вариантов опыта делается вывод: при трении оба тела получают разнородные электрические заряды в равных количествах.

Вводятся названия: положительное и отрицательное электричество. Условно считают электрический заряд стекла при натирании о кожу положительным, заряд кожи — отрицательным.

В этом явлении обнаруживается диалектический принцип единства противоположностей. Кроме того, одновременное возникновение разнородных зарядов в равных количествах и взаимная их нейтрализация выражают закон сохранения количества электричества.

Третий опыт должен показать, что от трения электризуются различные тела — парафин, сургуч, сера, янтарь, металл (последний, лишь в том случае, если держать его рукой в резиновой перчатке).

Можно наэлектризовать ртуть и стеклянную палочку, опуская и вынимая палочку из ртути.

Вода или песок, проходящие через воронку, электризуются сами и электризуют воронку. Из всех этих опытов получается общий вывод: все тела при соприкосновении электризуются.

При проведении предыдущих опытов надо постоянно подчеркивать, что электризация вызывается простым прикосновением тел. Трение только обеспечивает возможно более тесное соприкосновение обоих тел в возможно большем количестве точек; оно не имеет здесь механического значения. Поэтому при демонстрации нет необходимости затрачивать усилие на натирание. (Можно показать электризацию ударом, разрывом — см. § 104.)

Цель четвертого опыта — показать передачу заряда через прикосновение. Натертая о кожу стеклянная палочка приближается к конусу из папиросной бумаги, висящему на длинной шелковой нити. Подвешенное тело притягивается к наэлектризованной стеклянной палочке и отталкивается после прикосновения к ней. К основанию конуса подносятся кусочки легкой бумаги, которые к нему притягиваются (действие, конечно, слабое, но все-таки оно может

быть замечено). Опыт устанавливает электризацию через прикосновение.

2. Взаимодействие зарядов. На втором уроке рассматривается взаимодействие зарядов. Уже четвертый опыт первого урока обнаруживает отталкивание тела после его электризации через прикосновение.

Пятый опыт должен ответить на вопрос, как взаимодействуют тела, однородно и разнородно наэлектризованные.

Натираются стеклянный и кожаный круги и одним из них прикасаются к одному электрическому маятнику, другим — к другому (маятник — подвешенная на шелковой нити гильза).

Каждый из маятников отталкивается от того наэлектризованного тела, от которого он получил заряд, и притягивается к другому.

Из опыта делается вывод о взаимодействии наэлектризованных тел.

Попутно устанавливается знак заряда эбонитовой палочки, натертой о мех; преподаватель рассказывает о знаках заряда различных натираемых тел и о зависимости их от разных, часто трудно определяемых причин.

При соприкосновении оба тела электризуются разнородно и притягиваются друг к другу. Пока они не разъединены, их электризация никак не обнаруживается вовне. Чтобы разъединить наэлектризованные тела, надо совершить работу для преодоления их взаимного притяжения. Во всех предыдущих опытах эта работа получалась от затраты мускульной энергии.

На основе пятого опыта объясняется устройство электроскопа и дается (пока без объяснения, но на основании опыта) правило испытания знака любого заряда: надо зарядить электроскоп определенным зарядом и подносить испытуемое наэлектризованное тело; если листочки расходятся — заряд испытуемый одинаков с заданным.

Предлагается вызванным учащимся наэлектризовать разные тела (помимо специально подобранных, также случайно находящиеся под руками — линейку и т. п.) и определять знак их заряда.

При помощи электроскопа надо показать, что заряды в одних случаях могут быть больше, в других меньше. Зарядив электроскоп до расхождения листочков на небольшой угол через прикосновение одним местом заряженной стеклянной или эбонитовой палочки, после проводят по шарiku электроскопа другими частями поверхности палочки: листочки электроскопа расходятся на больший угол; величина заряда электроскопа увеличивается.

Прикасаясь пробной пластинкой к шарiku заряженного электроскопа и разряжая ее рукой после каждого прикосновения, можно уменьшать заряд. Этими опытами можно дать понять учащимся, что заряды имеют величину, что следует говорить о «количестве электричества», что это количество может увеличиваться через сложение отдельных зарядов и может уменьшаться через деление их.

В дальнейшем можно указать на предел делимости — элементарный заряд электрона.

Если для демонстрации не хватит времени на этом уроке, то с нее следует начать урок, посвященный изложению элементов электронной теории.

3. Проводники и непроводники электричества. Следующая задача того же урока — выяснить понятие о проводимости.

Четвертый опыт показал передачу заряда через прикосновение. Спрашивается, остается ли заряд в месте прикосновения или распространяется по телу? Заряжается один из двух электроскопов, затем шарики их соединяются различными веществами — металлическими проволоками, стеклянным, эбонитовым, сургучным, деревянным и другими стержнями; резиновым, шелковым, веревочным и другими шнурами.

Отклонение или неотклонение листочков другого электроскопа позволяет ответить на поставленный вопрос и произвести деление тел на проводники и непроводники (изоляторы, диэлектрики). Приводятся примеры каждого рода тел и подчеркивается условность деления на проводники и непроводники. Рассматривается применение в технике тех и других.

4. Понятие об электро-не. Третий урок посвящается самому элементарному изложению основ электронной теории строения атома и применению этой теории к объяснению явлений электризации. Рассказывается о существовании свободных электронов в металлах, чем и объясняется их хорошая проводимость.

Хотя понятие об электро-не экспериментально не обосновано и дается догматически, его все-таки следует ввести, так как пользование им очень облегчает объяснение явлений электризации трением и через влияние.

Каждое объяснение электростатических явлений на основе этой теории будет служить новым оправданием ее введения.

5. Электризация через влияние. Показ самого явления электризации через влияние состоит из следующих частей.

а) Простым прибором для демонстрации может служить длинный разъемный металлический цилиндр с полусферическими основаниями, к концам которого прикреплено по паре бумажных поло-

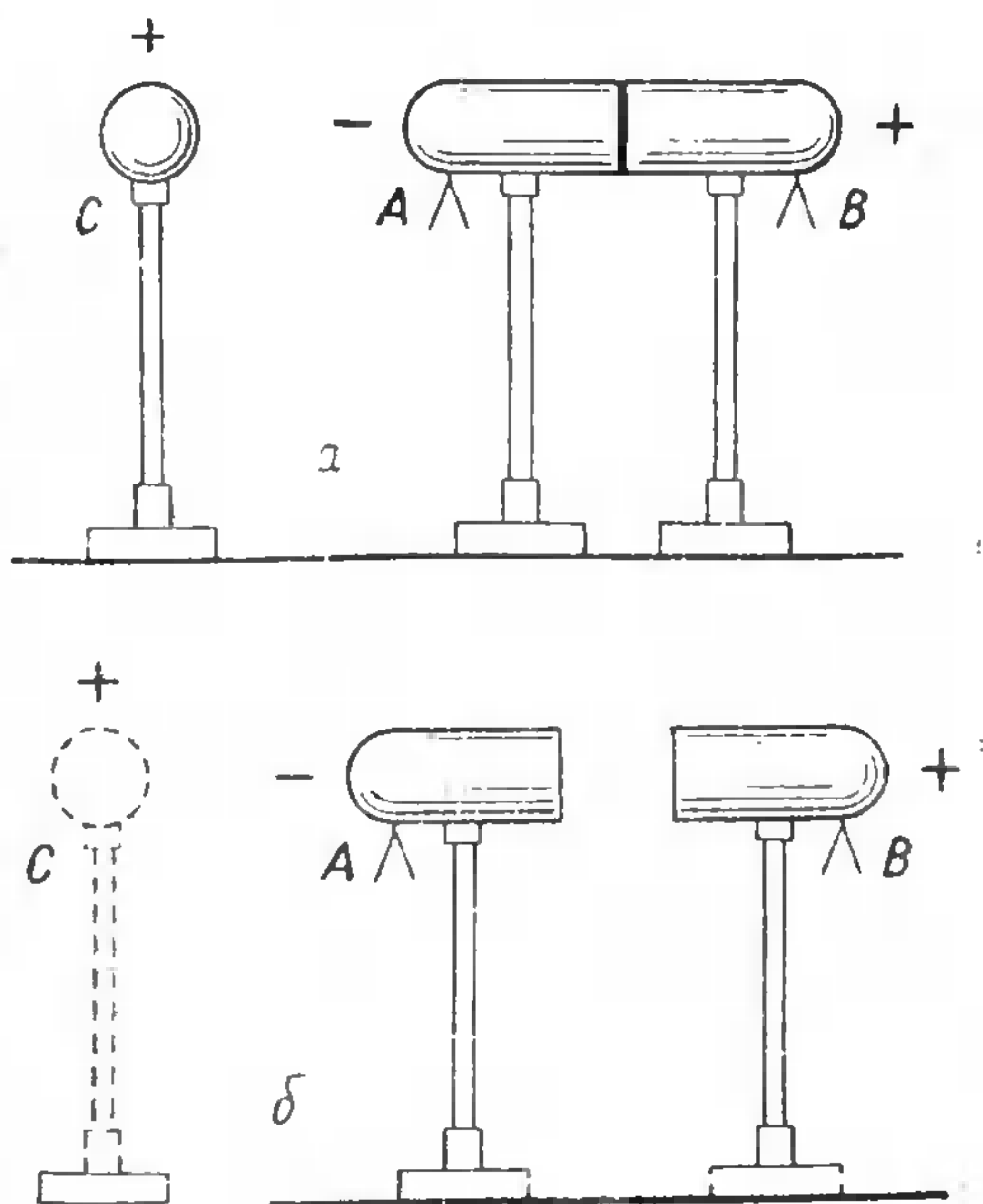


Рис. 13

сок (рис. 13, а). Цилиндр укреплен горизонтально на изолирующей подставке. При первом опыте сбоку к цилиндру подносится один раз положительно заряженная стеклянная палочка, другой раз — отрицательно заряженная эбонитовая палочка.

Каждый раз в присутствии заряженного тела учащиеся наблюдают расхождение полосок на обоих концах цилиндра; при удалении его — сближение полосок.

Из того факта, что листочки в присутствии заряженного тела расходятся, а при удалении спадают, учащиеся делают первый вывод: в присутствии заряженного тела на концах изолированного проводника появляются разнородные заряды в равных количествах. Вывод основан на том, что исчезновение зарядов, т. е. их нейтрализация, может произойти только при условии их равенства по величине и противоположности по знаку.

б) Во втором опыте каждый раз, т. е. в присутствии как положительно, так и отрицательно заряженного тела, испытываются знаки зарядов, возникающих на концах (или на половинах) проводника. Для этого следует разъединить наэлектризованный цилиндр и исследовать заряд каждого полуцилиндра в отдельности (рис. 13, б).

Учащиеся делают вывод, что на конце изолированного проводника, ближайшем к влияющему телу, возникает заряд, разнородный с влияющим, на отдаленном — однородный.

в) Третий опыт осуществляют так: проводник заземляют в присутствии влияющего заряженного тела, затем изолируют и только после этого удаляют влияющее тело. Учащиеся обнаруживают зарядение изолированного тела зарядом, разнородным с влияющим.

Так демонстрируется возможность второго способа электризации тела — через влияние, который противопоставляется первому способу — через соприкосновение.

Далее дается определение и объяснение явления электризации через влияние на основе электронной теории. При этом нельзя говорить о движении положительных зарядов, а надо говорить только о движении электронов в Землю с проводника или о движении электронов из Земли на проводник.

Затем на этом уроке или на следующем преподаватель показывает, как зарядить электроскоп или другой любой проводник через влияние, и обучает учащихся определять знак заряда любого наэлектризованного тела.

Последним вопросом этого раздела поставлена тема «Молния — электрическая искра». Изучение темы помогает борьбе с предрассудками.

22. Электрический ток

1. Действия электрического тока. В электрифицированной школе учитель при прохождении названной

темы всегда может воспользоваться как переменным током, так и постоянным (выпрямленным). Число электрифицированных школ в нашей стране непрерывно растет, поэтому предлагаемая методика, построенная на большом числе опытов с током, может быть широко применена.

В электрифицированной местности учащиеся знают о существовании электрического тока и о том, что он передается с электростанции — места его получения — в разные места по проводам.

Эти сведения, имеющиеся у учащихся, преподаватель принимает за исходные и пользуется ими сразу, не стремясь дать им на первом уроке какое-либо строгое определение.

Темой урока, записываемой на доске, служат «Действия электрического тока». Целью урока является выяснение тех основных действий электрического тока, по проявлению которых можно будет в дальнейшем обнаруживать наличие тока в любой установке.

Преподаватель показывает свечение электрической лампы, накал электрической плитки, нагрев воды электрическим кипятильником и накаливает током длинную стальную или никелиновую проволоку, натянутую между стойками над демонстрационным столом.

Из показанных опытов и бытовых наблюдений учащиеся делают вывод, что электрический ток производит тепловое действие и записывают в свои тетради под названием темы: 1. Т е п л о в о е.

Меняя включение приборов в сеть, преподаватель показывает, что тепловое действие электрического тока не зависит от порядка присоединения проводов к источнику тока.

Далее преподаватель переходит к следующему ряду опытов. Обмотав изолированной проволокой в несколько рядов железный стержень или взяв технический электромагнит, преподаватель показывает, что после включения каждого из этих приборов в сеть они становятся способными притягивать железные предметы (гвозди и т. д.) подобно магниту¹. Затем он показывает движение молоточка электрического звонка при включении тока и движение якоря электрического двигателя.

С помощью преподавателя учащиеся устанавливают второе действие электрического тока и записывают в тетрадях: 2. М а г н и т н о е и связанное с ним механическое.

Изменяя присоединение приборов к сети, преподаватель показывает, что магнитное действие обнаруживается независимо от порядка присоединения проводов к источнику тока.

Наконец, преподаватель переходит к показу следующего действия электрического тока.

В стеклянную банку наливается раствор медного купороса; в этот раствор опускаются два угля, соединенные с проводами, идущими к источнику тока. До опускания углей в раствор они подробно рассматриваются учащимися.

¹ С магнитом учащиеся знакомы еще из уроков в начальной школе.

Пока идет через раствор ток, преподаватель показывает куски медного купороса, рассказывает о его составе и производит растворение небольшого количества медного купороса в теплой воде. Когда на угле получится значительный осадок меди, преподаватель выключает ток и показывает оба угля учащимся. Они отмечают, что произошло химическое действие — выделение меди из медного купороса, но это явление обнаружилось только на одном угле.

Записывается под номером третьим: 3. Х и м и ч е с к о е.

Затем исследуется вопрос, случайно или закономерно произошло выделение меди только на одном угле. Производится переключение проводов и показывается, что выделение меди опять происходит только на одном угле, но ином, чем в первом случае.

Отсюда делается вывод, что химическое действие в отличие от теплового связано с направлением, следовательно, и в электрическом токе надо различать какую-то направленность.

Урок заканчивается показом того, что все известные действия тока можно получить при помощи элементов и аккумуляторов, не пользуясь электрической сетью. Следовательно, эти приборы служат источниками электрического тока.

2. Х и м и ч е с к и е и с т о ч н и к и т о к а. Ц е п ь э л е к т р и ч е с к о г о т о к а. Второй урок, который здесь не будет подробно разбираться, посвящается качественному изучению химических источников тока.

Отмечу только, что преподаватель обращает внимание учащихся на расход химической энергии при работе химических источников тока. Так как электрический ток совершает механическую работу (притягивание гвоздей, движение молоточка звонка, электродвигатель) и производит теплоту, то, следовательно, можно говорить об энергии электрического тока. Энергия тока — это изменившая свою форму химическая энергия. Переход химической энергии источников тока в электрическую происходит по закону сохранения энергии.

Наконец, дается понятие о цепи электрического тока, о необходимых частях ее и об их условных обозначениях.

При этом следует сопоставить основные части электрической цепи с основными частями любой машинной установки: двигатель, передаточный аппарат, прибор для присоединения станка и самый станок, для работы которого предназначен двигатель. Остальные части темы, включая и лабораторную работу по сборке электрической цепи, не нуждаются в особых указаниях.

3. П р и р о д а т о к а, е г о н а п р а в л е н и е и в е л и ч и н а. Напомнив учащимся о существовании электронов и о наличии в металлах свободных электронов, преподаватель сообщает, что по данным современной науки электрический ток в металлах есть не что иное, как у п о р я д о ч е н н о е движение в них электронов. В жидких проводниках — в растворах кислот, щелочей, солей — электрический ток представляет собой направленное движение заряженных частиц растворенных веществ.

Природа тока не может быть непосредственно обнаружена на первых уроках по электричеству, но данные преподавателем сведения будут получать косвенное подтверждение на всем протяжении школьного курса физики.

Первоначально в сознании учащихся надо закрепить следующие два положения:

а) *Источник электрического тока ни в коем случае не является создателем электронов.* Его назначение — привести в движение электроны, существующие во всех составных частях цепи. Это движение требует затраты энергии, которая и получается или за счет механической энергии, потребляемой электрическими генераторами на электростанциях, или за счет химической энергии, расходуемой элементами.

Энергия, затрачиваемая на приведение электронов в движение, может быть использована в цепи на тепловое, химическое, магнитное и связанное с ним механическое действие тока.

б) При замыкании цепи электроны приходят в движение *о д н о в р е м е н н о*¹ во всех участках цепи. Учащиеся часто думают, что движение электронов от источника по разным участкам цепи происходит постепенно, подобно течению воды из крана по желобу.

Движение электронов по замкнутой цепи надо сравнить с движением воды по замкнутой сети водяного отопления. Здесь можно напомнить или вновь воспроизвести опыт с движением нагреваемой путем конвекции воды в действующей модели водяного отопления.

в) *Н а п р а в л е н и е э л е к т р и ч е с к о г о т о к а.* Вспоминая с учащимися односторонность проявления химического действия тока, отмечают, что эта односторонность наводит на мысль о каком-то направленном движении в цепи тока. Теперь эта особенность находит объяснение в движении электронов: всякое упорядоченное движение имеет направление. За действительное направление тока в цепи следовало бы принять направление движения электронов. Но так как постоянный ток стали получать почти за сто лет до того, как была разгадана природа тока, то направление тока было выбрано по другим признакам. Оно оказалось противоположным направлению движения электронов и называется техническим направлением тока, или, короче, просто направлением тока. Все законы электрического тока формулируются для технического направления тока.

Еще раз разъясняется, каково техническое направление тока во внешней части цепи и внутри источника и что принимается за положительный и отрицательный полюсы источника тока.

г) *К о л и ч е с т в о э л е к т р и ч е с т в а.* Если на первом уроке были поставлены опыты по химическому действию тока от сети (выпрямленного тока) и от химического источника тока, то

¹ Отличие в одну тысячную долю секунды получится в цепи длиной в 300 км.

учащиеся видели, что количества отложенной на электроде меди за одно и то же время в обоих случаях были различны. (Если опыты не были поставлены, то на этом уроке можно поставить опыты с различными источниками.)

Это различие в действии указывает на различие в количестве прошедших через поверхность электрода зарядов. Отсюда выясняется необходимость количественной оценки электрического тока. Для этой характеристики вводится новая величина, называемая «количеством электричества». Эта величина проще всего могла бы быть определена через количество прошедших электронов. Но так как электроны непосредственно невидимы и их счет практически невозможен, то количество электричества устанавливается по действиям тока. Учащиеся сами могут догадаться, по какому из действий тока проще всего установить единицу для измерения количества электричества. Преподаватель сообщает эту единицу — кулон — и предлагает учащимся ряд задач на вычисление количества электричества по количеству отложившегося на электроде металла, а также обратные задачи.

Нужно сообщить учащимся величину заряда одного электрона, наименьшего количества электричества, отдельно проявляющегося в различных электрических явлениях.

д) В е л и ч и н а т о к а. На следующем уроке на примерах тока воды в реке или тока газа в газопроводе выясняется, что знание только количества протекшей воды или газа еще не характеризует пропускной способности газопроводной сети, водопроводной сети или реки. Для сравнения различных потоков вводится особая величина, называемая «величиной тока», или просто «током» (силой тока). В реке она измеряется количеством протекшей за одну секунду воды в выбранном сечении реки; в электричестве эта величина определяет количество электричества, проходящего через поперечное сечение цепи в 1 секунду. Таким образом дается определение тока, устанавливается единица для его измерения — ампер. Затем предлагаются задачи на соотношение между током, количеством электричества и количеством вещества, выделенного при прохождении тока.

Можно привести величины токов, применяемых в быту, технике, медицине. При лечении больных постоянным током через органы человека пропускается ток от 0,010 а до 0,015 а; через газополную электрическую лампу мощностью в 50 вт в московской сети проходит ток около 0,4 а; на электролитическом заводе для получения чистой меди через электролит пропускается ток около 160 а; в молнии величина тока доходит до 20 000 а.

4. А м п е р м е т р. Вслед за уроком, посвященным расчетам величины тока, проходящего через электрические приборы, проводится урок на тему: амперметр — прибор для измерения тока. Задачей урока является описание и показ устройства прибора без обоснования этого устройства, указание способа его градуировки и включения в цепь для измерения тока.

На этом же уроке надо дать понятие о последовательном соединении частей цепи и на примерах показать, как следует собирать неразветвленные цепи.

Закрепление навыков у учащихся в составлении неразветвленной цепи и в измерении тока в ней амперметром осуществляется обязательно во фронтальной лабораторной работе, которая должна быть поставлена на следующем уроке, но введение к которой может быть сделано и на настоящем уроке.

Чтобы вызвать у учащихся больший интерес к этой работе, можно поставить перед ними, кроме чисто технической задачи составления цепи, еще и задачу до некоторой степени исследовательского характера, а именно: одинаков ли ток во всех сечениях цепи?

Из результатов лабораторной работы учащиеся должны вынести ясное представление, что ток во всех сечениях неразветвленной цепи одинаков. Знание этого факта важно потому, что учащиеся иногда бывают склонны думать, что ток до лампочки или до другого прибора больше, чем после них, как будто бы тот или другой прибор задерживает в себе или поглощает часть проходящего через него количества электричества. Чтобы облегчить учащимся овладение понятием «величина тока», или просто «ток», следует сравнить электрический ток с потоком воды или газа по неразветвленной части сети, который везде одинаков, независимо от формы и размера труб.

23. Напряжение в цепи электрического тока

1. Введение понятия о напряжении в цепи электрического тока представляет на первой ступени изучения физики большую трудность. Так как на этой ступени учению о токе не предшествует учение об электрическом поле и о потенциале как об энергетической характеристике любой точки поля, то, естественно, напряжение не может быть определено как разность потенциалов.

Современные советские методики вводят понятие о напряжении на основе энергетических представлений.

2. Обоснование понятия о напряжении. Для подведения учащихся к понятию о напряжении на участке цепи преподаватель напоминает им путем беглого опроса, что на первом уроке было выявлено свойство электрического тока производить механическое и тепловое действия. Так как теплота и работа являются формами преобразования энергии, то было установлено, что электрический ток обладает энергией.

Составив цепь из последовательно соединенных приборов: источника тока, электрической лампы или электрического нагревательного прибора, амперметра, выключателя и соединительных проводов, — преподаватель останавливает внимание учащихся на двух обстоятельствах: во-первых, учащиеся путем самостоятель-

ных измерений узнали, что ток во всех участках (сечениях) неразветвленной цепи один и тот же; во-вторых, они видят, что преобразование электрической энергии в форме теплоты на разных участках цепи различно: в то время как волосок лампы или спираль электрической плитки выделившей теплотой доведены до накала, соединительные провода, выключатель остаются холодными.

Следовательно, при одном и том же токе во всех участках цепи распределение энергии тока по ним неодинаково.

Таким образом, одной первой характеристики — величины тока — недостаточно для полного описания явлений, происходящих в цепи тока.

Для полноты характеристики надо ввести вторую величину, связанную с распределением энергии. Но если одну и ту же цепь

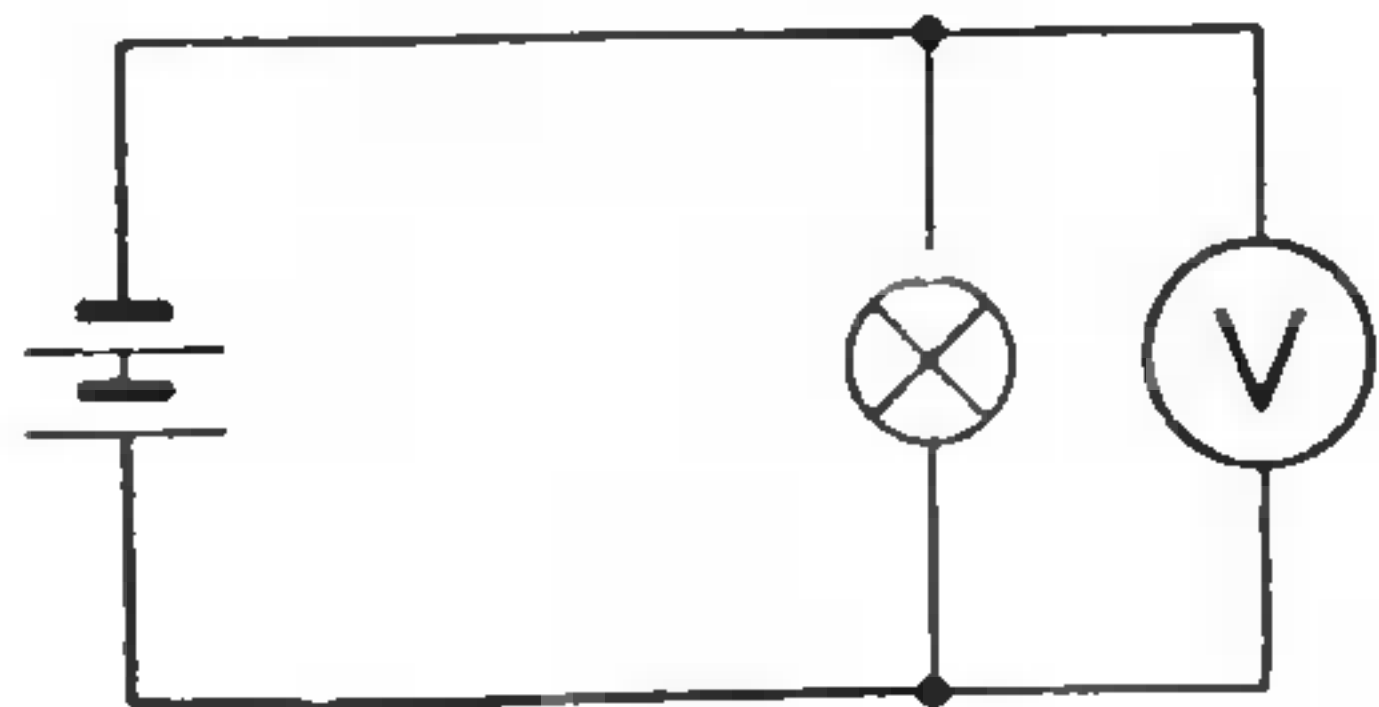


Рис. 14

присоединять к разным источникам тока (показать на опыте), то в каждом из этих случаев по цепи будут проходить за одно и то же время разные количества электричества (разное число кулонов) и будут выделяться разные количества энергии. Для удобства сравнения электрических явлений в таких случаях рассматривается не все количество энергии, приходящееся на участок

цепи, а величина, измеряемая энергией, выделяющейся на данном участке при прохождении каждого кулона электричества. Такая величина получила название: **напряжения** на данном участке цепи тока.

Так как каждый проходящий по цепи кулон электричества получает свою энергию от источника, то можно сказать, что напряжение на участке цепи показывает, какая величина энергии источника затрачивается на прохождение по этому участку каждого кулона электричества. После этого объяснения можно привести аналогию с работой падающей с высоты воды.

3. Единица напряжения. Для новой величины — напряжения — устанавливается ее единица. Называется единица — **вольт** (обозначается V или v).

Надо разъяснить учащимся выражения: лампочка на 12 вольт, штепсельная розетка на 120 вольт и т. п.

Учащиеся должны понимать эти выражения следующим образом. В лампочке при прохождении кулона электричества выделяется 12 джоулей энергии. Если к штепсельной розетке присоединить цепь тока, то в цепи при прохождении каждого кулона можно получить 120 джоулей энергии.

4. Вольтметр. На следующем уроке преподаватель дает описание (без объяснения принципа его действия) прибора для измерения напряжения, указывает способ его подключения к цепи и производит измерение напряжения на различных участках цепи, смонтированной высоко над демонстрационным столом (рис. 14).

Запись измеренных напряжений на классной доске он располагает так, чтобы затем можно было бы легко показать, что при последовательном соединении проводников напряжение на любом участке равно сумме напряжений на его последовательных частях.

На этой же установке преподаватель показывает неудобство последовательного включения приборов в цепь, так как выключение одного прибора прекращает ток во всей цепи. Показывается способ устранения этого неудобства (по схеме рисунка 15). Рекомендуется провода разных ветвей окрасить каждый особой краской и каждую ветвь поместить на разных высотах.

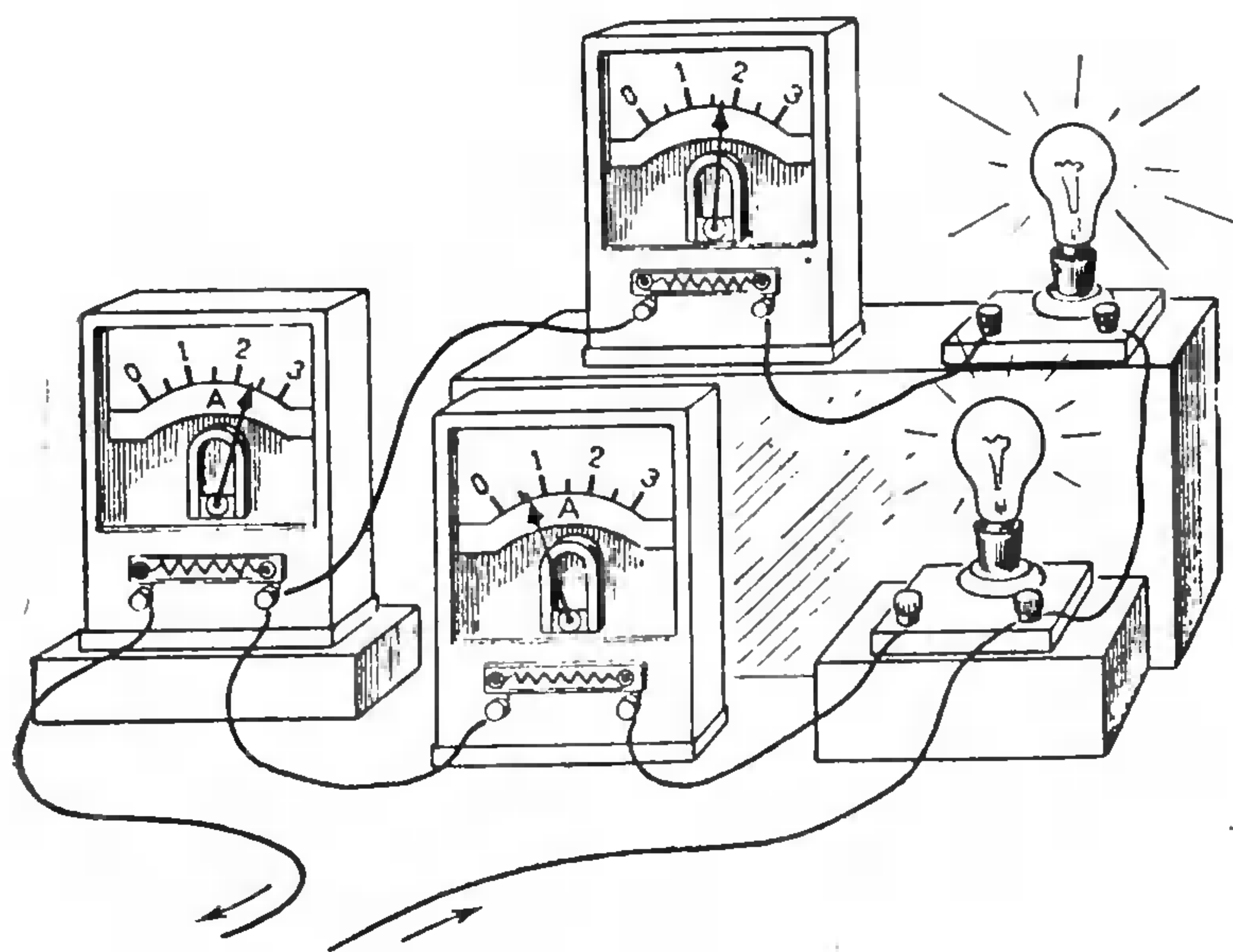


Рис. 15

На установке показывается: 1. Возможность выключения тока в одной ветви без прекращения его в других ветвях; 2. Одинаковость напряжения на каждой ветви; 3. Равенство тока до разветвления и после разветвления сумме токов в отдельных ветвях.

Преподаватель рассказывает, где в технике может применяться последовательное соединение приборов и где параллельное. Для закрепления навыка в применении вольтметра преподаватель ставит фронтальную лабораторную работу по измерению напряжения на различных участках неразветвленной цепи, на которой учащиеся проверяют также закон суммы напряжений. Работа проводится по описанию, данному в учебнике или в руководстве под ред. А. А. Покровского (Фрон. л. з., стр. 136).

В течение уроков, посвященных изучению напряжения, преподаватель приводит примеры применения различных напряжений. Эти примеры можно сопровождать измерением напряжения на полюсах элементов, аккумуляторов и в сети.

Примеры напряжений.

Напряжение на полюсах незамкнутого элемента Вольта	1 •
Напряжение на полюсах щелочного аккумулятора	1,3 •
Напряжение на полюсах сухого элемента	1,5 •
Напряжение на полюсах кислотного аккумулятора	2,0 •
Напряжение в сети электрического освещения во многих городах	220 •
Напряжение в повышающем трансформаторе Днепрогэса	165 000 •
Напряжение в последовательных понижающих трансформаторах Ленинграда	35 000 в, 6 500 в, 3 300 •
Напряжение на некоторых трансформаторах научных энергетических институтов	свыше 1 000 000 •

24. Сопротивление проводников

1. Вслед за введением понятия о напряжении обосновывается введение понятия о сопротивлении.

Как всегда, необходимость введения нового понятия надо обосновать на опыте. Преподаватель составляет два раза цепь с одним и тем же источником тока и амперметром, но проводники берет каждый раз разные. В обоих случаях амперметр дает различные показания. Из этого факта учащиеся могут сделать заключение, что проводники отличаются друг от друга каким-то качеством, вследствие которого по ним проходят разные токи при прочих одинаковых условиях. Это особое качество получило название «сопротивление».

2. Из м е р е н и е с о п р о т и в л е н и я. Введение новой величины выдвигает вопрос об ее измерении. Всякое измерение есть сравнение с однородной величиной, принимаемой за меру, или единицу, измерения.

Предварительно возникает вопрос, какие сопротивления считать равными? Ответ дается в виде определения: сопротивления считаются равными, если при замене одного из них другим в одной и той же цепи величина тока остается без изменения. По этому признаку показываются на опыте различные проводники с одинаковыми сопротивлениями. Далее, преподаватель сообщает международное определение единицы сопротивления — ома — и рассказывает, как можно путем замещения изготовить из проволоки образец, или «эталон», ома. Изготовив много проводников с сопротивлением в 1 ом и включив их в цепь, можно путем замещения одного или нескольких таких проводников подобрать проводник с сопротивлением в 2 ома, в 3 ома и т. д. или в $\frac{1}{2}$ ома, $\frac{1}{4}$ ома и т. п. Каждый такой проводник наматывается на катушку. Набор подобных катушек, составленный определенным образом, называется магазином сопротивлений. Располагая таким магазином, можно путем замещения измерить сопротивление любого проводника с той степенью точности, каков наименьший эталон в магазине. Следует произвести подобное измерение перед учениками, заранее подготовив такие сопротивления, которые могли бы быть замещены сопротивлениями из магазина.

На следующем уроке преподаватель показывает реостаты — рычажный и со скользящим контактом, объясняет их устройство и способ пользования ими.

На протяжении уроков, посвященных учению о сопротивлении проводников, преподаватель приводит примеры величин сопротивления веществ, применяемых в технике.

Сопротивление 1 м стального рельса сечением в 30 см ²	0,0005 ома
Сопротивление 1 м верхнего провода трамвайной линии сечением в 120 мм ²	0,00086 ома
Сопротивление волоска газополной лампочки в 50 вт в холодном состоянии	около 240 омов
Сопротивление человеческого тела (сильно изменяющаяся величина в зависимости от состояния)	около 3000 омов

25. Закон Ома

После того как установлены понятия о токе, о напряжении на участке цепи при прохождении по нему тока и о сопротивлении любого участка цепи, преподаватель подводит учащихся к изучению основного закона для цепи электрического тока — закона Ома.

Вывод закона Ома дается только для участка цепи и должен быть проведен экспериментально, лучше всего на фронтальной лабораторной работе, при отсутствии же необходимого оборудования — на демонстрации.

Повторив с учащимися физический смысл и определения вышеперечисленных величин, преподаватель ставит перед ними вопрос (проблему): существует ли между названными величинами в цепи тока какая-либо зависимость? (или они существуют независимо друг от друга?) Поставленный вопрос является темой урока.

Для экспериментального ответа на него преподаватель берет один-два проводника с известным для учащихся сопротивлением. Если сопротивления их неизвестны, то они измеряются путем замещения.

Затем составляется для каждого проводника цепь: источник тока, выключатель, амперметр, выбранный проводник, вольтметр, включенный параллельно проводнику, реостат. Замыкается цепь тока, и показания приборов заносятся в таблицу:

$R = \dots \text{ом}$

Измерение	Ток I	Напряжение U	Отношение $\frac{U}{I}$
1			
2			
3			

При помощи реостата меняется несколько раз ток. Заменив первый проводник вторым и третьим, с каждым из них повторяют измерения.

Чтобы ответить на вопрос, существует ли зависимость между двумя величинами, надо производить сравнение между их числовыми значениями. Математика учит, что сравнение чисел можно производить путем нахождения их кратного отношения; поэтому в последний столбец таблицы и заносится отношение $\frac{U}{I}$. Подобные же таблицы заполняются и для других проводников. Анализ полученных данных показывает, что для каждого проводника проходящий по нему ток и напряжение на нем могут меняться так, что отношение напряжения к току остается постоянным (при неизменной температуре).

Наконец, сравнивая отношение числового значения напряжения в вольтах к числовому значению тока в амперах, показывают, что это отношение равно числовому значению **с о п р о т и в л е н и я** участка цепи в омах.

Найденное из опыта равенство и выражает закон, открытый Омом.

Из первого равенства $\frac{U}{I} = R$ могут быть выведены производные равенства $U = IR$ и $I = \frac{U}{R}$. Каждое из них может быть принято за выражение закона Ома, предпочтительнее последнее соотношение.

Первое соотношение показывает, что в какие бы цепи токов ни был включаем данный проводник, напряжение на нем и проходящий по нему ток могут изменяться только таким образом, что отношение их для данного проводника остается постоянным при неизменной температуре.

Надо предвидеть и предупреждать обычную ошибку учащихся, которые первое соотношение понимают так, как будто бы сопротивление проводника прямо пропорционально напряжению и обратно пропорционально току. Надо внушить учащимся, что сопротивление проводника является совершенно определенной характеристикой его, неизменной при постоянной температуре и не зависящей ни от проходящего по нему тока, ни от напряжения. Оно зависит только от материала, длины, сечения проводника и не может зависеть от того, проходит ли по проводнику ток или нет.

Опираясь на соотношение $R = \frac{U}{I}$, можно объяснить выбор международной единицы сопротивления, именно сопротивление ртутного столба длиной в 106,3 см при сечении в 1 мм² и 0°. Только такой выбор единицы соответствует сопротивлению проводника, по которому проходит ток в 1 а при напряжении в 1 в, т. е. при расходе энергии на прохождение каждого кулона в 1 дж.

Последняя формула $I = \frac{U}{R}$ показывает, что если составлять цепи из различных проводников (R — меняется), то в случае, если поддерживается одинаковое напряжение на них, ток будет обратно пропорционален сопротивлению, т. е. по тому проводнику пройдет

при одинаковом напряжении наибольший ток, сопротивление которого будет наименьшим.

Закон Ома является экспериментально обоснованным, значит, он действительно выражает объективно существующую в природе зависимость; тем не менее учащиеся должны не только признать его, но и понять.

Цепь может состоять из проводников различных сопротивлений. Но ток через все проводники идет один и тот же. Значит, при последовательном соединении проводников общее напряжение цепи распределяется по отдельным участкам цепи пропорционально сопротивлению ($U=IR$). Напряжение измеряется работой, затрачиваемой источником тока на продвижение по данному участку цепи каждого кулона. Чем больше сопротивление участка цепи, тем больше должна быть и работа на продвижение одного кулона.

После вывода и разъяснения закона Ома преподавателю следует еще раз провести демонстрацию измерения напряжения на различных участках цепи тока.

С этой целью составляется цепь из последовательно включенных источника тока, вспомогательных проводов, замыкателя, амперметра, реостата, лампочки, электрического звонка и др. Ток во всех участках цепи одинаков. Следует присоединять цепь к различным источникам тока, чтобы выяснить значение источника для величины напряжения в цепи.

Присоединяя вольтметр параллельно к различным участкам, измеряют напряжение на каждом из них и объясняют различие показаний.

Надо поставить лабораторную работу по измерению сопротивления с помощью амперметра и вольтметра.

В дальнейшем надо уделить несколько уроков для упражнения учащихся в навыках расчетов величин, входящих в закон Ома.

26. Энергия и мощность тока

1. С о д е р ж а н и е и з н а ч е н и е р а з д е л а. Названный раздел программы распадается на две главные темы. Первая — энергия и мощность тока. Вторая — возникновение теплоты при изменении электрической энергии. Последняя тема содержит две подтемы: а) тепловое действие тока (электронагревательные приборы), б) электрическое освещение.

Как видно из перечисленных вопросов, их изучение раскрывает научные основы одной из обширнейших областей применения электричества в современной технике. Поэтому эта часть курса получает очень важное значение в осуществлении политехнического обучения.

2. И з м е р е н и е э н е р г и и э л е к т р и ч е с к о г о т о к а. Для научных и технических целей является чрезвычайно важным умение измерять затрату энергии в цепи при помощи тех величин, которые измеряются электрическими приборами — ампер-

метрами и вольтметрами, т. е. выразить расход энергии через напряжение и ток.

Величину затраченной энергии можно найти при помощи тех сведений, которые уже имеются у учащихся. Учащиеся уже знают, что напряжение измеряется энергией, затрачиваемой источником тока на продвижение по цепи каждого кулона электричества. Напряжение в 1 в измеряет затрату энергии в 1 дж на каждый кулон. Число кулонов, прошедших по цепи, равно току I , умноженному на время прохождения тока t . Преподаватель ставит сначала задачу рассчитать затрату энергии за 1 час свечения электрической лампы, потребляющей 0,4 а при напряжении в 120 в. За час по цепи пройдет количество электричества, равное $0,4 \frac{\kappa}{\text{сек}} \cdot 3600 \text{ сек} = 1440 \kappa$. На продвижение по волоску лампы 1440 кулонов потребуются работа в 1440 раз большая, чем на продвижение 1 кулона. Следовательно, искомая работа будет равна $120 \cdot 1440$ джоулей.

После нескольких арифметических расчетов преподаватель путем такого же рассуждения выводит общее выражение для энергии электрического тока, преобразуемой на участке цепи за время t секунд: $W = UIt$ (джоулей).

Используя установку для изучения закона Джоуля — Ленца (рис. 112, учебник часть II) учащиеся во время лабораторной работы измеряют напряжение U по вольтметру, ток I — по амперметру, время t и калориметрическим приемом количество теплоты Q , полученное в калориметре за время t сек. прохождения тока по спирали, находящейся в жидкости калориметра. Делением Q на $0,24 \frac{\text{кал}}{\text{дж}}$ (см. § 76) они переводят величину энергии из тепловых единиц в механические. Затем вычисляют произведение $UIt = W$ и сравнивают с выше полученным выражением для $A = \frac{Q}{0,24}$.

Погрешность $\frac{W-A}{A}$ объясняется неточностью в отсчетах по приборам.

3. М о щ н о с т ь т о к а. На следующем уроке дается выражение для мощности тока на основании введенного ранее понятия о мощности как о такой величине, которая измеряется работой, совершаемой в 1 секунду.

Вводится единица мощности: $\frac{\text{джоуль}}{\text{секунда}}$, называемая в а т т. После ряда арифметических расчетов выводится выражение мощности: $N = \frac{W}{t}$; $N = \frac{IUt}{t}$; $N = UI$ ватт. Приводится словесное определение мощности.

4. Е д и н и ц ы м о щ н о с т и и э н е р г и и. На том же уроке преподаватель вводит единицу мощности — киловатт и единицы энергии — ватт-час, киловатт-час. Затем решает с учащимися ряд задач на вычисление энергии электрического тока. Эти упражнения в

расчетах продолжают на следующем уроке, на котором проводится лабораторная работа по определению мощности электрической лампы, и на уроке, на котором преподаватель показывает счетчик электрической энергии и объясняет, как следует производить по нему отсчеты.

27. Тепловое действие тока

1. **З а к о н Д ж о у л я — Л е н ц а.** Выделение теплоты в проводнике при прохождении электрического тока должно быть показано на опытах. Чтобы показать зависимость количества теплоты, выделяемой в цепи, от величины проходящего по цепи тока, включают в осветительную электрическую сеть длинную железную проволоку, укрепленную над демонстрационным столом на двух высоких штативах. Проволока соединена последовательно с реостатом и замыкателем. Замкнув ток, постепенно уменьшают сопротивление в реостате, увеличивая тем самым ток в цепи. Соответственно увеличению тока происходит усиление накала проволоки, что может привести к ее перегоранию. Учащиеся отчетливо видят, что количество выделяемой теплоты увеличивается с увеличением тока, хотя и не могут заключить о пропорциональности количеств теплоты квадрату тока. Чтобы показать зависимость количества выделяющейся теплоты от сопротивления проводника, заменяют железный провод предыдущего опыта несколькими последовательно соединенными одинаковыми по длине и сечению проволоками из двух веществ, резко отличающихся друг от друга сопротивлением. Разнородные проводники из железа и меди следуют в цепи поочередно друг за другом. Ученикам известно, что удельное сопротивление железа и меди заметно различается. Когда по такой цепи пропускается ток, железные участки могут быть доведены до каления, тогда как медные остаются темными. Учащиеся легко могут сделать качественный вывод из опыта.

2. **Э л е к т р о н а г р е в а т е л ь н ы е и о с в е т и т е л ь н ы е п р и б о р ы.** Методика изложения этого раздела не нуждается в особых указаниях.

Из приборов обычно показывается электроплитка, электрический утюг, отдельно нагревательный элемент утюга, электрический паяльник, комнатный отражательный нагреватель, а также различные образцы ламп накаливания и дуга Петрова. Следует собрать в витрине отдельные составные части ламп, розеток, штепселей и выключателей. Рядом следует дать схемы осветительной сети. На отдельном опыте надо показать значение плавкого предохранителя.

3. **З н а ч е н и е р а б о т р у с с к и х и с о в е т с к и х у ч е н ы х в р а з в и т и и э л е к т р о т е х н и к и.** В развитии тепловой и осветительной области электротехники приняли участие очень многие русские ученые: Петров, Ленц, Яблочков, Ладыгин, Славянов, Бенардос и др. На классных уроках не хватит времени для рассказа об их деятельности. Поэтому более полно о ра-

ботах русских ученых-электриков учащиеся могут узнать на внеклассных занятиях, на которых сами учащиеся сделают доклады и поставят опыты, включая и демонстрацию электросварки. Материал для докладов можно найти в следующих книгах:

1. Люди русской науки. Государственное издательство технико-теоретической литературы. М.—Л., 1948, ч. I, II.
2. В. В. Д а н и л е в с к и й, Русская техника, изд. 2, Ленинградское газетно-журнальное и книжное издательство, 1948.
3. М. А. Ш а т е л е н, Русские электротехники второй половины XIX века, Госэнергоиздат, М.—Л., 1950.
4. В. Н. Б о л х о в и т и н о в и Г. Н. О с т р о в с к и й, Творцы электротехники. Беседы на научные темы, Воронежское издательство, 1948.
5. Н. А. К а п ц о в, Павел Николаевич Яблочков, Гостехиздат, М.—Л., 1957.
6. И. И. Р у д о м е т о в, Русские электротехники, М.—Л., Госэнергоиздат, 1947, 127 стр. с рисунками и портретами.
7. Л. А. Т у м е р м а н, Свет и его источники, Детгиз, М.—Л., 1947.
8. С. М е й з е л ь, проф., Новые источники света, Воениздат, М., 1948.

28. Электромагнитные явления

С о д е р ж а н и е р а з д е л а. Последний раздел программы по электричеству в VII классе посвящен электромагнитным явлениям. Он объединяет несколько крупных тем, в которых раскрывается также техническое использование установленных закономерностей.

Основными темами раздела являются следующие.

1. Магниты. Магнитное поле магнита.
2. Магнитное поле тока.
3. Движение проводника с током в магнитном поле.
4. Электромагнитная индукция.
5. Трансформация тока.
6. Электрификация СССР.

Перечисленные названия тем указывают на чрезвычайно большое познавательное значение раздела. Здесь закладывается первоначальное понятие о магнитном поле, и учащиеся познают, что существование магнитного поля неразрывно связано с электрическим током.

Но понятие о поле только закладывается, оно не оформляется полностью, так как для такого оформления еще недостаточно у учащихся научных знаний и уровня развития. Определения понятия «магнитное поле» не дается, ограничиваются описанием свойств поля.

В этом разделе учащиеся снова встречаются с преобразованием одного вида энергии в другой и таким образом расширяют свое понимание всеобъемлющего закона природы — превращения и сохранения энергии.

Здесь же учащиеся изучают электромагнитную индукцию — явление, которое лежит в основе почти всей современной электротехники.

Помимо научных принципов электротехники, в раздел включено изучение их технических применений, таких, как электромагнит, телеграф, телефон, генератор, электродвигатель, трансформатор, и, наконец, рассматривается объединяющая все эти части проблема электрификации СССР.

В этом разделе теснее, чем в других, познавательное значение изучаемого материала сочетается с политехническим.

Ввиду того что в разработке основ электротехники приняли участие многие русские ученые, тема приобретает большое воспитательное значение.

В дальнейшем изложении значительно больше внимания будет уделено вопросам введения новых физических понятий и закономерностей, чем вопросам их открытия и использования.

2. М а г н и т н ы е д е й с т в и я э л е к т р и ч е с к о г о т о к а. Переходя к этой обширной теме, преподаватель на первом уроке знакомит учащихся с некоторыми магнитными свойствами электрического тока (тема урока имеет аналогичное название).

Магнитные свойства электрического тока разнообразны и многочисленны. Ознакомление с ними можно вести в следующем порядке.

а) П р и т я ж е н и е ж е л е з н ы х п р е д м е т о в к а т у ш к о й с т о к о м. Преподаватель изготавливает низкую цилиндрическую катушку из медной изолированной проволоки и включает ее в цепь, составленную из источника тока, выключателя, амперметра и реостата. Затем преподаватель помещает на высокой подставке кучу небольших железных гвоздей или других предметов из железа, стали и чугуна. Поднося катушку к куче до включения тока, преподаватель не обнаруживает никакого действия катушки на кучу. Замкнув цепь тока, он показывает притяжение к катушке железных, стальных и чугунных предметов.

Притяжение витками проволоки, по которым проходит электрический ток, железных предметов и веществ, содержащих железо (сталь, чугун), получило название м а г н и т н о г о действия тока. Второй опыт должен ответить на вопрос: на какие еще вещества оказывает магнитное действие электрический ток? Заготовив куски разных веществ: меди, цинка, олова, свинца, дерева, пробки, стекла, пластмассы, парафина и других, — преподаватель повторяет предыдущие опыты и показывает, что другие вещества, кроме железа и некоторых сплавов, электрическим током не притягиваются.

б) П р и т я г а т е л ь н а я с и л а к а т у ш к и с т о к о м з а в и с и т о т в е л и ч и н ы т о к а. Изменяя реостатом проходящий по цепи ток, преподаватель показывает увеличение притягательной силы катушки по мере увеличения тока.

в) В р е м е н н о е н а м а г н и ч и в а н и е м я г к о г о ж е л е з а. Преподаватель подносит к куче железных предметов стержень из чистого железа и не обнаруживает никакого притяжения; подносит катушку, по которой проходит ток, — обнаруживает слабое притяжение; вставляет железный стержень в катушку с током и подносит к куче — притягательная сила значительно увеличи-

вается; выключает ток — притяжение железных предметов прекращается, они отпадают от стержня.

Преподаватель делает выводы: а) железо внутри обмотки, обтекаемой током, значительно увеличивает магнитное действие обмотки с током; б) по прекращении тока магнитное свойство, или магнетизм, чистого железа исчезает; в) прибор, состоящий из стержня чистого железа — сердечника — и обмотки, по которой можно пропускать ток, называется электромагнитом; г) электромагнит позволяет практически использовать магнитное действие электрического тока.

г) **П о с т о я н н о е н а м а г н и ч и в а н и е с т а л и .** Взяв стальной стержень и повторив над ним те же действия, которые бы-

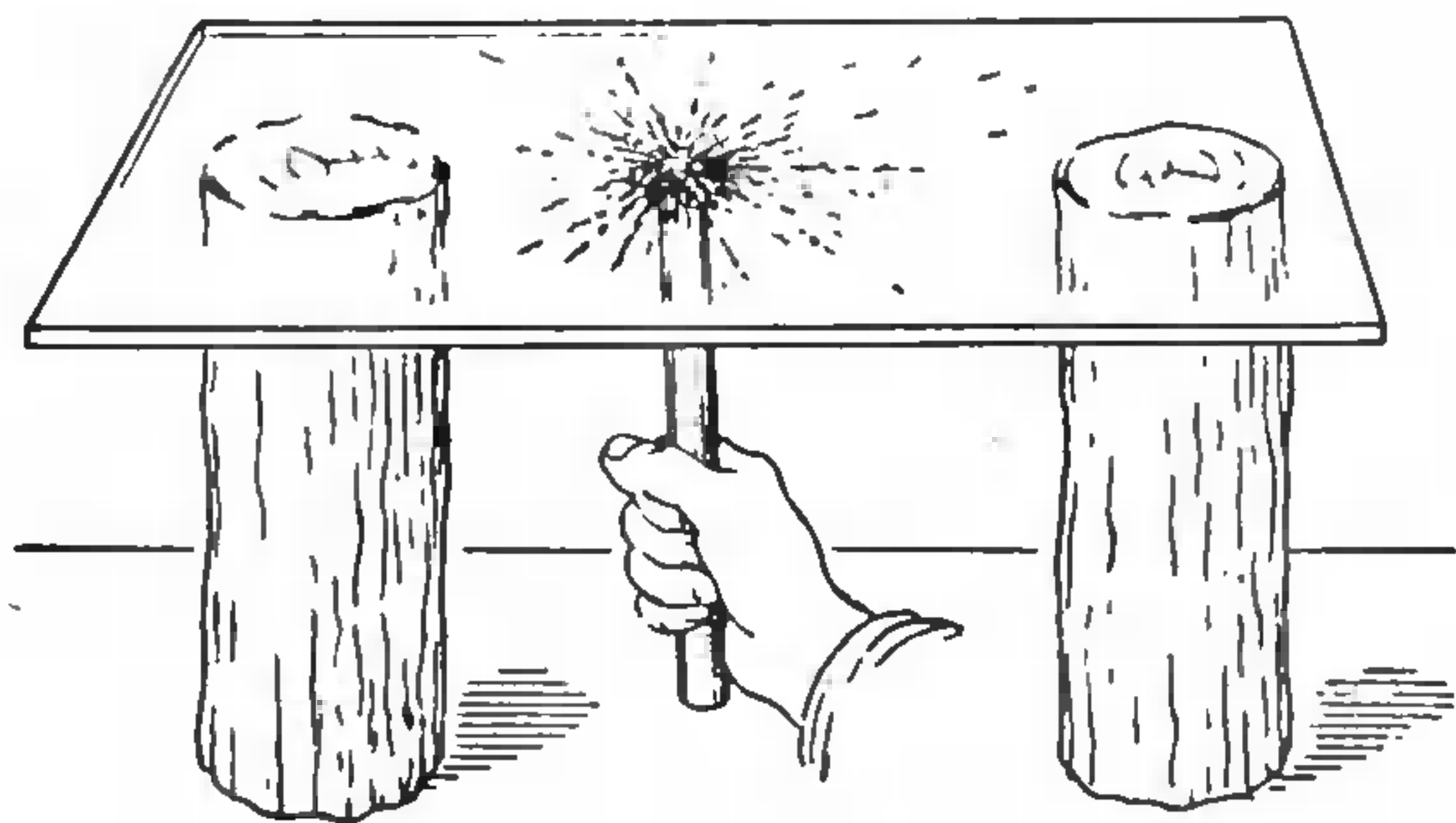


Рис. 16

ли выполнены в предыдущем опыте над стержнем из чистого железа, преподаватель показывает, что сталь, вынутая из катушки с током, сохраняет намагничивание. Преподаватель поясняет, что таким образом получают в технике постоянные магниты. Затем он показывает основные формы постоянных магнитов: полосовую и подковообразную.

д) **М а г н и т н о е д е й с т в и е п е р е д а е т с я ч е р е з т е в е щ е с т в а , к о т о р ы е с а м и н е п р и т я г и в а ю т с я к м а г н и т у .** Преподаватель prepares a row of plates: cardboard, wooden, copper, glass, plastic, paraffin, iron and others. Fixing each of them horizontally, the teacher places on them light iron objects (iron filings) and, moving under them a strong permanent magnet or electromagnet (рис. 16), shows that iron objects will move following the magnet on all plates, except iron.

В заключение урока вводится в предварительном виде понятие о **м а г н и т н о м п о л е т о к а**. Существование описанных магнитных действий тока может быть объяснено тем, что вокруг тока существует магнитное поле; существование магнитного поля — постоянное свойство тока; ток и его магнитное поле — неразделимые природные явления.

29. Постоянные магниты

1. **О б щ е е з а м е ч а н и е .** Следующие три-четыре урока проводятся на общую тему: «Основные свойства постоянных магнитов». Предварительно можно рассказать о существовании естественных магнитов; показать их образцы, перечислить места наи-

более богатых месторождений магнитных руд в Советском Союзе и в других местах Земли.

Тема о постоянных магнитах может быть изучена путем эвристически проводимой беседы с демонстрациями преподавателя. Демонстрации могут быть заменены короткими лабораторными работами учащихся или соединены с ними. В процессе беседы преподаватель ставит задачу исследования; учащиеся в течение нескольких минут производят качественное ее исследование; затем они совместно с преподавателем делают вывод и переходят к следующему вопросу.

В этой теме мы имеем один из редких случаев сочетания беседы с рядом лабораторных работ в течение одного урока.

2. П о л ю с ы и н е й т р а л ь н а я л и н и я м а г н и т а. Преподаватель формулирует первый вопрос: все ли своими частями постоянный магнит одинаково притягивает?

Каждая группа учащихся получает намагниченную стальную спицу, листок картона и опилки. Опуская спицу в опилки и вынимая ее, учащиеся находят ответ на поставленный вопрос. Преподаватель повторяет тот же опыт в большом масштабе с прямым магнитом и мелкими гвоздями и устанавливает понятие о полюсах и о нейтральной зоне.

Одинаковы ли свойства обоих полюсов одного и того же магнита? Берутся два одинаковых по размеру полосовых магнита; показывается, что тот и другой магнит притягивает каждым из своих полюсов мелкие гвозди. Если оба магнита приложить друг к другу, сблизив по очереди различными полюсами, то в одном случае притяжение усиливается, в другом — ослабляется. Из опыта делается вывод, что оба полюса магнита разнородны по своим качествам.

3. Н а п р а в л е н и е с в о б о д н о п о д в е ш е н н о г о м а г н и т а. Демонстрируется опыт: прямой магнит своей серединой опирается на медное стремечко, которое на нити подвешивается к деревянному штативу. Как ни перемещать магнит, он после нескольких колебаний приходит в одно и то же определенное положение относительно стран света. Дается понятие о магнитной стрелке; она демонстрируется, и с ней повторяется тот же опыт. После опыта и на основании его устанавливаются названия полюсов. Дается понятие о причине ориентации магнита в пространстве.

4. К о м п а с. Урок заканчивается объяснением устройства компаса, способа пользования им и решением в классе нескольких задач на отыскание по компасу определенного направления.

Второй урок посвящается двум темам: 1) Взаимодействие полюсов. 2) Строение магнита¹.

5. В з а и м о д е й с т в и е п о л ю с о в. Группы учащихся получают по магнитной стрелке и по магнитной спице, на которой полюсы заранее определены.

Преподаватель предлагает учащимся исследовать, как взаимодействуют два северных полюса, два южных, каждый северный с

¹ Последняя подтема по программе не обязательна.

южным (спица подносится ее полюсами к полюсам магнитной стрелки). Воспроизведя тот же опыт на демонстрационном столе, преподаватель предлагает учащимся сделать вывод о взаимодействии магнитных полюсов.

6. **Строение магнита.** Затем предлагается учащимся исследовать, нельзя ли разломом по нейтральной линии получить магнит с одним полюсом. Учащиеся ломают намагниченную спицу на половины, на четверти и т. д.; каждый раз они исследуют свойства концов по их действию на магнитную стрелку, определяют наименование полюсов, записывают результаты опыта.

Преподаватель показывает опыты противоположного характера: составление одного полосового магнита с полюсами на концах из нескольких малых прямых магнитов (см. рис. 17, где полосовой магнит составлен из трех магнитов) и намагничивание столбика железных опилок, плотно насыпанных в закупоренную пробирку.



Рис. 17

Затем в элементарной форме дает понятие о строении магнита.

На третьем уроке (или, может быть, в конце второго) устанавливается понятие о магнитном поле магнита, о силовых линиях поля и показывается на опыте изображение силовых линий.

Для того чтобы получить представление о силовой линии как о линии, по которой двигался бы свободный полюс (с ничтожной инерцией и без начальной скорости), ставится следующий опыт.

В стеклянный сосуд кладется на дно магнит; затем в сосуд наливается слой воды, едва покрывающий магнит. На воду пускается пробка, через которую вертикально пропущена намагниченная игла северным полюсом вниз. Верхний конец ее отмечен цветным флажком. Направление движения полюса показывает направление силовой линии.

Надо подчеркнуть учащимся, что вычерченные линии являются только графическим изображением действия поля, но не существуют в действительности.

7. **Магнитная индукция¹.** Для объяснения магнитной индукции берут стержень из мягкого железа и показывают, что он не намагничен. Затем укрепляют его вертикально в деревянном штативе и сверху подносят к нему сильный магнит. Приближая к нижнему концу железного стержня мелкие гвозди или опилки, показывают, что в присутствии постоянного магнита стержень сам стал магнитом. При удалении влияющего магнита стержень перестает притягивать. Образующиеся на стержне полюсы при различных положениях влияющего магнита определяют при помощи магнитной стрелки. Устанавливается понятие о магнитной индукции и о расположении индуктированных полюсов. Сопоставля-

¹ Подтема по программе не обязательна.

ются между собой индукции в мягком железе и в стали. Предлагается ряд вопросов на соображение.

Например: как объяснить, что мелкие железные и стальные предметы притягиваются к полюсу приближаемого магнита еще на расстоянии, до прикосновения? Какое произойдет явление, если к любому полюсу магнитной стрелки приблизить кусок железа? Можно ли сделать заключение, намагничен кусок стали или нет, если при приближении к полюсу магнитной стрелки он притягивает его или отталкивает его? Как при помощи магнитной стрелки узнать, намагничен стальной стержень или нет? Как без всякого приспособления узнать, какой из двух одинаковых стальных стержней намагничен?

30. Свойства магнитного поля электрического тока

1. Общие замечания. После уроков, посвященных изложению основных свойств постоянных магнитов, преподаватель возвращается к общей теме раздела — «Магнитные действия электрического тока» и переходит к изучению следующей подтемы «Свойства магнитного поля тока».

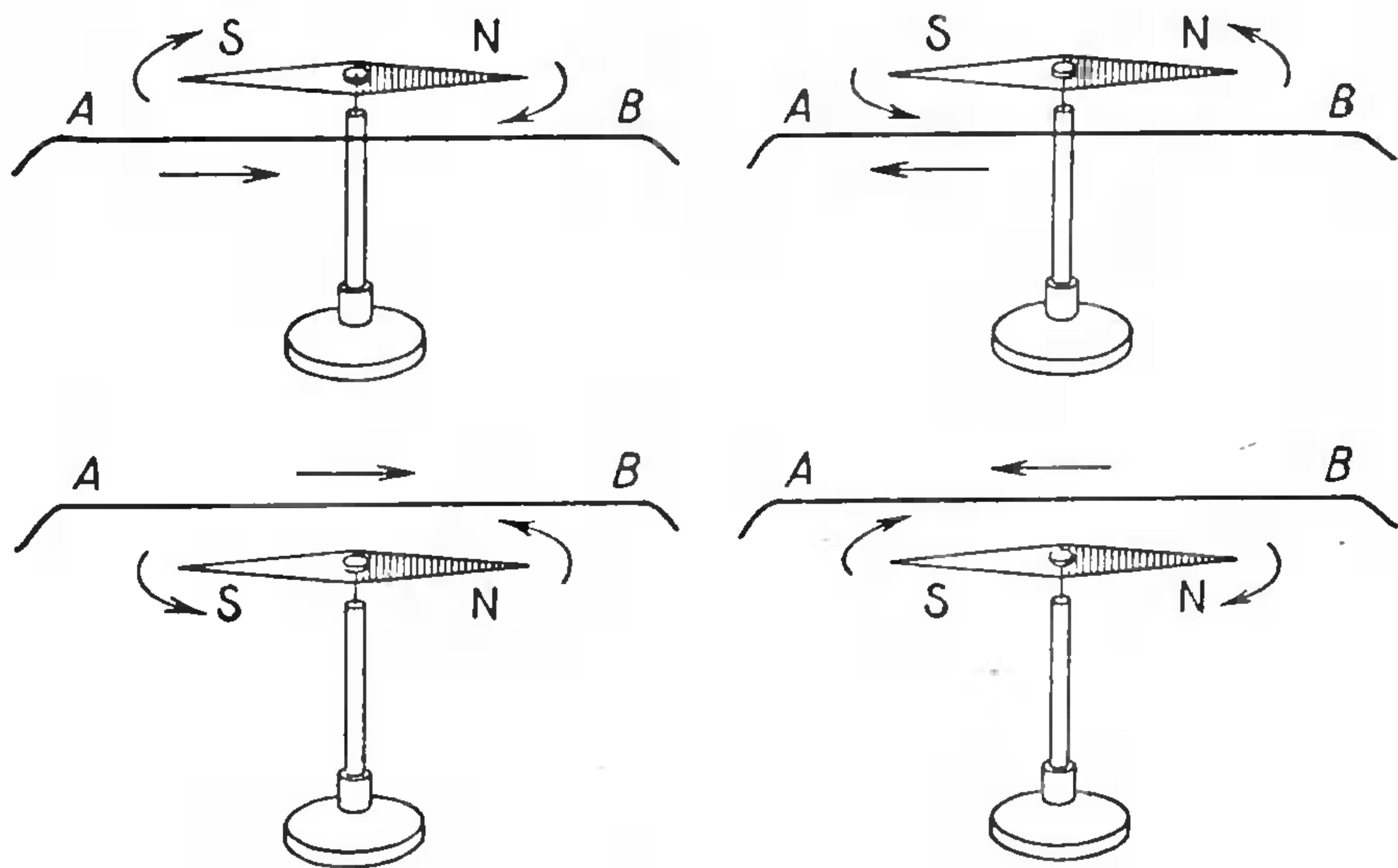


Рис. 18

Основная задача урока — показать, что отдельные проявления магнитных действий тока являются следствием основного и постоянного свойства электрического тока — образования вокруг тока магнитного поля.

Достаточно на этой ступени ограничиться описанием свойств поля и не стремиться к строгой формулировке понятия поля. Можно ограничиться словами: «Магнитное поле проявляется в намагничивании тел, находящихся в поле, и в движении намагниченных тел».

Такое описание поля покажет, что понятие поля обобщает те отдельные признаки магнитного действия тока, которые были показаны на первом уроке темы. Надо избегать нередко встречающегося в учебниках определения поля как «пространства», в котором действуют магнитные силы. Природа поля имеет не геометрический характер, а материальный.

Дальнейшее изложение материала на этом уроке распадается на три части.

2. **Открытие магнитного поля тока Эрстедом.** Преподаватель рассказывает о поводе, который привел Эрстеда к поискам магнитного действия тока, и показывает 4 случая движения магнитной стрелки при пропускании тока над и под ней в одном и в противоположном направлениях. Опыты сопровождаются 4 чертежами (рис. 18), причем надо следить за тем, чтобы

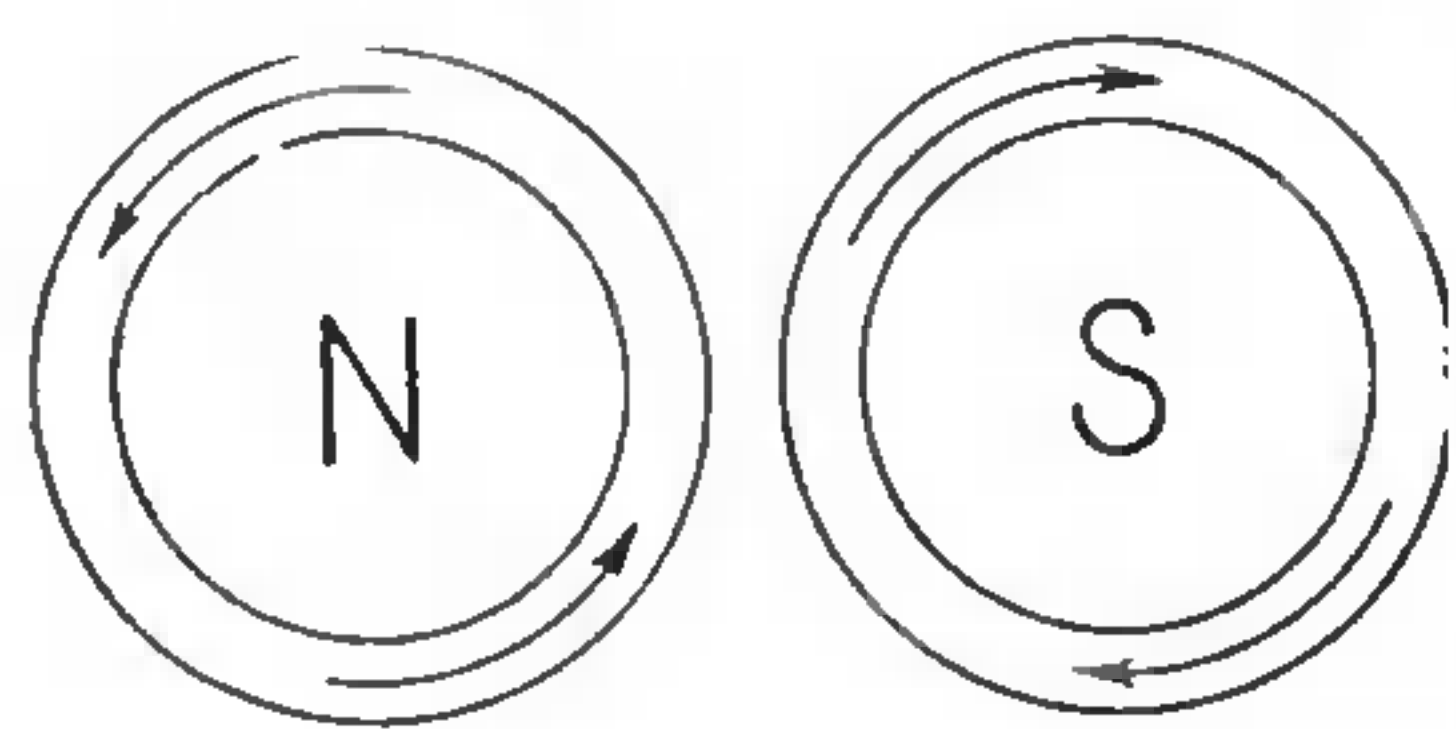


Рис. 19

расположение полюсов стрелки на классной доске соответствовало тому расположению полюсов, которое наблюдают учащиеся со своих мест.

Чтобы учащиеся могли наблюдать за движением магнитной стрелки в горизонтальной плоскости, каждый конец стрелки надо отметить вертикальным флажком из легкой бумаги разного цвета.

На основании опыта надо дать правило для определения неизвестного направления тока по его действию на магнитную стрелку и поупражнять учащихся на отдельных примерах в применении этого правила в течение этого и последующих уроков.

Надо предостеречь начинающих преподавателей против часто встречающегося неправильного выражения: возьмем провод и поместим под него стрелку. Ведь магнитная стрелка занимает в пространстве определенное направление; поэтому надо провод направлять по стрелке, стрелку же нельзя направить по любому направлению провода.

3. **Магнитное поле тока в проводниках различной формы.** Постановка опытов и чертежи, сопровождающие опыты, общеизвестны по учебникам и по руководствам к демонстрациям.

Образование различных полюсов на концах катушки с током преподаватель подтверждает показом их действия на полюсы магнитной стрелки.

Полезно предложить учащимся приготовить дома картонный или фанерный круг, подобный изображенному на рисунке 19. Наличие такого круга облегчит учащимся определение полюсов катушки с током в различных практических случаях. Следует закрепить у учащихся представление, что магнитные силовые линии тока, проходящего как по прямолинейному проводнику, так и по катушке, — всегда замкнутые кривые. Также надо обратить внимание учащихся на то, что вывод о направлении силовых линий при раз-

ных направлениях тока делается из опытов (с железными опилками, магнитной стрелкой и др.) и только затем данные опыта обобщаются в практическое правило «буравчика» или какое-либо другое.

4. Движение подвижного проводника с током в магнитном поле. Этой теме посвящается очередной урок.

В качестве источника магнитного поля берется сильный подковообразный магнит или электромагнит и между его ветвями свободно подвешивается или вертикально гибкий проводник или горизонтальный прямой проводник (в форме «качелей», см. рисунок 164 учебника). Преподаватель показывает четыре случая движения проводника при двух противоположных направлениях тока и магнитного поля, для каждого случая тщательно выполняет чертежи, из опыта и чертежей выводит практическое правило левой руки для определения направления движения проводника при заданных направлениях магнитного поля и тока.

Дальше изучается взаимодействие катушек с током и постоянного магнита и действие катушек с током друг на друга. Демонстрируется вращение подвешенной на нитях катушки с током при приближении к ее концам постоянного магнита или концов другой катушки с током.

Однако можно демонстрируемые взаимодействия предварительно рассмотреть теоретически и лишь затем проверить их на опыте.

31. Технические применения магнитного поля тока

Законы физики, изучаемые в данной теме курса физики, нашли широкое применение в технике. Учащиеся должны не только знать теоретические основы устройства и действия соответствующих приборов и аппаратов, но и получить твердые навыки в обращении с ними. С этой целью следует поставить ряд лабораторных работ. Описание технических устройств является задачей методически более простой, чем введение и обоснование новых понятий, поэтому ограничимся немногими замечаниями о порядке изучения отдельных устройств.

1. Э л е к т р о м а г н и т. а) Разбирается устройство электромагнита и показывается его действие. б) Исследуется, от чего зависит подъемная сила электромагнита. Составляется цепь из батареи, реостата, амперметра и электромагнита и показывается, что подъемная сила электромагнита увеличивается с увеличением тока.

в) Далее, выбрав ток определенной величины, наматывают витки обмотки плотнее друг к другу и показывают, что подъемная сила увеличивается с увеличением числа витков на одном и том же участке обмотки при неизменном токе.

На основании произведенных опытов выясняются преимущества электромагнита перед постоянным магнитом, рассказывается об его технических применениях.

Учащиеся должны научиться производить намотку электромагнита (при опросе надо проверять это умение), знать схематическое обозначение обмотки и уметь определять полюсы электромагнита по направлению тока (рис. 20).

2. П р и м е р ы п р и м е н е н и я э л е к т р о м а г н и т а.

Рассматривается применение электромагнита в четырех приборах: в электрическом звонке, в телеграфном аппарате, в телефоне и в электромагнитном кране. Эти приборы и аппараты должны быть показаны в натуральном виде, на моделях и на таблицах.

В ходе объяснения устройства электрического звонка преподаватель вычерчивает на доске отдельные его детали. Учащиеся одновременно делают чертежи в своих тетрадях. Полезно для выделения важных деталей и большей наглядности делать чертежи мелкими различного цвета.

Учащиеся должны научиться составлять цепи с электрическим звонком для сигнализации из одной и из нескольких комнат, для непрерывного и единичного звонка. Установка должна укрепляться на вертикальной доске.

Не останавливаясь на дополнительных указаниях по демонстрации трех первых приборов, отмечу, что учащиеся затрудняются в

отыскании полюсов электромагнита, применяемого в подъемном кране. Им не ясно, почему внутренний цилиндр представляет собой один полюс, а внешнее цилиндрическое кольцо — другой. Такое расположение полюсов проще всего объяснить при помощи чертежей. На рисунке 21, а изображена схема электромагнита

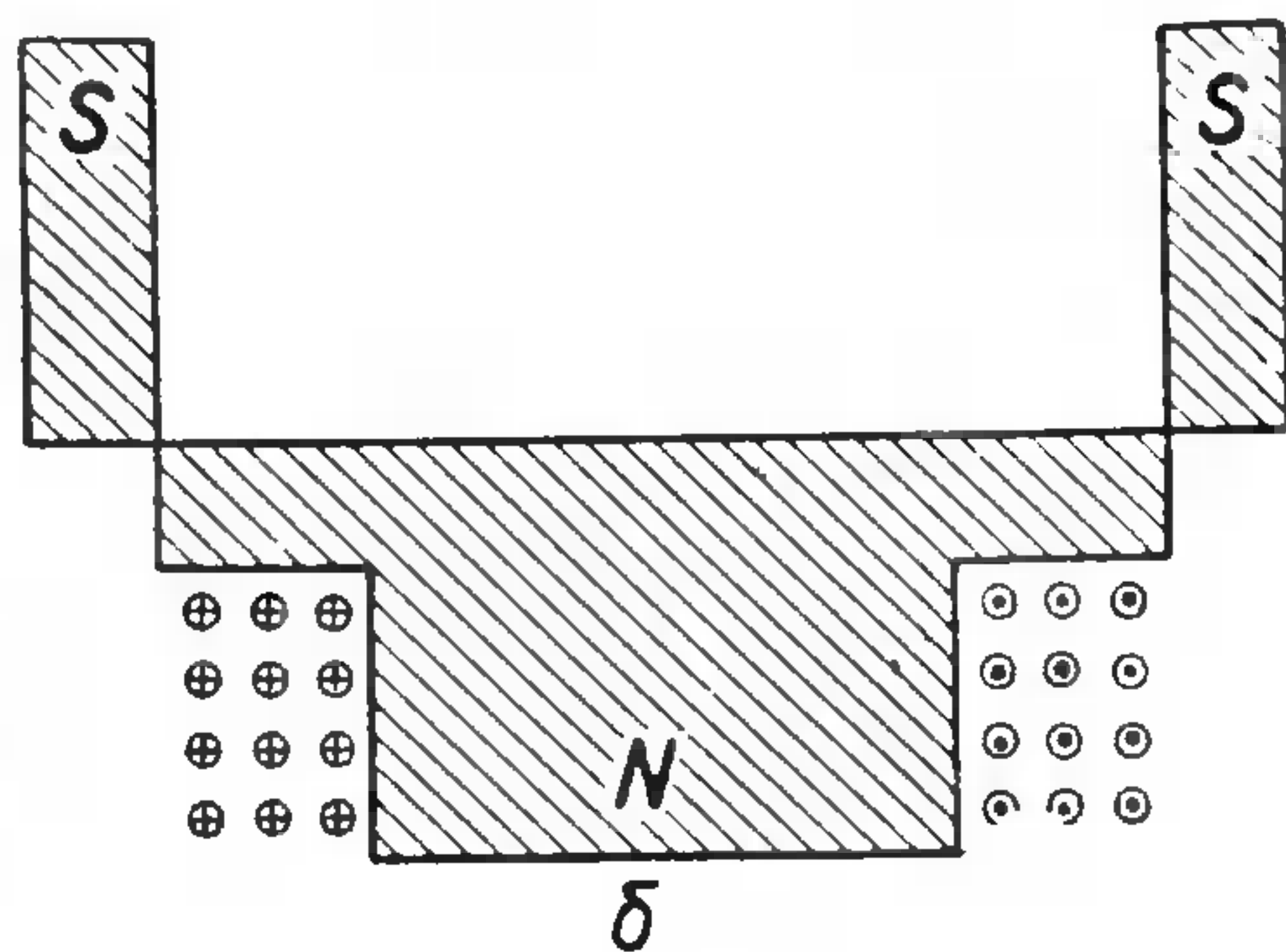
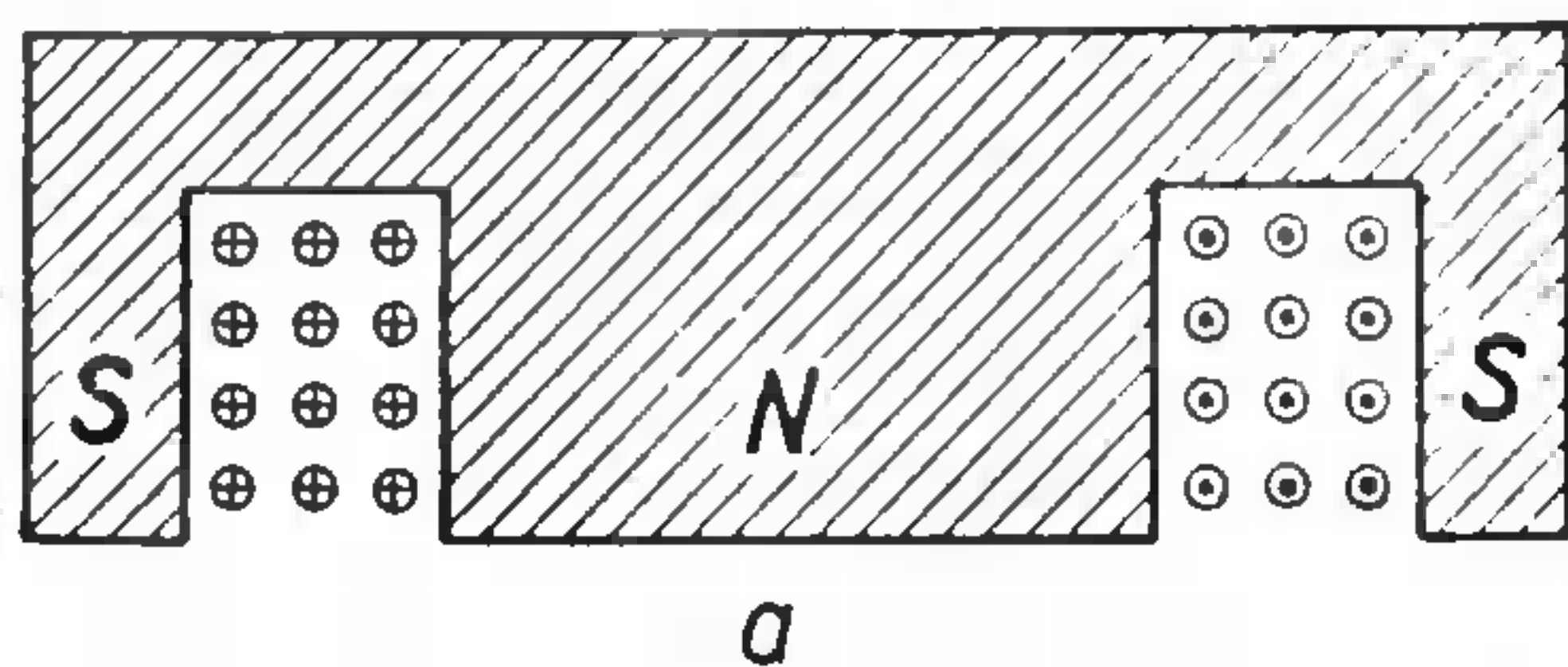


Рис. 21

подъемного крана в сечении. При заданном на рисунке направлении тока (справа налево в передней части) северный полюс образуется на внутреннем цилиндре, а южный — на наружном цилиндрическом кольце.

Чтобы объяснить учащимся такое расположение полюсов, надо предложить им представить себе, что наружное кольцо перевернуто и вытянуто вдоль оси внутреннего цилиндра (рис. 21, б). Тогда рас-

положение полюсов будет соответствовать расположению их в прямом стержне.

3. **Электродвигатель постоянного тока.** Выяснить принципы работы электрического двигателя можно при помощи крупной модели вращающегося в магнитном поле витка с током. На модели проще показать, почему и при каком условии может получиться непрерывное вращение витка, насаженного на ось (рис. 22). Затем необходимо показать в действии электродвигатель. Хорошо было бы иметь в кабинете и показать учащимся составные части электродвигателя.

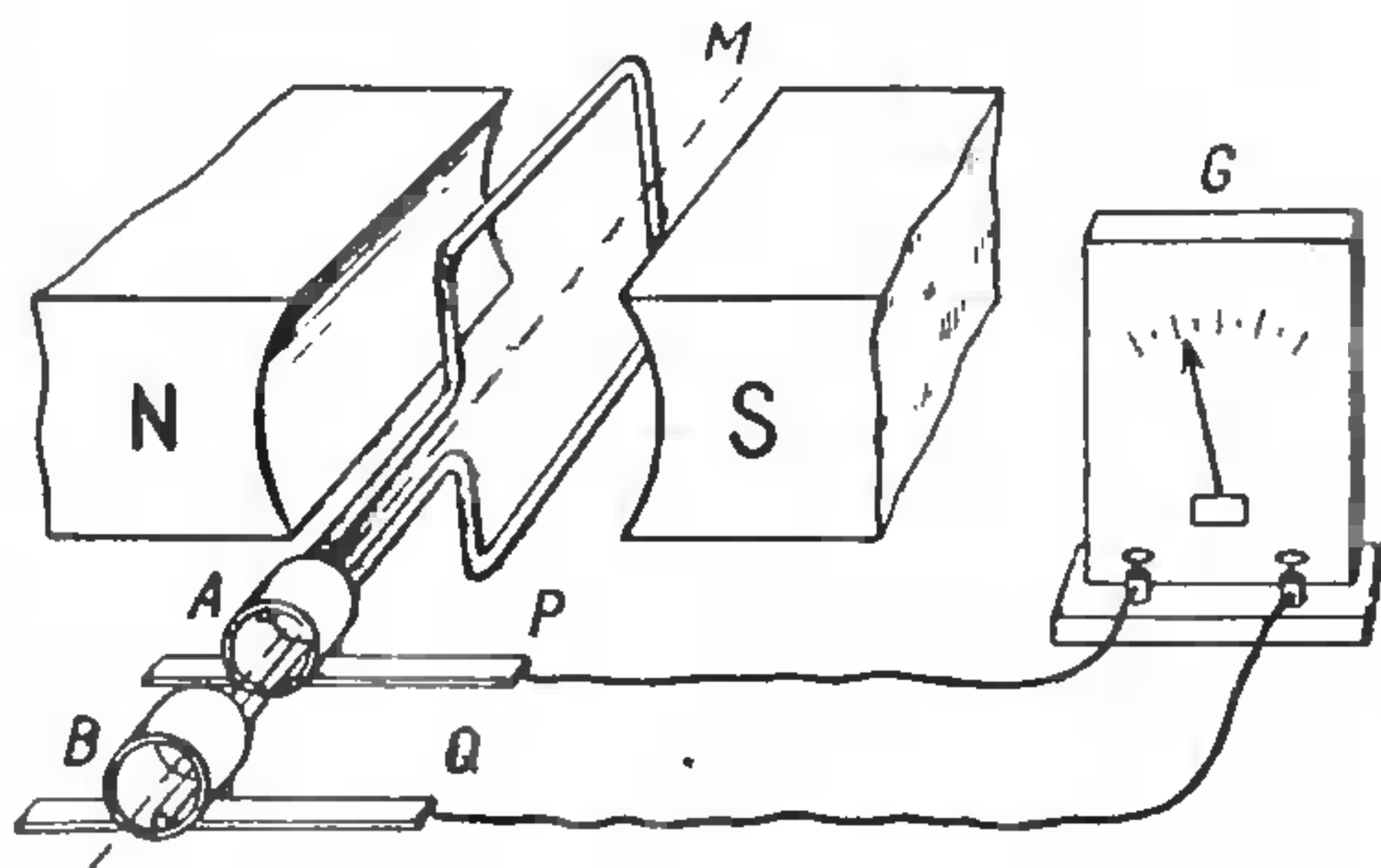


Рис. 22

Учащиеся могут самостоятельно прочесть о различных применениях электродвигателя и рассказать о них на последующих уроках.

Для чтения можно рекомендовать:

Перельман Я. И., Занимательная физика, кн. II, стр. 162—174.

32. Электромагнитная индукция

1. **Значение темы и ее содержание.** Широкое использование явления электромагнитной индукции в различных областях техники придает его изучению в школе особую важность. При изучении темы «Электромагнитная индукция» преподаватель сталкивается с большим числом вопросов, имеющих не только первостепенное научное значение, но и играющих важную роль в политехническом обучении школьников. Данная тема позволяет также осветить роль русских ученых в развитии электротехники и показать грандиозные успехи советского народа в деле электрификации всей страны.

Тема «Электромагнитная индукция» распадается на две части: 1) изучение самого явления и выяснение того энергетического процесса, который происходит при этом, — превращение механической энергии в электрическую (закон Ленца); 2) рассмотрение принципов устройства машин для преобразования механической энергии в электрическую и приборов для передачи электрической энергии на расстояние.

2. **Открытие Фарадеом электромагнитной индукции.** Тема об электромагнитной индукции тесно связана с предыдущей. Электрический ток создает магнитное поле. Нельзя ли магнитным полем создать электрический ток? Дается краткий исторический очерк.

Следует предложить учащимся заранее познакомиться с биографией Фарадея и с его открытием и сделать короткий доклад об этом перед переходом к эксперименту.

Перед демонстрацией электромагнитной индукции следует показать учащимся, как направление отклонения стрелки гальванометра зависит от направления проходящего через него тока. С этой целью через гальванометр (рис. 23) пропускают ток определенного направления и результаты наблюдения заносятся в виде чертежей на классную доску; на протяжении всего урока они остаются перед глазами учащихся.

Опыты производят следующим образом. Укрепив подковообразный магнит вертикально (рис. 24), быстро опускают на одно его колено (например левое для учащихся) катушку проволоки, соединенную с гальванометром. По движению стрелки гальванометра учащиеся заключают о возникновении в катушке тока только во время движения ее. Вводятся названия: для явления — электромагнитная индукция, для тока — индукционный ток. Для определения направления индукционного тока в катушке к доске вызывается учащийся и ему предлагается по направлению движения стрелки гальванометра определить, в каком направлении проходил ток через гальванометр, а также установить, по какому нап-

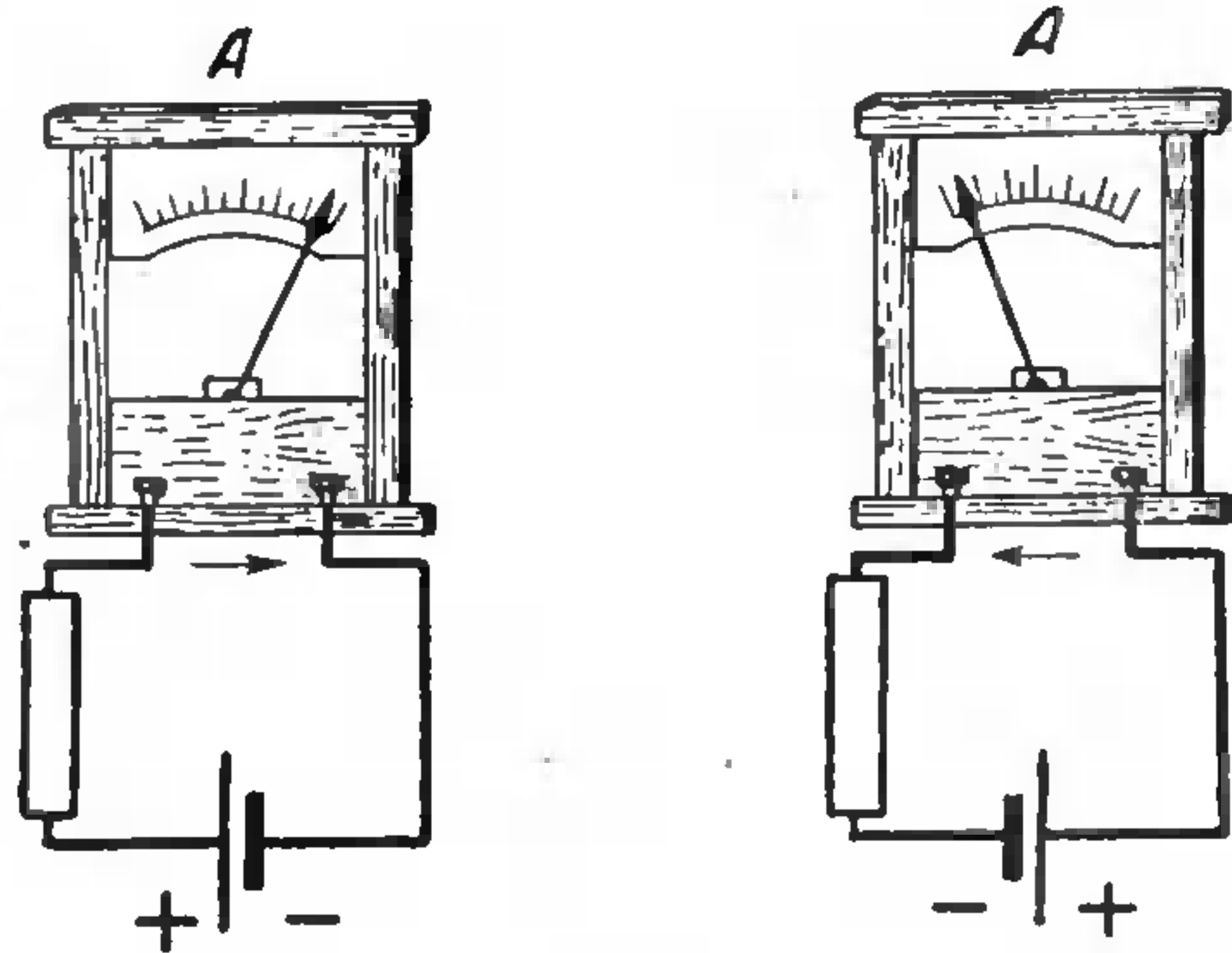


Рис. 23

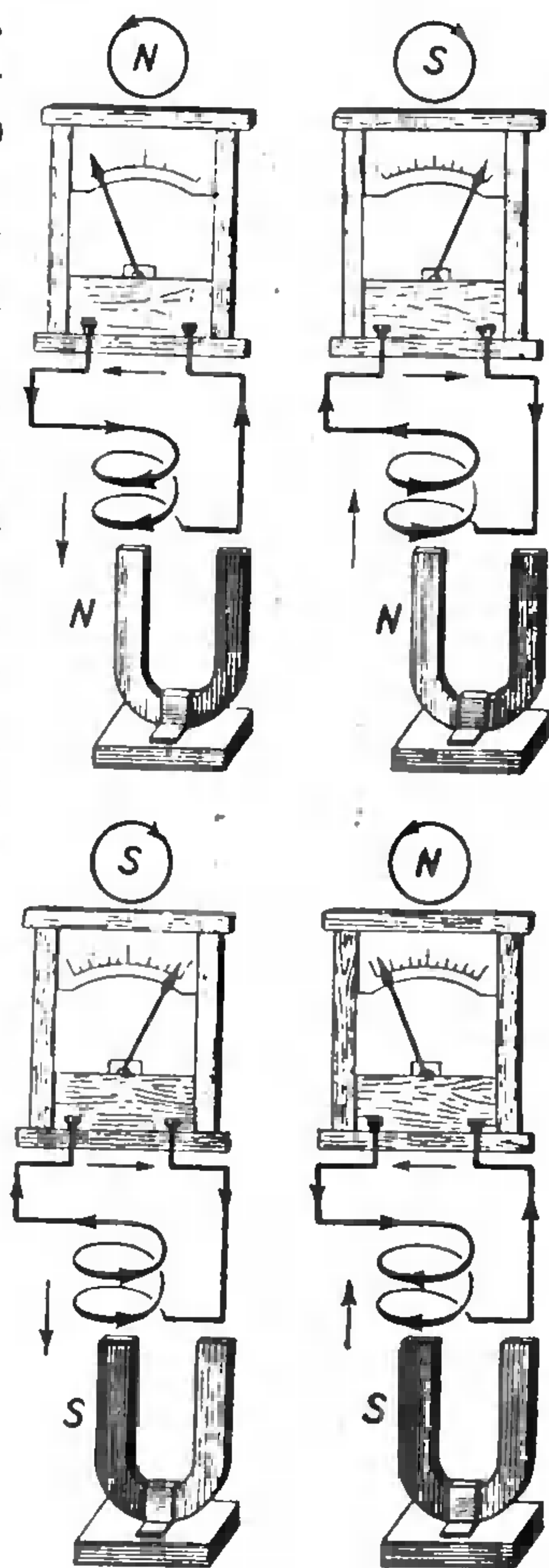


Рис. 24

равлению шел ток на той стороне катушки, которая обращена к магниту. Результаты исследования фиксируются на заранее заготовленном чертеже.

Второй опыт состоит в снятии с магнита катушки, т. е. в определении направления индукционного тока при изменении направления движения катушки на противоположное. Для следующих опытов магнит поворачивается так, чтобы его южный полюс занял место северного и обратно. В третьем и четвертом опытах катушка с током

движется так же, как в первом и втором опытах, но относительно южного полюса магнита. После каждого опыта исследуется направление индукционного тока и выполняется чертеж.

В пятом опыте осуществляется одновременно перемещение магнита и надетой на одно из его колен катушки проволоки без изменения их относительного положения и делается вывод, что индукционный ток не возникает при неизменном относительном положении магнита и катушки.

В результате опытов в конце урока должны быть получены выводы относительно условий возникновения индукционного тока и практическое правило правой руки для определения направления индукционного тока, когда даны направления движения проводника и магнитных силовых линий. Это практическое правило выводится на основе чертежей, которыми сопровождаются опыты, причем за направление индукционного тока принимается направление его в той части катушки, которая движется между полюсами магнита.

При опросе учащихся на следующем уроке проверяется их умение воспроизвести явление электромагнитной индукции, определить по прибору направление индукционного тока и применить практическое правило для его определения. Правило правой руки учащиеся должны уметь применять для нахождения любой из трех величин, связанных с этим правилом, если две из них известны.

Следует предложить учащимся сообразить, какие должны произойти явления, если к неподвижной катушке приближать или от нее удалять магнит — подковообразный или прямой, и проверить предсказанные явления на опыте (рис. 25).

Далее следует показать индукцию тока в катушке при приближении к ней или удалении другой катушки с током (рис. 25).

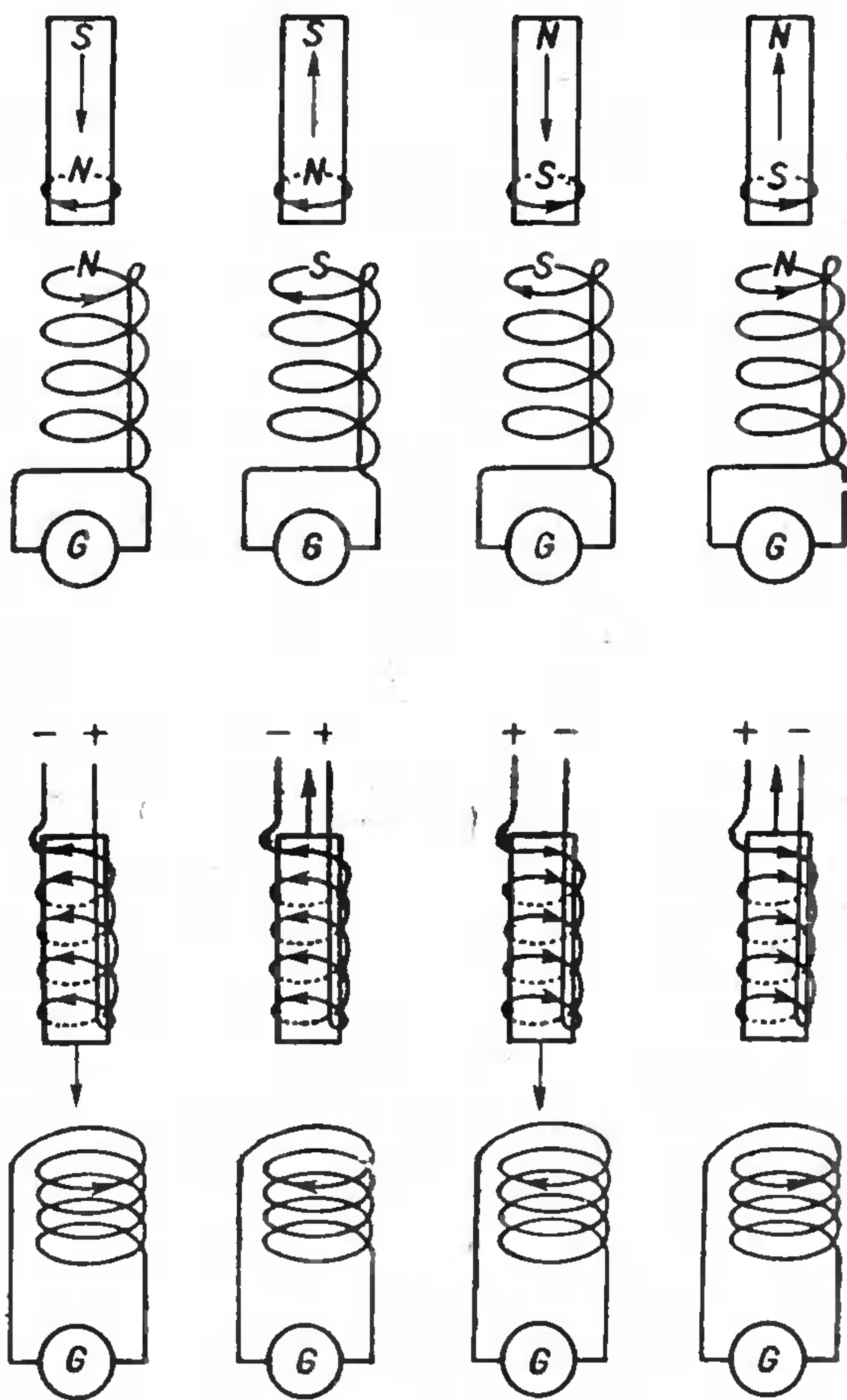


Рис. 25

Изучается также индукция при неизменном относительном положении катушек, но при замыкании или размыкании тока в одной из них и при увеличении или уменьшении тока в ней.

В результате перечисленных двенадцати опытов должен быть сделан окончательный вывод относительно условий возникновения индукционного тока.

На уроке, следующем за установлением опытных данных, отмечаются на чертежах магнитные полюсы, образующиеся на концах катушки при прохождении по ней индукционного тока и из взаимодействия полюсов катушки с магнитом или с катушкой с током выводится закон Ленца (чтобы не тратить времени на вычерчивание, можно принести таблицу с чертежами; у учащихся в тетрадях они имеются).

Многочисленные упражнения должны прочно закрепить умение учащихся пользоваться законом Ленца для нахождения направления индукционного тока при самых разнообразных случаях движения замкнутого проводника в магнитных полях. Можно поставить опыт, демонстрирующий закон Ленца, который описан в курсе X класса. При выведении закона Ленца надо обратить особое внимание учащихся на то, что этот закон выражает один из частных случаев закона превращения и сохранения энергии и указывает на тот источник энергии, за счет которого получается электрическая энергия индукционного тока (работа внешнего тела по преодолению противодействия магнитного поля возникающего тока).

3. И с п о л ь з о в а н и е э л е к т р о м а г н и т н о й и н д у к ц и и в т е х н и к е. Во второй части темы рассматривается использование явления электромагнитной индукции в технике и излагаются принципы устройства генератора и трансформатора.

При изложении этой темы надо, помимо показа действующих машин, широко использовать модели, подобные той, которая применена для объяснения действия электродвигателя (рис. 22), а также таблицы с изображением обмоток трех систем генераторов электрического тока.

За отсутствием продажных таблиц преподавателю надо позаботиться заблаговременно изготовить соответствующие чертежи.

Большую помощь может оказать набор деталей машин, действие которых основано на электромагнитной индукции.

В особенно тщательном показе и объяснении нуждается прием выпрямления тока. Выпрямление тока следует показать на крупной модели, на действующей машине и на чертеже.

Эта тема также позволяет показать большой вклад в науку русских электротехников. Названные выше книги позволят учащимся познакомиться с жизнью и деятельностью Л е н ц а, выяснившего закон превращения механической энергии в электрическую, Я к о б и, применившего электродвигатель для движения лодки по Неве, Ш и л л и н г а, первого изобретателя электрического телеграфа, Я б л о ч к о в а, создавшего электрическую «свечу», введшего барабанный якорь, конструировавшего одновременно с Л а ч и -

новым и Полешко динамо-машины и альтернаторы, Долово-Добровольского, разработавшего технику трехфазного тока, Володина, построившего альтернатор высокой частоты, Усагина, сконструировавшего трансформатор переменного тока.

К концу второй части темы преподаватель кратко говорит о значении электрификации страны, о строительстве новых крупных тепло- и гидроэлектростанций, о создании единой энергетической системы страны. Изучение главы должно завершиться экскурсией на электростанцию. Ее задача — познакомить с расположением и работой генератора электрической энергии, с подачей электрической энергии к распределительному щиту, с электроизмерительными приборами, расположенными на щите, рубильниками, предохранителями, с выводом электрической энергии за пределы станции и с повышающей трансформаторной подстанцией.

Особенное внимание надо обратить на агрегаты, находящиеся в резерве или чистке, так как только они позволяют увидеть некоторые детали машин.

Помимо электростанции, следует посетить электроремонтные мастерские, что позволит познакомиться с генераторами, электродвигателями и трансформаторами в разобранном виде.

Конечно, учащийся должен хорошо знать электрооборудование своего класса.

Если есть в городе или поселке телеграфная, телефонная станция или завод с электромагнитным краном, с электросваркой или с магнитным обогащением руды, то и эти установки надо сделать объектом экскурсии.

Технический материал по теме так разнообразен и обширен, что он ни в каком случае не может быть охвачен в пределах классных занятий. В значительной своей части он может быть перенесен на внеклассные занятия и составить содержание физических вечеров в школе.

Глава IV.

СВЕТ

33. Целевая установка преподавания отдела оптики и примерное поурочное распределение материала

В разделе «Свет» могут быть рассмотрены следующие вопросы:

1. Значение света для жизни на Земле и для деятельности человечества.

2. Естественные и искусственные источники света.

3. Понятие о световом луче как о кратчайшем пути распространения света от точечного источника света к освещаемому предмету или к глазу наблюдателя в однородной среде.

4. Световые явления, происходящие на границе разнородных сред.

5. Использование изменения хода световых лучей на границах сред.

6. Физические основы зрения.

7. Наиболее употребительные оптические приборы.

8. Природа цвета естественных тел и красок.

Из 12 уроков, намечаемых по программе, два урока уделяются лабораторным занятиям. Для остающихся 10 уроков можно рекомендовать следующее примерное распределение материала.

1-й у р о к. Введение к отделу. Источники света.

2-й у р о к. Прямолинейное распространение света.

3-й у р о к. Объяснение происхождения солнечного и лунного затмений.

4-й у р о к. Оптические явления на границе двух сред. Отражение света и его законы. Рассеянное отражение света.

5-й у р о к. Получение изображений в плоском и вогнутом зеркалах.

6-й у р о к. Лабораторная работа по наблюдению хода лучей света при отражении и преломлении.

7-й у р о к. Явление преломления света.

8-й у р о к. Получение изображений при помощи двояковыпуклой линзы. Фотоаппарат.

9-й у р о к. Лабораторная работа по наблюдению изображений, даваемых линзой.

10-й у р о к. Глаз как оптический аппарат.

11-й у р о к. Разложение и сложение белого света.

12-й у р о к. Объяснение цветности тел.

Для опытов, которыми должно сопровождаться изложение учения о свете, необходимо иметь ряд основных приспособлений.

а) Источник света, приближающийся к точечному: электрическая лампа от карманного фонаря, кинопроекторная лампа на 120 в или 110 в, котельная лампа на 12 в.

При отсутствии в школьном здании электрического тока можно пользоваться ацетиленовой горелкой, а для некоторых опытов керосиновой лампой и свечой.

б) Для выделения из светового потока пучка световых лучей применяются диафрагмы или экраны с узкими щелями или с малыми круглыми отверстиями.

в) Для обнаружения светового луча (вернее, тонкого пучка света) на его пути ставят под очень малым углом к нему белый матовый экран (например, доску, окрашенную белой краской). Луч дает на экране тонкую световую полосу.

г) Чтобы показать световой луч непосредственно в воздухе, надо задымить воздух. В совершенно чистом воздухе луч невидим. В запыленном воздухе ход луча можно наблюдать, если смотреть на него под острым или прямым углом к его направлению; в этих направлениях пылевые частицы рассеивают свет. Для этого опыта луч света направляется вдоль демонстрационного стола, параллельно ученическим столам.

Для задымления воздуха пользуются дымарем. Один из видов дымаря представлен на рисунке 26. Чтобы сделать видимыми лучи света в воде, можно также пользоваться матовым экраном или подкрашивать воду флюоресцеином или каким-либо другим веществом, в крайнем случае можно замутить воду одеколоном, молоком и даже мелом.

д) Для обнаружения световых лучей надо пользоваться, кроме стенного экрана, еще переносными экранами.

е) Для демонстрации световых явлений необходимо тщательное затемнение помещения и защита глаз учащихся от падающего непосредственно на них света от источника.

ж) Для выполнения оптических чертежей преподавателю следует пользоваться цветными мелками, а учащимся — цветными карандашами.

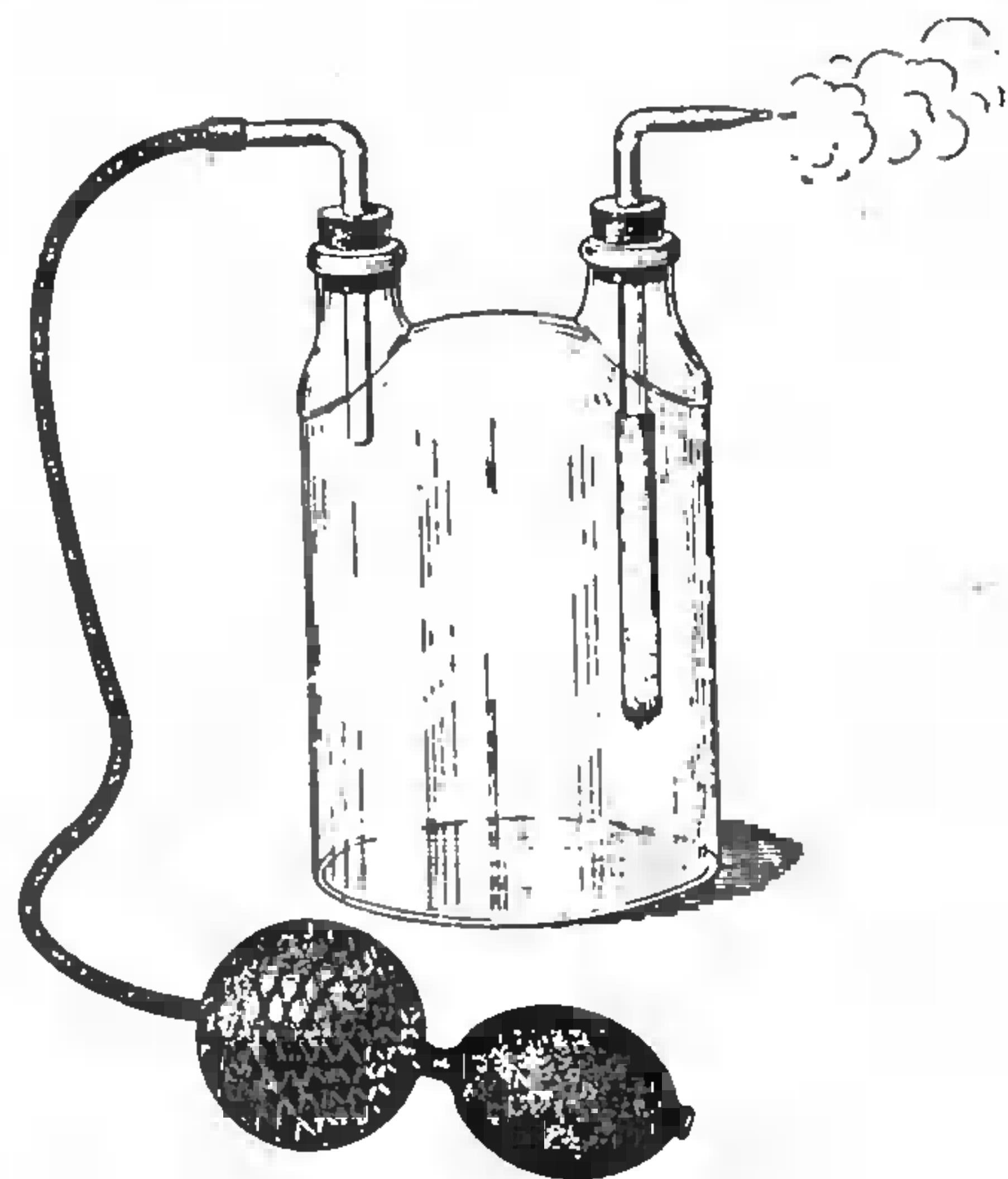


Рис. 26

34. Введение к отделу «Свет»

Начинается изучение отдела о свете, как и всякого другого отдела, с формулировки цели его изучения.

Рассказ может представлять развитие следующих положений:

1. Свет дает возможность зрительного восприятия предметов внешнего мира.

2. Это восприятие зависит от законов световых явлений и от свойств воспринимающего органа — глаза.

3. Углубление и расширение знаний о мире во многом зависит от способности человека при помощи особых приборов и устройств, в основе действия которых лежат законы оптики, проникнуть в строение вещества.

4. Свет — необходимое условие возникновения и существования растений и животных.

5. Велико значение света в технике. Достаточно отметить технику освещения и технику крашения.

6. Чтобы дать понятие о том, что со световым лучом связана особая форма энергии, достаточно сослаться на всем хорошо известное явление нагревания Земли и человеческого тела светом Солнца. Также хорошо всем знакомо нагревание руки, приближенной к электрической лампе или к любому раскаленному телу. Так как учащиеся знают, что энергия передается в форме теплоты, то они на основании таких наблюдений и рассуждений легко могут признать, что свет также является носителем энергии.

7. Следует дать понятие учащимся о естественных и искусственных источниках света и кратко рассказать об истории развития техники освещения. Следует продемонстрировать перед ними последовательно, не гася предыдущих источников, свет от лучины, масляного светильника, свечи, керосиновой лампы, газовой горелки, угольной электрической лампы, пустотной и газополной электрических ламп, люминесцентной лампы и электрической дуги (при обязательной защите глаз от непосредственного воздействия света).

Учащимся сообщается, что основным естественным источником света является Солнце; несравненно слабее освещают Землю звезды. Свет излучают нагретые до высокой температуры тела. Первоначальное видимое свечение (красного цвета) возникает при температуре накала несколько выше 500° ; при температуре накала в 1500° наступает белое свечение.

Естественное свечение при низкой температуре наблюдается у светлячков, некоторых пород рыб и у некоторых микроорганизмов. Наблюдаемое иногда свечение морской воды объясняется скоплением в воде большого числа светящихся микроорганизмов.

В заключение этого обзора отмечается, что все не самосветящиеся тела видимы только при освещении их каким-либо источником света.

35. Распространение света в однородной среде

В начале урока преподаватель объясняет, что называется однородной средой. Затем он показывает, как при помощи экрана с щелью можно выделить из общего потока света тонкий пучок, и приступает к исследованию формы такого пучка.

В качестве одного из опытов, отвечающих на поставленный вопрос, можно показать перерезывание тонкого светового пучка длинной доской, покрашенной в белый цвет; вдоль границы освещенной части натягивается черная нить; туго натянутая нить — образец прямой линии; совпадение нити и границы светового пучка является доказательством прямолинейного распространения света в однородной среде. В качестве другого прямого опыта, показывающего прямолинейность пути распространения света, можно показать распространение выделенного малым отверстием пучка параллельных лучей внутри стеклянной трубки, наполненной дымным воздухом. В школах больших городов следует припомнить с учащимися форму светового пучка в воздухе от военного прожектора или автомобильных фар. Во всех школах учащиеся отметят форму светового пучка в пыльном воздухе затемненной комнаты. Из всех этих наблюдений учащиеся приходят к выводу, что границами тончайшего пучка света служат прямые линии, т. е. свет распространяется от источника света прямолинейно. Тончайший пучок света, шириной которого можно пренебречь, называется л у ч о м.

В качестве косвенного доказательства прямолинейности распространения света показываются на экране тени, полученные от пред-

метов, освещаемых точечным источником света, и полутени (от двух точечных и от пространственного источника света). Совпадение наблюдаемых картин с построением, произведенным при помощи прямых линий для случаев различных положений точечного источника света, предмета и экрана, может убедить учащихся в том, что свет от точечного источника распространяется по прямым линиям. Можно рекомендовать учащимся приготовить дома камеру-обскуру из картонного параллелепипеда (коробки), заменив одну из малых граней его промасленной бумагой, а в противоположной грани сделав малое отверстие, и наблюдать на бумаге изображение освещенных предметов. Получение изображения через малое отверстие учащиеся могут также наблюдать дома, если на пути света от источника света поставят непрозрачный экран с небольшим круглым отверстием, а за ним—другой экран.

Часть следующего урока посвящается опросу и упражнениям: вычерчиванию изображения предмета, полученного при помощи узкого отверстия, или его тени при заданных расстояниях между источником света, предметом и экраном.

В конце урока объясняются причины лунного и солнечного затмений. Объяснение солнечных и лунных затмений лучше вести, используя соответствующие плакаты, диапозитивы или модели и не прибегая к вычерчиванию картины явления на доске и в тетрадях.

36. Световые явления на границе двух сред

Новая тема вытекает как следствие из предыдущей. В первом разделе учащиеся познакомились с тем, как распространяется свет в одном и том же веществе (в однородной среде); естественно поставить вопрос, какие произойдут явления на границе двух различных веществ (двух разнородных сред).

Отвечая на поставленный вопрос, преподаватель должен при помощи оптической шайбы или на границе воды в аквариуме, в который опущена побеленная доска, показать одновременное возникновение отражения и преломления света и только после установления этого факта расчленив явление и перейти к отдельному изучению того и другого. Иначе в умах учащихся создается твердое представление о том, что на границе происходит или отражение, или преломление.

1. О т р а ж е н и е с в е т а. Продемонстрировав явление отражения и объяснив, в чем состоит это явление, преподаватель дает чертеж хода лучей при отражении и устанавливает термины: луч падающий, луч отраженный; затем определяет углы падения и отражения, отмечая их на чертеже и вводя для них определенные буквенные обозначения.

Следующая задача состоит в том, чтобы показать, во-первых, что отраженный луч лежит в той же плоскости, в которой лежат луч падающий и перпендикуляр к отражающей поверхности в точке падения луча; во-вторых, что угол отражения равен углу падения.

Первая часть задачи решается таким расположением прибора (рис. 26, учеб. III), чтобы оба луча были прорезаны доской прибора. Перемещая в пространстве около отражающей поверхности лист белой бумаги, показывают учащимся, что ни в какой другой плоскости, кроме плоскости падения луча, отраженный луч следа не дает.

Для получения второго вывода измеряют углы отражения при разных углах падения, результаты измерения во всех случаях заносят в таблицу и предлагают учащимся сделать вывод из измерений.

Будут ли законы отражения выведены эвристически из лабораторной работы учащихся или из демонстрации преподавателя, формулировать эти законы следует в таком порядке, чтобы первый закон отвечал на вопрос, в какой плоскости надо искать отраженный луч, а второй — в каком направлении надо искать отраженный луч в данной плоскости. Поэтому второй закон лучше формулировать так: угол отражения луча равен углу падения.

Следствие из обоих законов — обратимость луча — должно быть показано на опыте и разъяснено на чертеже.

На уроке преподаватель среди различных упражнений дает учащимся также следующие задачи: 1) начертить ход отраженного луча при заданном падающем и при разных положениях отражающей плоскости; 2) начертить отражение ряда параллельных лучей, падающих на данную плоскость; 3) начертить отражение от данной плоскости ряда падающих на нее лучей, выходящих из одной светящейся точки; 4) из трех данных стержней составить модель расположения луча падающего, отраженного от поверхности стола и перпендикуляра к ней.

После упражнения преподаватель переходит к следующему вопросу темы: к д и ф ф у з н о м у о т р а ж е н и ю.

Надо поставить опыты, показывающие отличие рассеянного отражения от зеркального. В совершенно затемненной комнате узкий пучок лучей один раз отбрасывается на плоское зеркало (а от него на черную доску, пол, но не на белые стены), а другой раз — на лист белой бумаги или белую стену, потолок. Выясняется важное значение рассеянного отражения при дневном освещении и при искусственном освещении.

2. И з о б р а ж е н и е в з е р к а л е. В начале следующего урока преподаватель останавливает внимание учеников на том, что знание закона отражения позволяет управлять ходом световых лучей при помощи поверхностей, правильно отражающих падающие на них лучи и называемых зеркалами.

Учащиеся должны ознакомиться с ходом лучей в зеркалах; прослеживая ход лучей, научиться строить зеркальные изображения и уметь использовать зеркала для различных практических целей. Эти задачи рассматриваются сперва для простейшего вида зеркал — плоского, затем для сферического. По отношению к каждому виду зеркал рассматривается сначала построение изображения светящейся точки, потом — предмета.

Переходя к первой подтеме — изображению в плоском зеркале, — преподаватель сначала на чертеже, затем на опыте со стеклом и двумя симметрично поставленными одинаковыми свечами показывает, что изображение светящейся точки и предмета в плоском зеркале есть мнимое изображение, расположенное симметрично предмету относительно поверхности зеркала (объясняя значение каждого термина). Надо напомнить об изображениях предметов в воде.

Развитие первой подтемы преподаватель может вести также в виде постановки перед учащимися следующих задач, решения которых учащиеся ищут графически, а затем проверяют на опытах: 1) Как горизонтальный луч пустить по вертикальному направлению? 2) Как вертикальный луч пустить по горизонтальному направлению? 3) Как пустить луч по параллельному направлению, подняв или опустив его на какую-либо заданную высоту (принцип перископа)? 4) Луч, идущий под одним углом к горизонту, пустить под другим заданным углом (принцип гелиографа). 5) Построить изображение светящейся точки от двух зеркал, поставленных параллельно друг к другу или под углом.

3. С ф е р и ч е с к о е з е р к а л о. При переходе к изучению сферического зеркала преподаватель замечает, что одно плоское зеркало позволяет изменять только направление лучей. Если необходимо изменить также и освещенность предмета, т. е. направить на него больший поток световой энергии, то этой цели можно достигнуть при помощи ряда плоских зеркал, поставленных последовательно под углом друг к другу, или, что лучше, при помощи одного зеркала с кривой поверхностью.

При помощи оптической шайбы или любого сферического зеркала преподаватель дает экспериментальные ответы на следующий ряд вопросов (поясняя попутно термины).

1) Какое действие оказывает вогнутое зеркало на ход лучей, параллельных главной оптической оси? (Объясняется значение слова фокус; это латинское слово означает «очаг»); на дополнительном опыте показывается зажигание бумаги или дерева в фокусе зеркала.

2) На каком расстоянии от зеркала лежит главный фокус? (Ответ получают при помощи опыта и геометрического чертежа).

3) Какое действие оказывает сферическое вогнутое зеркало на лучи, выходящие из светящейся точки, лежащей за центром зеркала?

4) Где соберутся лучи, отраженные от зеркала, если поместить светящуюся точку в точке, через которую прошли отраженные лучи в предыдущем опыте?

Попутно преподаватель демонстрирует учащимся изображения от вогнутого сферического зеркала при разных расстояниях предмета от зеркала.

Формула для сферических зеркал не выводится.

В заключение приводятся технические примеры управления ходом световых лучей и особенно подчеркивается важность его в оборонном деле (прожектор).

Попутно с изложением вышеуказанного материала преподаватель рассказывает, что жрецы различных религий и разного рода мистификаторы пользовались зеркалами для получения различных фантастических изображений в дымном воздухе, чтобы внушить своим приверженцам веру в привидения, в возможность сношений с будто бы существующим загробным миром.

Показав изображение в дымном воздухе, преподаватель, опираясь на закон природы, вскрывает лживость таких утверждений.

При прохождении темы «Отражение света» ставится фронтальная лабораторная работа для наблюдения хода лучей при отражении.

Примечание. Построение изображений в зеркалах не является обязательным, но желательно.

4) **Преломление света.** 1. Ученики по вопросам преподавателя вспоминают, что происходит со световым лучом, падающим на границу двух сред, и каковы законы отражения. Преподаватель ставит темой урока «Явление преломления света».

Явление преломления можно изучать не на всяких поверхностях, а только на границе таких тел, в которые может перейти световой луч, т. е. прозрачных. Явление можно показать, бросая узкий пучок лучей в слегка флюоресцирующую воду вдоль погруженной вертикальной доски, окрашенной белой краской (рис. 271 учеб.) Установив, что называется лучами падающими и преломленными и углами падения и преломления, преподаватель, меняя угол падения, обращает внимание учащихся на то, в какой плоскости лежит преломленный луч, и производит сравнение углов преломления и падения: отражая луч от зеркала, расположенного на дне ванны (рис. 271, б учеб.), показывает обратимость лучей и отличие перехода луча из воды в воздух от перехода из воздуха в воду.

В первую очередь опять выясняется, в какой плоскости лежит преломленный луч. Затем на основании опыта делается вывод, что преломленный луч ближе к перпендикуляру, чем падающий, в одних веществах, которые получают название оптически более плотных, и дальше от перпендикуляра в веществах, оптически менее плотных. Следствие об обратимости луча должно быть особо отмечено. Приводятся примеры пар тел, сравнительно более и менее плотных в оптическом отношении.

В конце урока показываются явления, объясняемые преломлением: кажущийся излом палки, полупогруженной в воду; изменение размера тени от стенок на дне сосуда при наливании воды; кажущееся поднятие дна в резервуаре с водой и др. Учащиеся дают объяснение наблюдаемым явлениям. На занятиях физического кружка следует рассмотреть ход лучей через плоскопараллельную пластинку и призму.

При разборе прохождения лучей через призму преподаватель подчеркивает, что призма дает мнимое изображение предмета.

Преподаватель отмечает, что пластинка и в особенности призма позволяют управлять ходом лучей.

5. Х о д л у ч е й ч е р е з л и н з у. Демонстрируются свойства сферических стекол. Проводятся демонстрации главного фокуса двояковыпуклой и плоско-выпуклой линзы, оптического центра (выходящий луч параллелен падающему) и изображений при разных положениях предмета относительно линзы.

Надо показать зависимость главного фокусного расстояния от толщины линзы и остановить внимание учащихся на том, как при помощи выпуклой линзы можно получить пучок параллельных лучей из пучка расходящихся лучей. Также надо показать, что вогнутая линза рассеивает как пучок параллельных лучей, падающих на нее, так и пучок расходящихся лучей, почему ей и дают название «рассеивающей» линзы. Демонстрации можно проводить с набором линз, пуская лучи через задымленный воздух или заставляя их скользить вдоль белого экрана. При наличии в физическом кабинете оптической шайбы с ней можно провести все необходимые демонстрации.

Изучение проводится чисто качественно на демонстрациях. Учащимся показывают, как следует производить построение получаемого при помощи линзы изображения.

При невозможности вычертить ход лучей для всех продемонстрированных случаев, желательно сделать чертежи для тех случаев, которые соответствуют ходу лучей в проекционном и фотографическом аппаратах.

При прохождении темы ставится лабораторная работа: наблюдение изображений, даваемых линзой.

Изученные явления кладутся в основу объяснения зрения и прилагаются к разбору многочисленных технических применений, к устройству фотоаппарата, проекционного фонаря и, в частности, в оборонной технике.

6. П о н я т и е о б у с т р о й с т в е г л а з а. Устройство глаза демонстрируется учащимся на таблице или модели. Особенно подчеркивается, что для ясного видения необходимо, чтобы изображение предмета всегда попадало на сетчатую оболочку.

Процесс аккомодации следует показать на опыте. Один из возможных опытов состоит в следующем.

Экран из промасленной бумаги или матового стекла, обращенный к учащимся и изображающий собой сетчатую оболочку, помещается на неизменном расстоянии от выпуклой линзы, изображающей хрусталик.

Перед «хрусталиком» ставится электрическая лампа или горящая свеча на таком расстоянии, чтобы ее изображение падало на экран. Затем предмет отодвигается (на заранее отмеченное место); изображение становится расплывчатым; прежняя линза заменяется другой (заранее подобранной), такой, чтобы на экране при неизменном положении его получить опять отчетливое изображение. Сравниваются кривизны обеих линз и делается соответствующий вывод.

Также следует продемонстрировать недостатки глаз — близорукость и дальнозоркость — и устранение их при помощи очков.

Моделью глаза может служить колба, наполненная водой, подкрашенной флюоресцирующим веществом. Установка собирается так, чтобы фокус лучей, параллельных главной оптической оси глаза, был внутри колбы (модель близорукого глаза) или за колбой (модель дальнозоркого глаза). Затем присоединением заранее подобранных линз — вогнутой в первом случае и выпуклой во втором — главный фокус переводится на заднюю стенку колбы, что может быть хорошо наблюдаемо благодаря флюоресценции.

37. Разложение белого света на цвета

Задачей темы является объяснение цвета тел при естественном белом свете и при искусственном цветном освещении.

Преподаватель выясняет, приходилось ли учащимся наблюдать, как при освещении некоторых предметов солнечным, т. е. белым, светом получается цветная окраска, например мыльного пузыря (демонстрация). Учащиеся к этому примеру прибавляют и другие случаи, например цветная окраска нефтяного пятна на поверхности воды, цветные лучи, идущие от грани зеркала, наконец, радуга, полевые цветы и т. д.

Возникает вопрос: чем объясняется различная окраска тел и цвета радуги при освещении белым светом?

Чтобы понять возникновение естественных цветов и искусственных красок, надо познакомиться с составом белого света и свойствами его составных частей.

Г. Состав белого света и свойства его составных частей. Преподаватель рассказывает, что состав белого света впервые определил Ньютон в 1666 г. Обязательна демонстрация явления: разложение белого света, пропущенного через узкую щель, при помощи призмы.

Добавочный прибор — собирательное стекло для проектирования освещенной щели на экран. Экран должен быть поставлен на таком расстоянии, чтобы на нем получилось изображение щели — этим достигается отчетливость изображения. (В распоряжении экспериментатора должен быть второй подвижной экран.)

Установка для демонстрации явления собирается перед учащимися и схематически вычерчивается на доске с объяснением назначения отдельных частей.

Во время опыта преподаватель обращает внимание учащихся на то, что призма устанавливается своим преломляющим ребром параллельно щели.

Преподаватель приступает к первому опыту. Учащиеся видят на экране полученное при помощи линзы изображение щели (призмы на пути лучей нет). Затем на пути лучей помещается призма. Учащиеся устанавливают, что вместо светлого изображения щели на экране получился последовательный ряд ее цветных изображений.

Совокупность цветных изображений освещенной белым светом щели называется **спектром**.

Спектр состоит из многих цветных полос, цвета которых последовательно и незаметно переходят один в другой.

Основные цвета были указаны Ньютоном, именно: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый.

Некоторые из промежуточных цветов носят составные названия: желто-зеленый, зелено-голубой и т. п.

Учащиеся устанавливают, какие лучи менее всего отклонились от начального направления и какие более всего.

Преподаватель отмечает, что различное отклонение от первоначального направления есть признак различной преломляемости цветных лучей, увеличивающейся от красного цвета к фиолетовому.

Учащиеся совместно с преподавателем устанавливают: белый свет состоит из многих цветных лучей, обладающих различной, непрерывно изменяющейся преломляемостью.

Разложение белого света на цвета называется дисперсией света.

Таким образом проводят анализ белого света.

Надо обратить внимание учащихся, что разложение белого света на цветные лучи происходит уже на первой грани призмы при переходе света из воздуха в стекло и что на второй грани при переходе лучей из стекла в воздух расхождение лучей увеличивается вследствие вторичного преломления.

2. Синтез белого света. Вывод о сложном составе белого света может получить дальнейшее подтверждение, если возможно будет составить из всех спектральных цветных лучей белый свет.

Опыт. На пути спектральных лучей ставится цилиндрическое стекло, образующие которого параллельны щели, и передвигается до тех пор, пока на экране не получится белая полоса.

2-й вариант опыта: на пути спектральных лучей ставится сферическое собирающее стекло.

3-й вариант опыта: приводится на центробежной машине в быстрое вращение (более 10 об/сек) круг с нанесенными на него цветными секторами, так называемый круг Ньютона.

Вывод из опыта: при смешении всех спектральных лучей получается белый свет.

Составление белого света из всех цветных спектральных лучей называется **синтезом белого света**.

Синтез белого света произвел впервые Ньютон в 1667 г.

38. Цвет тел и смешение красок

а) Сначала рассматривается вопрос о **цвете прозрачных тел**. Преподаватель должен заготовить цветные стекла — красное, зеленое и др. (хороши стекла для железнодорожных фонарей) или пластинки желатины, а также цветные растворы (медного купороса, двухромовокислого калия, марганцовокислого калия в разных концентрациях, спиртовой вытяжки хлорофилла и др.).

Для цветных растворов надо иметь несколько узких сосудов с плоскопараллельными гранями (можно изготовить самим).

Собирается установка, аналогичная установке для получения спектра.

Порядок выполнения опыта такой: а) преподаватель показывает при освещении белым светом цветное прозрачное тело; б) на экране получает сплошной спектр; в) на пути лучей до или сзади призмы ставит прозрачное цветное тело и отмечает, какие лучи сплошного спектра поглощены и какие пропущены; г) осуществляет сложение пропущенных лучей на экране при помощи цилиндрического стекла и окраску полученной полосы (изображения щели) сравнивает с цветом прозрачного тела.

Опыт повторяется с другими цветными стеклами и растворами. Делается вывод: каждое цветное прозрачное тело часть цветных лучей из падающего на него белого света поглощает, а другие лучи пропускает; цвет тела получается от сложения пропущенных лучей.

б) **Цвет непрозрачных тел.** Преподаватель должен приготовить набор полосок цветных материй или цветных бумаг и набить их на раму параллельными полосками.

Получив на экране сплошной спектр, преподаватель устанавливает в спектре раму так, чтобы полоски были параллельны длине спектра, и улавливает на каждую цветную полоску весь спектр.

Вывод из опытов: непрозрачные цветные тела одну часть падающего на них белого света поглощают, другую отражают; их цвет соответствует смеси отраженных лучей.

Зависит ли цвет тел от состава освещающего их света?

На экране получают спектр: в разные части его вводят цветные непрозрачные и прозрачные тела и наблюдают изменения в их цвете.

Вывод из опыта: цвет всех тел зависит от цвета освещающего их источника света.

Это можно подтвердить различием в окраске материй, лиц и др. при солнечном свете (утреннем, дневном, вечернем) и при различных искусственных источниках освещения, изменением окраски тел при рассматривании их через цветные стекла.

в) **Цвет смеси красок.** Собирается установка для получения спектра. На пути лучей ставится одно прозрачное окрашенное тело (стекло, раствор) и отмечают пропущенные цветные лучи, затем вносится второе окрашенное тело и отмечают пропущенные им лучи. Наконец, ставятся один за другим одновременно оба тела и отмечают пропущенные ими лучи.

Опыты повторяются в разных комбинациях.

Вывод из каждого опыта так же, как и из их совокупности: при смешении красок пропускаются только те лучи, которые проходят через каждую смешиваемую краску в отдельности; цвет смеси красок есть цвет смеси лучей, проходящих одновременно через все смешиваемые краски.

Б. ВТОРАЯ СТУПЕНЬ ИЗУЧЕНИЯ ПРЕДМЕТА ФИЗИКИ

1. МЕХАНИКА

39. Общие замечания по разделу «Механика».

Учащиеся вынесли из VI класса представление, что изменение движения, т. е. изменение скорости или направления движения (пока приходилось говорить о том и другом отдельно) какого-либо тела происходит только при взаимодействии его с другими телами, причем состояние движения у взаимодействующих тел изменяется одновременно.

Для обозначения причины изменения движения введено понятие силы. Учащиеся знакомы с графическим изображением силы и ее измерением по деформации тел.

В курсе физики VI—VII классов даны также понятия о работе силы, об энергии тела и о преобразовании энергии, при которых величина энергии остается неизменной.

В старших классах при изучении механического движения встают новые задачи.

1. Расширить понятие о видах механического движения, рассмотрев движение прямолинейное равномерно-переменное, движение равномерное по окружности и гармонические колебания.

2. Расширить понятие о скорости, введя понятие о мгновенной скорости и раскрыв векторный характер скорости.

3. Ввести понятие о новой характеристике движения, ускорении, и классифицировать различные виды движения на основе этого понятия.

4. Объяснить законы динамики, установить понятие о массе, уточнить понятие о силе и дать системы единиц для измерения механических величин.

5. Рассмотреть правила сложения движений, уточнить понятие об относительности движения и покоя и о невозможности абсолютного покоя.

6. Приложить основные законы динамики к случаям движения под действием силы тяжести, движения по окружности и движения под действием упругих сил.

7. Расширить понятие о работе силы, применив его к случаю силы, действующей под углом к перемещению тела.

8. Дать математические выражения для кинетической и потенциальной энергии и показать численную зависимость между изменением энергии и произведенной работой.

9. Дать правила сложения и разложения сил и вывести условия равновесия сил на свободном теле; на теле, имеющем одну, две, три закрепленные точки; на телах твердых, жидких и газах.

10. Разобрать законы гидроаэродинамики и выяснить роль русских ученых и изобретателей в создании и развитии теории и практики авиации.

11. Показать в историческом очерке, почему и как в XVII в. были открыты основные законы механики; отметить те изменения, которые произошли в понимании этих законов к нашему времени, и наметить пределы их применимости.

12. Дать диалектико-материалистическое толкование механических понятий.

13. Использовать, как и раньше, данные о применении достижений науки в коммунистическом строительстве для воспитания чувства гордости за свой народ и социалистическое Отечество.

Школьная механика должна опираться на основное положение материализма — объективное существование материи, находящейся в вечном движении; поэтому факты движения, а не покоя должны быть выдвинуты на первое место.

Однако в начале изучения механики не следует увлекаться кинематикой, так как при таком порядке изложения механики мысль учащегося слишком долго удерживается на формальных признаках движения без понимания способа изменения состояния движения тел.

Более цельное восприятие процесса движения происходит тогда, когда описание вида движения сопровождается указанием взаимодействия тел, благодаря которому осуществляется тот или другой вид движения. Такой метод изложения возможен лишь при более раннем рассмотрении законов динамики. Раздел кинематики в новейшей программе разделен на две крупные темы: равномерное движение и равномерно-переменное движение.

Глава V.

КИНЕМАТИКА.

40. Равномерное движение

1. **П о у р о ч н о е п л а н и р о в а н и е т е м ы.** Для облегчения планирования темы можно предложить следующее примерное распределение ее по урокам, которое не должно связывать инициативу преподавателя в особенности в части распределения упражнений.

План составлен в предположении, что учащиеся путем повторения легко могут вспомнить усвоенное в VII классе понятие о ско-

рости и связи между путем, скоростью и временем в равномерном движении.

Наличие этого плана позволит в дальнейшем изложении курса методики не разбирать последовательно отдельных уроков.

Примерное распределение частных тем по урокам.

1. Относительность движения и покоя. Уравнения равномерного движения.

2. Скорость—вектор. Графики скорости и пути. Упражнения.

3. Решение задач.

4. Сложение путей и скоростей. Упражнения.

5. Разложение скоростей. Упражнения.

6. Понятие о поступательном и вращательном движениях. Упражнения.

7. Линейная скорость равномерного движения по окружности. Упражнения.

8. Понятие о частоте оборотов в равномерном движении по окружности. Упражнения.

9. Устройство и действие счетчика оборотов.

10. Повторение, обобщение и упражнения по всей теме.

2. О т н о с и т е л ь н о с т ь д в и ж е н и я и п о к о я. На вступном уроке, используя разнообразные примеры, преподаватель устанавливает основные положения: движение есть форма существования материи; формы движения многообразны; простейшей формой движения является механическое движение, заключающееся в перемещении одного тела относительно другого: следовательно, существуют только относительное движение и относительный покой.

3. В и д ы д в и ж е н и й. З а к о н ы р а в н о м е р н о г о д в и ж е н и я. Дальше разбираются известные учащимся примеры различно движущихся тел (транспорт, эскалатор метро, отходящие от станций и подходящие к ним поезда) и демонстрируются различные движения тел: движение по наклонной плоскости, вращение шкива, движение шатуна паровой машины, колебание маятника. На основе сопоставления различных видов движения производится подразделение их на следующие группы: движения равномерные и переменные, движения прямолинейные и криволинейные. Проводится повторение законов простейшего вида движения — прямолинейного и равномерного, известного учащимся из курса VII класса.

4. С к о р о с т ь—в е к т о р. Понятие о скорости прямолинейного равномерного движения еще раз тщательно разъясняется и дополняется выяснением векторного характера скорости.

Преподаватель приводит основание для признания векторного характера скорости, сопоставляет понятия о векторной и скалярной величинах и предлагает учащимся привести примеры тех и других величин.

5. Г р а ф и к и с к о р о с т и и п у т и р а в н о м е р н о г о д в и ж е н и я. Следующий урок посвящается построению и изучению графиков скорости и пути.

Уравнения равномерного движения выражаются не только словесно и алгебраически, но и графически — вычерчиваются графики скорости и пути.

По отношению к графику скорости преподаватель должен отметить, что по этому графику можно найти величину пройденного пути, подчеркнув при этом, что пройденный путь только численно равен площади, ограниченной осью абсцисс, графиком скорости и ординатами начала и конца движения, но путь ни в каком случае фактически не может совпадать с площадью.

Конец второго урока и ближайшие уроки посвящаются упражнениям в решении задач на прямолинейное равномерное движение.

6. Сложение прямолинейных равномерных движений. В жизни учащиеся имеют возможность наблюдать многочисленные случаи сложения путей и скоростей нескольких движений.

Учащиеся знают, например, что при движении лодки поперек реки ее всегда сносит течением. В результате лодка движется под углом к берегу. Учащиеся могут пронаблюдать за перемещением груза, переносимого подъемным краном на стройках, при сообщении ему движения по вертикальному направлению и по горизонтальному.

Если человек идет по движущемуся эскалатору (в метро), то он одновременно участвует в двух движениях.

Так возникает задача о сложении движений.

В начале изложения вопроса о сложении движений надо подчеркнуть, что тело всегда находится в некотором едином движении; только для удобства изучения рассматривают это движение как сочетание нескольких движений.

Пусть учащиеся представят себе, что пассажир идет по эскалатору московского метро. По отношению к контролеру, неподвижно стоящему в начале эскалатора, этот пассажир находится в некотором едином движении. Но его движение может быть рассмотрено как состоящее из двух: движения лестницы эскалатора относительно контролера при неподвижном стоянии пассажира на ступеньке и из движения пассажира по ступенькам эскалатора в предположении, что сам эскалатор неподвижен.

1) На основании разобранных примеров надо сначала решить задачу о сложении путей двух равномерных и прямолинейных движений.

Перед теоретическим выводом следует показать сложение путей по крайней мере на следующих опытах.

а) Вычерчивание пути сложного движения при помощи линейки.

В упрощенном виде можно равномерно перемещать по бумаге острие карандаша вдоль катета прямоугольного треугольника, гипотенуза которого равномерно движется вдоль линейки (рис. 27).

б) Наблюдение движения шарика, равномерно поднимающегося вдоль образующей стеклянного цилиндра, при равномерном перемещении самого цилиндра по горизонтали (рис. 28).

Опыты можно разнообразить тем, что цилиндр ставится не только вертикально, но и наклонно под разными углами к горизонту.

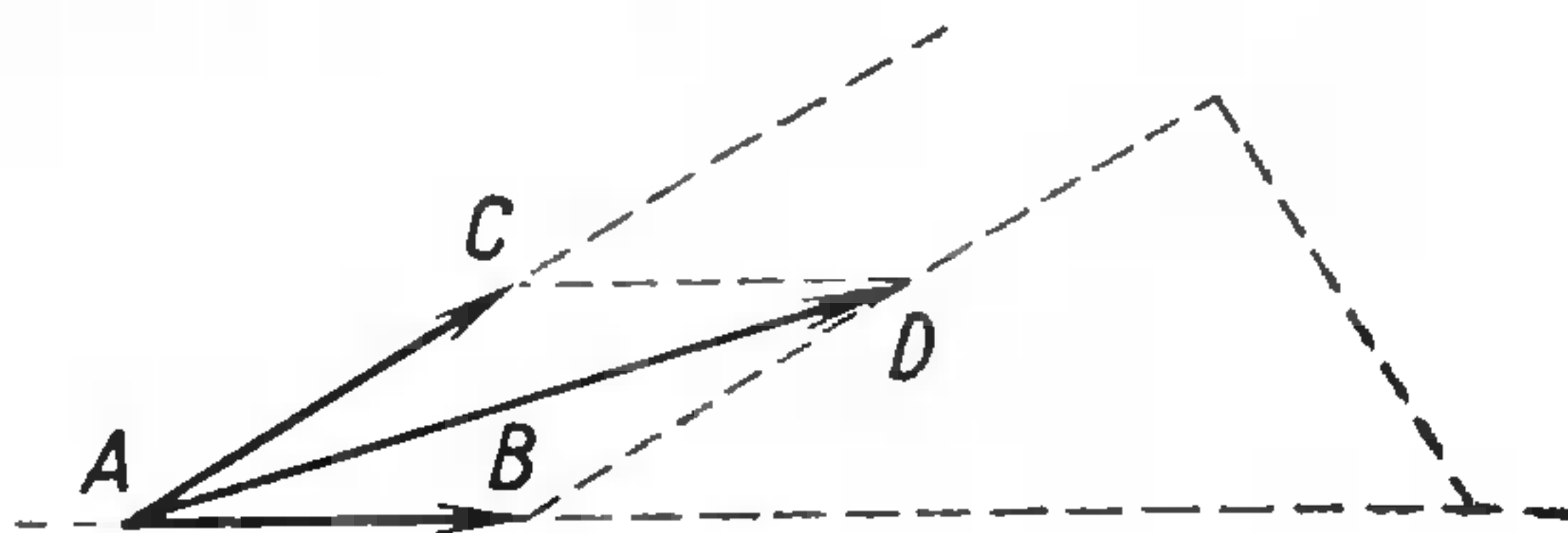


Рис. 27

в) Наблюдение над подъемом груза на модели мостового подъемного крана (по рисункам).

После демонстрации приводится теоретический вывод правила сложения путей двух равномерных прямолинейных движений.

При разборе этого вопроса надо еще раз остановить внимание учащихся на относительности всякого движения.

2) Сложение скоростей. Надо показать, что часть чертежа, сделанного для сложения путей двух равномерных прямолинейных движений, относящаяся к путям, пройденным за одну секунду, представит собой и сложение скоростей.

Из рассуждения и чертежа выводится правило параллелограмма для сложения скоростей. Из этого общего правила надо

вывести правило сложения скоростей, направленных по одной прямой в одинаковую и в противоположные стороны.

3) Разложение вектора скорости на составляющие. Переходя к вопросу о разложении скоростей, надо на примерах показать практическое значение этой задачи. Затем на модели и на чертежах показывается неопределенность задачи разложения вектора на две составляющие. Из этого разбора делается вывод, что для определенности решения нужны добавочные условия. Рассматриваются два основных условия:

1. Заданы два направления составляющих;
2. Заданы величина и направление одной составляющей скорости.

Изложение темы сопровождается решением задач.

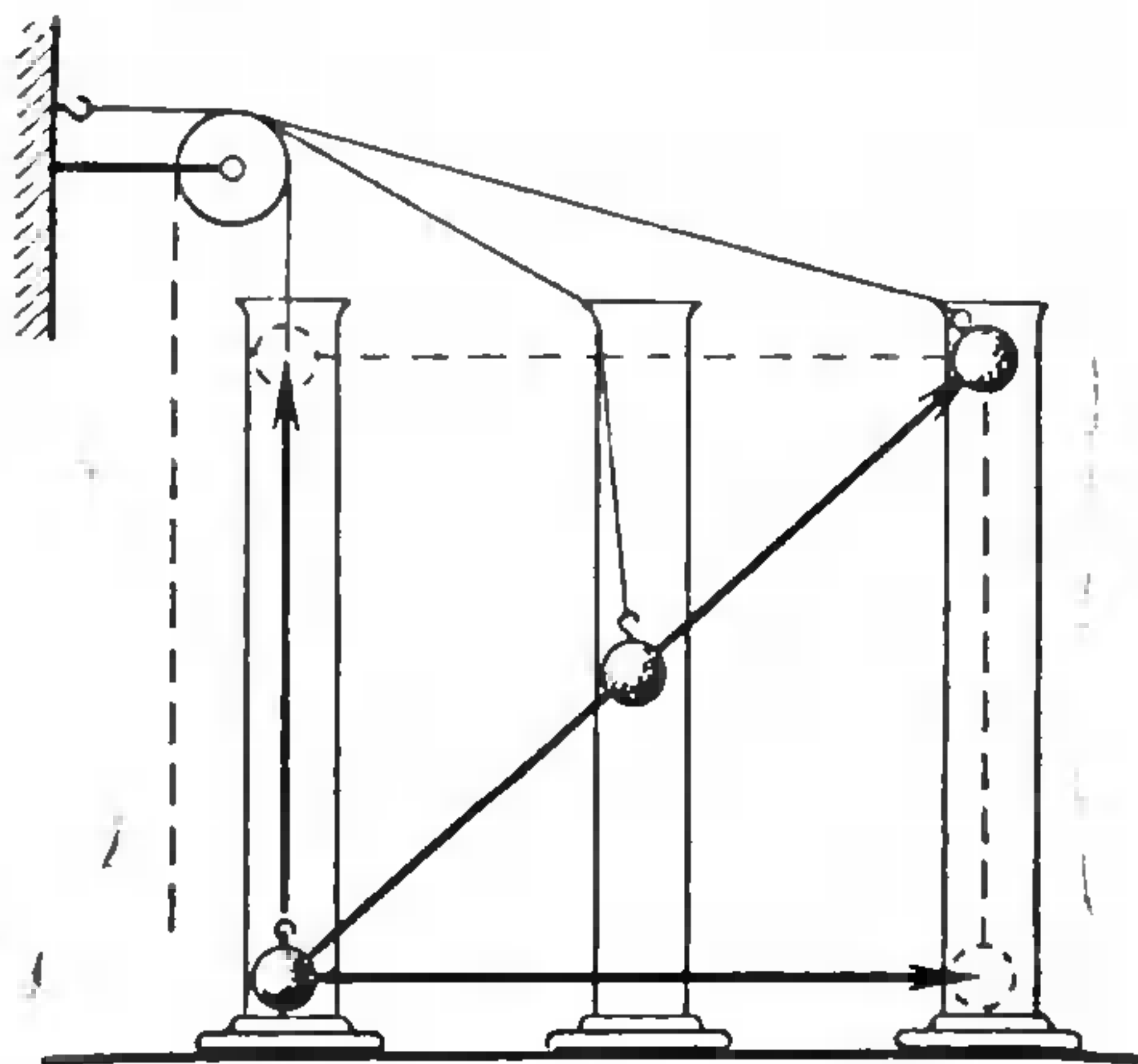


Рис. 28

7. Поступательное и вращательное движения тела. В предыдущих темах учения о равномерном движении в явной или неявной форме рассматривалось движение отдельной точки. Возникает вопрос о движении тела, состоящего из множества точек. Рассматриваются два вида движения тел: поступательное и вращательное. Изучение обоих видов движения следует провести на одном уроке, так как их противопоставление приводит к лучшему усвоению учебного материала.

Сначала преподаватель показывает, что тело, например линейка, может двигаться так, что разные точки его описывают разные траектории. Но среди этих различных движений может встретиться и такое, при котором траектории всех точек будут одинаковыми кривыми или прямыми линиями.

Изобразив на чертеже (рис. 6, учеб. ч. 1) несколько случаев поступательного движения, преподаватель дает определение поступательного движения.

Затем учащиеся под руководством и с помощью преподавателя приводят примеры поступательного движения (если можно, с показом): движение поршня в цилиндре паровой машины, движение гвоздя, забиваемого в доску, движение напильника (приблизительно) при опиловке плоскости, движение иглы в швейной машине, движение по прямой дороге кузова машины (но не колес).

Преподаватель подчеркивает, что для равномерного поступательного движения тела имеют место те же законы, которые получены для равномерного движения точки.

Дальше, на примерах движения шкивов различных машин, имеющих в физическом кабинете, преподаватель показывает, что этот вид движения по своим признакам отличается от поступательного движения. Следовательно, надо дать характеристику новому виду движения. Назвав новый вид движения (вращательное движение), преподаватель на основе анализа показанных примеров дает его определение.

Сопровождая объяснение чертежом, преподаватель подчеркивает, что вращательное движение чрезвычайно широко используется в технике и встречается в природе (например, вращение Земли и других планет вокруг оси). Технические примеры приводятся учащимися.

8. Линейная скорость равномерного движения по окружности. В программе VIII класса скорость криволинейного движения рассматривается лишь с одной стороны — со стороны ее численного значения.

Но если установлено понятие о скорости как о векторе, то в дальнейшем разрыв двух характеристик скорости — численной величины и направления — был бы нецелесообразным. Поэтому изложение понятия о скорости в равномерном движении по окружности следует разбить на две части. В первой разобрать хотя бы только на опытах вопрос о направлении скорости при движении по окружности, во второй — вопрос об ее величине.

Демонстрации для определения направления линейной скорости при вращательном движении: на точильном круге искры в первый момент направлены по касательной к окружности камня; капли краски, пускаемые на поверхность быстро вращающегося волчка (тяжелого диска, низко насаженного на ось), соскальзывая на бумагу, поставленную под ось волчка, прочерчивают на ней касательные к окружности волчка; пробковый шарик, приведенный в быстрое вращение по окружности, при отпуске нити в разные моменты во всех случаях продолжает свое движение в первый момент по касательной. Следовательно, линейная скорость точки, движущейся по окружности, направлена по касательной к этой окружности.

Переходя к вопросу о величине линейной скорости равномерного движения по окружности, преподаватель вводит понятие периода вращения и, пользуясь знанием учащихся из уроков по математике формулы длины окружности, после ряда устных расчетов подводит учащихся к формуле $v = \frac{2\pi R}{T}$.

Упражнениями он закрепляет понимание и пользование формулой.

9. Ч а с т о т а в р а щ е н и я. На следующем уроке преподаватель знакомит учащихся с другой, помимо периода, характеристикой вращательного движения — частотой вращения, обозначаемой буквой ν (греческая буква — «ню»), устанавливает ее связь с периодом вращения: $\nu = \frac{1}{T}$, и дает выражение скорости через число оборотов: $v = 2\pi\nu R$. На следующем уроке сообщает об устройстве счетчика оборотов (тахометра) с показом его, приводит примеры встречающихся в технике частот и закрепляет материал решением задач.

Последний урок отводится на общее повторение, обобщение и закрепление материала по теме.

41. Равномерно-переменное движение

1. П л а н р а с п р е д е л е н и я ч а с т н ы х т е м п о у р о к а м. Можно рекомендовать следующее примерное распределение материала по урокам.

1) Понятие о переменном движении. Скорости: средняя и мгновенная.

2) Понятие о среднем и истинном ускорении. Единицы ускорения. Упражнения.

3) Ускорение — вектор. Упражнения.

4) Понятие о равномерно-переменном движении. Ускорение равномерно-переменного движения.

5) Зависимость скорости от времени в равномерно-переменном движении. График скорости. Упражнения.

6) Зависимость пути равномерно-переменного движения от начальной скорости, ускорения и времени.

7) Упражнения (в том числе вычисление скорости и пути при движении без начальной скорости).

8) Упражнения (в том числе вычисление путей за последовательные равные промежутки времени).

9) Упражнения.

10) Понятие о свободном падении тел и об ускорении свободного падения.

11) Упражнения на свободное падение тел.

12) Лабораторная работа по проверке законов равномерно-ускоренного движения.

13) Движение тела, брошенного вертикально вверх.

14) Упражнения.

15) Повторение, обобщение, упражнения по теме.

На изучение каждого из перечисленных пунктов отводится один урок.

2. П о н я т и е о п е р е м е н н о м д в и ж е н и и и е г о с к о р о с т и. Изучение равномерно-переменного движения лучше всего начать с понятия о переменном движении. Всякий учащийся, из опыта своих собственных поездок хорошо знаком с переменным движением (с движением с переменной скоростью). Для противопоставления равномерного и переменного движений следует повторить опыты, показанные в VII классе: падение грузов с перегрузком на машине Атвуда (или просто на блоке) и равномерное движение какого-либо грузика в масле, наполняющем трубку.

Из известных примеров переменного движения устанавливается понятие о с р е д н е й с к о р о с т и.

Далее следует отметить, что скорости в разные мгновения или в разных местах пути, например при прохождении поезда мимо различных километровых столбов, будут отличаться от средней и друг от друга. Качественно это различие можно показать на машине Атвуда (или на блоке), снимая перегрузок при помощи кольца в разных частях пути и наблюдая за движением тела после снятия перегрузка.

Из этих наблюдений устанавливается, что переменное движение не может быть охарактеризовано одним значением скорости в течение всего движения, и выясняется необходимость введения понятия о скорости в данный момент времени или в данном месте пути.

Во многих учебниках скорость в данный момент времени (мгновенная скорость) определяется как предел, к которому стремится средняя скорость, вычисленная за промежуток времени, следующий за данным моментом по мере приближения этого промежутка к нулю.

Несмотря на точность такого определения, вряд ли возможно его введение на первых же уроках VIII класса. Хотя преподаватель физики может пользоваться методом пределов, но настоящий слу-

чай отличается тем, что он лишен наглядности. Первое знакомство учащихся с понятием предела на этом примере представит значительную трудность. Поэтому приходится предпочесть иной путь формирования понятия о мгновенной скорости, менее точный, но более наглядный.

Можно определить м г н о в е н н у ю с к о р о с т ь как такую скорость, с которой двигалось бы тело, если бы, начиная с данного мгновения или данного места пути, оно стало двигаться равномерно.

Чтобы создать у учащихся наглядное представление о мгновенной скорости переменного движения, можно предложить им представить себе движение по двум параллельным рельсовым колеям двух поездов: товарного равномерно и рядом пассажирского ускоренно, вначале с меньшей скоростью, чем товарный. При движении рядом по двум колеям в одном направлении может наступить мгновение, когда оба поезда будут двигаться одинаково. В этот момент мгновенная скорость поезда, движущегося переменным движением, будет равна скорости поезда, движущегося равномерно.

Надо проследить за тем, чтобы учащиеся хорошо различали два понятия: промежуток времени и момент времени (или мгновение).

3. У с к о р е н и е. После того как будет установлено, что в переменном движении каждому мгновению соответствует своя скорость, на следующем уроке можно будет показать, что в разных переменных движениях скорости со временем могут изменяться по-разному. Отходящие от станции товарный, почтовый и скорый поезда будут иметь через 5 секунд разные скорости. Все три движения — переменные (ускоренные); во всех трех скорости меняются, но изменение скоростей происходит с разной быстротой.

Поэтому, чтобы различать переменные движения, вводят новую величину, определяющую характер равномерно-ускоренного движения, которая называется у с к о р е н и е м.

Преподаватель дает определение: ускорение есть величина, измеряемая изменением скорости в единицу времени.

Преподаватель устанавливает единицы ускорения: $\frac{см}{сек^2}$, $\frac{м}{сек^2}$, затем обучает правильно произносить эти названия: сантиметр (метр) в секунду, за секунду (или сантиметр, деленный на квадрат секунды). Учащиеся должны хорошо усвоить, что ускорение — вектор, что оно должно выражаться относительным числом и что движение будет у с к о р е н н ы м, если ускорение выражается п о л о ж и т е л ь н ы м числом, и з а м е д л е н н ы м, если ускорение выражается о т р и ц а т е л ь н ы м числом.

Сначала на числовых примерах, затем в буквенном обозначении преподаватель дает выражение среднего ускорения:

$$a = \frac{v - v_0}{t}.$$

Введение понятий средней, мгновенной скорости и среднего ускорения с простыми упражнениями на расчеты займет примерно три урока.

4. Р а в н о м е р н о - п е р е м е н н о е д в и ж е н и е. Переходя к следующей теме, преподаватель предлагает учащимся сообразить, какое из прямолинейных переменных движений можно было бы считать простейшим. Вероятным будет ответ, что простейшим будет движение с постоянным ускорением. Отметив, что движение с постоянным ускорением так же редко встречается в природе и технике, как и с постоянной скоростью, преподаватель сообщает, что во многих случаях переменное движение может быть в первом приближении рассмотрено как движение с постоянным ускорением. Движение с постоянным ускорением называется р а в н о - м е р н о - п е р е м е н н ы м. Далее разъясняется, что из постоянства ускорения вытекает одинаковость приращений величины скорости в равные промежутки времени, какими бы ни были выбраны эти равные промежутки времени, и дается второе (известное) определение равномерно-переменного движения (можно ограничиться и одним из них).

5. У р а в н е н и е с к о р о с т и. Из формулы ускорения равномерно-переменного движения можно вывести уравнение скорости: $v = v_0 + at$.

Далее разъясняется физический смысл формулы и подробно рассматриваются г р а ф и к и с к о р о с т и для разных случаев.

6. У р а в н е н и е п у т и. Уравнение пути выводится через среднюю скорость. Но надо помнить, что для учащихся остается необоснованным, почему средняя скорость равномерно-переменного движения будет равна среднему арифметическому из начальной и конечной скоростей. Если такой вопрос будет поставлен учащимися (или если сам преподаватель найдет нужным это сделать), следует дать вывод формулы пути по графику скорости посредством постепенного перехода от ряда равномерных движений со скачкообразно меняющимися скоростями к переменному движению, как это видно из рисунка 29.

Какой бы вывод ни был применен, формулы скорости и пути должны быть едиными для обоих видов равномерно-переменного движения — ускоренного и замедленного.

Не рационально говорить о том, что ускорение выражается относительным числом; а затем выражать его абсолютным числом, вводя знак минус в уравнения замедленного движения: $v = v_0 - at$ и $s = v_0 t - \frac{at^2}{2}$, как это дается во многих учебниках.

В порядке упражнения учащиеся выводят из основных уравнений производные соотношения: $v^2 = 2as$ и $s' : s'' : s''' = 1 : 3 : 5 \dots$. На упражнениях вычерчивается также график пути равномерно-ускоренного движения.

Изложение законов прямолинейного равномерно-переменного движения сопровождается решением задач, содержащих конкрет-

ные случаи движений, которые приближенно могут быть приняты за равномерно-переменные.

Если учащиеся к этому времени еще не приобретут умения решать полные квадратные уравнения, то преподаватель физики согласует с преподавателем математики перенос на его уроки решение тех видов конкретных задач, которые приводят к решению полных квадратных уравнений и которые могут служить хорошими упражнениями на решение полных квадратных уравнений.

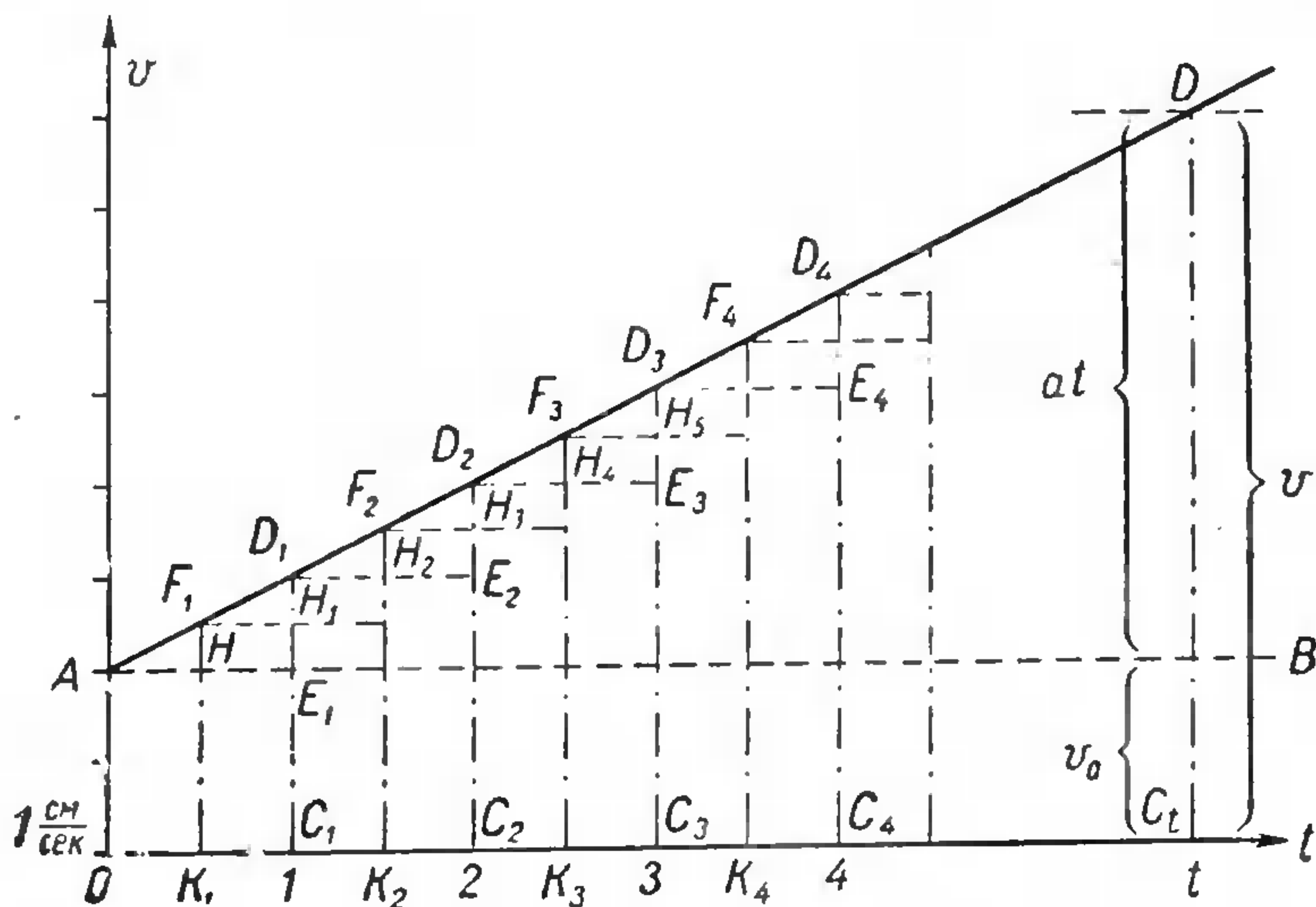


Рис. 29

Все задачи на равномерно-переменное движение, которые сводятся к решению неполных квадратных уравнений, рассматриваются своевременно на уроках физики, так как учащиеся без особого труда поймут из объяснения преподавателя физики способ их решения.

42. Свободное падение тел

1. Определение и законы свободного падения. Конкретным примером равномерно-ускоренного движения, при известных условиях осуществляющегося в природе, может служить свободное падение тел.

Свободным падением называется движение тела под действием только силы тяжести с начальной скоростью, равной нулю, в среде, не оказывающей сопротивления движению.

Надо сообщить учащимся, что устранить сопротивление среды, т. е. вещества, в котором происходит движение тела, можно только в лабораторных условиях и то до некоторой, впрочем, очень значительной степени. Практически же при падении в воздухе с небольших высот тел не слишком малого веса и достаточно обтекаемой формы сопротивление воздуха не влияет на характер движения.

Изучение формы движения при свободном падении должно быть проведено экспериментально.

Опыты, в зависимости от наличия приборов, могут быть произведены на различных установках, описанных в учебниках или во II томе «Физического эксперимента в школе» (§24, 16).

2. У с к о р е н и е с в о б о д н о г о п а д е н и я. Для полноты изучения свободного падения разбирается вопрос: одинаково или различно ускорение свободного падения в одном и том же месте для тел разного веса.

Преподаватель выпускает из обеих рук с одной и той же высоты два тела разного веса, например свинцовый и деревянный шарики, и предлагает учащимся прислушиваться к ударам обоих тел о стол. Если при повторных опытах учащиеся воспринимают одновременность ударов обоих тел о стол, то из этого факта они могут вывести заключение, что ускорение свободного падения не зависит от веса тела. Следует рассказать об опытах и теоретических рассуждениях по этому вопросу знаменитого итальянского ученого Галилея.

Но учащиеся в этом месте обыкновенно приводят свои бытовые наблюдения, противоречащие предыдущему выводу. В самом деле, развернутый лист бумаги и маленький шарик, даже одинакового веса с бумагой, падают с одной и той же высоты за различное время.

Это противоречие необходимо преподавателю вскрыть, продемонстрировав влияние на движение сопротивления среды. Он показывает падение двух одинаковых листов бумаги, одного в развернутом виде, другого — смятого в комок; показывает различие во времени падения с одной и той же высоты двух одинаковых стальных шариков, одного в воздухе, другого в трубке, наполненной водой, и демонстрирует падение различных тел в трубке Ньютона до выкачивания из нее воздуха и после выкачивания.

Преподаватель рассказывает учащимся, что из опытов, обнаруживающих равномерно-ускоренное движение при свободном падении, можно вычислить величину ускорения свободного падения; приводит численные значения этой величины для разных мест Земли и отмечает, что в отличие от всех других ускорений ускорение свободного падения принято обозначать латинской буквой g (приносится «ге»), от первой буквы латинского слова «gravitas» — гравитас, что значит «тяжесть».

Для свободного падения без начальной скорости формулы равномерного ускоренного движения принимают вид:

$$v = g t; \quad s = \frac{gt^2}{2}; \quad v = \sqrt{2gs}.$$

43. Движение тела, брошенного вертикально вверх

Чтобы еще отчетливее конкретизировать для учащихся сложение скоростей, следует разобрать движение тела, брошенного вверх с некоторой начальной скоростью v_0 .

Такое движение можно рассматривать как сложное движение, состоящее из двух движений: первого — вверх по инерции (изучено в курсе VII класса) с постоянной скоростью v_0 ; второго — вниз (свободное падение со скоростью, пропорциональной времени). В каждое мгновение векторы скоростей обоих слагаемых движений направлены в прямо противоположные стороны, следовательно, скорость сложного движения равна разности рассматриваемых скоростей. Так как уменьшаемое — скорость движения по инерции — величина постоянная, а вычитаемое — скорость свободного падения — величина равномерно увеличивающаяся, то разность их — скорость сложного движения — будет величиной равномерно убывающей.

На основании такого рассуждения учащиеся могут прийти к заключению, что движение брошенного вверх тела является равномерно-замедленным. Чтобы дать учащимся представление об изменении скорости брошенного вверх тела, можно предложить им составить следующую таблицу, заполняя ее сначала числовыми данными, а затем дав решение задачи в буквенном виде.

Время с момента бросания	1 сек.	2 сек.	3 сек.	t сек.
Скорость движения вверх по инерции	$v_0 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$	$v_0 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$	$v_0 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$	$v_0 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$
Скорость падения	$g \cdot 1 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$	$g \cdot 2 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$	$g \cdot 3 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$	$g t \frac{\text{см}}{\text{сек}}$
Скорость брошенного вверх тела в $\frac{\text{см}}{\text{сек}}$	$v_1 = v_0 - g$	$v_2 = v_0 - 2g$	$v_3 = v_0 - 3g$	$v_t = v_0 - gt$

Опираясь на эту таблицу, можно поставить вопрос о времени подъема $t_{\text{под}}$, т. е. о том времени, по прошествии которого скорость поднявшегося вверх тела обращается в нуль ($v_0 - gt = 0$).

Дальше можно предложить учащимся вычислить высоту подъема, определить дальнейшее поведение тела, найти время падения и конечную скорость падения и сравнить их со временем подъема и начальной скорости бросания при условии отсутствия сопротивления среды.

Лабораторная работа по теме проводится по описанию, данному в учебнике или в специальном руководстве по лабораторным работам (Фрон. л. 3.).

ДИНАМИКА

44. Законы движения тел.

1. О б щ и е з а м е ч а н и я. а) Приступая к изложению этого крупного и важного раздела механики, преподаватель должен дать себе отчет, какие новые понятия он должен здесь обосновать или углубить (инерция, масса, сила, импульс силы, количество движения); какие новые знания он должен сообщить (три закона динамики, закон сохранения количества движения); какие умения он должен закрепить (умение выделять в явлениях природы и технике закономерности динамики и умение применять изученные законы к решению частных, конкретных задач на движение).

Преподаватель должен хорошо продумать значение этого раздела механики в системе всего образования. Наряду с п о з н а в а т е л ь н ы м значением раздел имеет большое м е т о д о л о г и ч е с к о е значение. В динамике мы имеем яркий пример проявления великого закона диалектического материализма — единства противоположностей — в виде 3-го закона динамики.

Здесь же закладывается понимание одного из основных законов природы — закона сохранения (количества движения); раскрывается определение массы как меры инерции, имеющее большое значение для материалистического понимания природы.

В дальнейшем, на примере развития понятия массы, можно показать, что диалектический материализм не приписывает понятиям и законам застывший, раз навсегда установившийся характер, но рассматривает их в движении, в изменении, в зависимости от новых открытий.

Чрезвычайно велико значение изучаемых законов для п о л и т е х н и ч е с к о г о обучения, так как эти законы используются решительно во всех областях техники.

В частности, разбирая использование реактивного движения в технике (реактивные самолеты, межконтинентальные и космические ракеты и т. д.), надо указать на достижения в этой области советской техники и познакомить учащихся с деятельностью крупнейших русских ученых и инженеров, работавших в этой области. Тем самым будет использована в о с п и т а т е л ь н а я сторона этой темы для развития чувства патриотизма.

б) Законы движения тесно связаны между собой и по существу представляют единое целое и в этом единстве они должны быть изложены учащимся. Поэтому перед количественным изучением второго и третьего законов все три закона должны быть суммарно представлены учащимся в следующем обобщенном, качественном виде.

Тело само по себе сохраняет свою скорость неизменной. Изменение скорости, т. е. ускорение, может быть получено данным телом только под действием другого тела. Одностороннего действия в

природе не существует. При всяком изменении скорости одного тела другим телом оба тела действуют друг на друга, взаимодействуют между собой.

Вот эту связь всех законов динамики учащиеся должны хорошо представлять себе.

При первом знакомстве с законами они могут быть даны учащимся в упрощенной, не в ньютоновской формулировке; последняя может быть введена с надлежащими разъяснениями в конце изучения или при повторении.

в) Н ь ю т о н о в с к о е и с о в р е м е н н о е о п р е д е л е н и е с и л ы и м а с с ы. Законы Ньютона были в первый раз опубликованы в 1687 г. в сочинении, озаглавленном «Математические начала натуральной философии» (*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*).

Диалектико-материалистическая методология заставляет пересмотреть ньютоновскую трактовку основных механических понятий. По Ньютону, «абсолютное, истинное, математическое время само по себе и по самой своей сущности без всякого отношения к чему-либо внешнему протекает равномерно и иначе называется длительностью. Абсолютное пространство по самой своей сущности безотносительно к чему-либо внешнему остается всегда одинаковым и неподвижным».

В философии диалектического материализма пространство и время являются формами существования материи. Они неотделимы от движения материи. Пространство и время являются абсолютными, поскольку вечна и абсолютна движущаяся материя, но они не являются метафизическими величинами, существующими независимо от чего бы то ни было.

Так как философия диалектического материализма раскрывает, что пространство есть форма существования материи, что существует вечно движущаяся материя, то нет во вселенной неподвижной точки, по отношению к которой могли бы существовать абсолютное движение и абсолютный покой. Хотя движение материи существует абсолютно, но каждое отдельное движение ее частей относительно. Относителен и покой, причем он является частным случаем и необходимым моментом движения, при котором относительное положение двух движущихся тел не меняется.

Далее, по Ньютону, абсолютное движение не может ни возникнуть, ни измениться иначе, как под действием сил, приложенных непосредственно к самому движущемуся телу, тогда как материалистическая диалектика показывает, что движение есть вечное состояние материи, не нуждающееся ни в каком возбудителе, ни в каком внешнем первичном толчке.

Слово «масса» было впервые введено Ньютоном в первом определении его книги: «Количество материи (масса) есть мера таковой, устанавливаемая пропорционально плотности и объему ее». В эпоху Ньютона плотность определялась не через массу, а как величина, пропорциональная весу.

В позднейшей методической литературе вплоть до настоящего времени идет борьба между двумя основными определениями массы: масса — количество вещества (не в ньютоновском смысле) и масса — мера инерции тела.

В дальнейших частях методики будет выясняться и применяться понятие о массе как о мере инерции.

2. П р и м е р н о е р а с п р е д е л е н и е т е м п о о т -
д е л ь н ы м у р о к а м .

1-й у р о к . Краткое историческое введение. Общий обзор содержания законов движения. 1-й закон — закон инерции.

2-й у р о к . Обусловленность ускорения движения тела действием на него другого тела.

3-й у р о к . Вывод второго закона динамики.

4-й у р о к . Введение понятия о массе.

5-й у р о к . Единицы массы. Способ измерения массы.

6-й у р о к . Выражение веса тела через его массу; обоснование измерения массы на весах.

7—10-й у р о к и . Системы единиц *CGS* и *MKS* и упражнения¹.

11-й у р о к . Третий закон динамики.

12-й у р о к . Разбор конкретных случаев проявления 3-го закона.

13-й у р о к . Продолжение разбора случаев проявления 3-го закона.

14-й у р о к . Количество движения и импульс силы.

15-й у р о к . Закон сохранения количества движения. Упражнения.

16-й у р о к . Демонстрации закона сохранения движения. Упражнения.

17-й у р о к . Упражнения.

18-й у р о к . Реактивные двигатели.

19—20-й у р о к и . Всемирное тяготение.

21—22-й у р о к и . Повторение, обобщение и углубление темы.

В дальнейшем изложении не отмечаются отдельные уроки.

3. П е р в ы й з а к о н . Первый урок по этой главе преподаватель посвящает очерку об уровне производительных сил и технических проблем в Европе XVII в., создавших потребность в обобщении накопленных знаний по механике в виде законов механики. Затем он дает обобщенный обзор сущности законов динамики и после этого переходит к повторению первого закона (из курса VII класса).

Необходимо разобрать многочисленные жизненные наблюдения учащихся и повторить демонстрации разнообразных явлений, показывающие, что изменение скорости происходит только под действием других тел.

Другой ряд опытов показывает, что с уменьшением действия других тел, главным образом с уменьшением трения, скорость тела сохраняется более продолжительное время.

¹ Упражнения следует проводить и на других уроках.

Из разбора многочисленных наблюдений и опытов делается предельный вывод, что тело само по себе (без воздействия внешних тел) сохраняет свою скорость постоянной.

Свойство тел самих по себе сохранять имеющуюся у них в каждый момент скорость называется инерцией.

Те же опыты позволяют сделать вывод и в другой форме: изменение скорости любого тела вызывается действием на него других тел. Иначе, причиной получаемого телом ускорения является сила.

Сила, как и ускорение,— вектор.

В формулировке свойства инерции нет необходимости говорить раздельно о сохранении скорости и о сохранении направления движения; оба признака охватываются словами «сохранение скорости», так как учащиеся должны составить себе понятие о скорости как о векторе.

Далее останавливается внимание учащихся на том, что закон инерции экспериментально—наблюдением и опытом—доказывается во всех его следствиях. Всем известна поразительная точность астрономических предсказаний сроков наступления солнечных и лунных затмений, рассчитываемых за несколько десятилетий, или даже столетий вперед. Эти расчеты делаются с учетом инерции тел и совпадение с ними наблюдений служит подтверждением закона инерции. Движение всех брошенных тел, движение пуль и снарядов рассчитывается с учетом инерции тел и подтверждается опытом. Подобное же совпадение теории и опыта и для других технических расчетов служит широким подтверждением на практике этого закона.

Особенно надо подчеркнуть (см. § 9, 3), что инерция вовсе не обозначает стремления тела к покою. Инерция выражается в сохранении того состояния движения, т. е. той скорости, с которой тело движется в данный момент.

Надо так вести разбор, чтобы у учащихся не появилось мысли о том, что инерция обнаруживается только тогда, когда данное тело не находится под действием других тел. Этот частный случай позволяет отчетливо вскрыть свойство инерции, но существует и проявляет себя оно и при наличии действия других тел.

4. В т о р о й з а к о н. Обусловленность ускорения движения тела действием на него другого тела, т. е. силы, вытекающая из первого закона, служит подходом ко второму закону, который тем самым становится в тесную связь с первым. Преподаватель обращает внимание учащихся на то, что при действии силы всегда должны быть налицо два тела; это обстоятельство позволит в дальнейшем поставить вопрос о роли обоих тел в силовом взаимодействии и, таким образом, подвести учащихся к третьему закону динамики. Так будет установлено единство всех законов динамики, разделяемых только для удобства их изучения и усвоения на три части.

Показав на предыдущем уроке на качественных опытах обусловленность ускорения, получаемого одним телом, действием на него другого тела, т. е. силы, преподаватель ставит перед учащими-

ся вопрос, существует ли какое-либо количественное соотношение между действующей силой и сообщаемым телу ускорением.

Преподаватель сообщает, что исследованием этого вопроса занимались Г а л и л е й и Н ь ю т о н, и результат этого исследования изложен в виде второго закона динамики.

Для экспериментального исследования зависимости между действующей на тело силой и сообщаемым телу ускорением может быть применена установка, изображенная на рисунке 30а.

Но прежде чем приступить к самому исследованию, необходимо провести опробывание прибора и выполнить ряд предварительных опытов. Во-первых, надо уравновесить силу трения при движении исследуемого тела по плоскости. С этой целью подбирают такой груз, прикрепляемый к шнуру, перекинутому через блок, чтобы

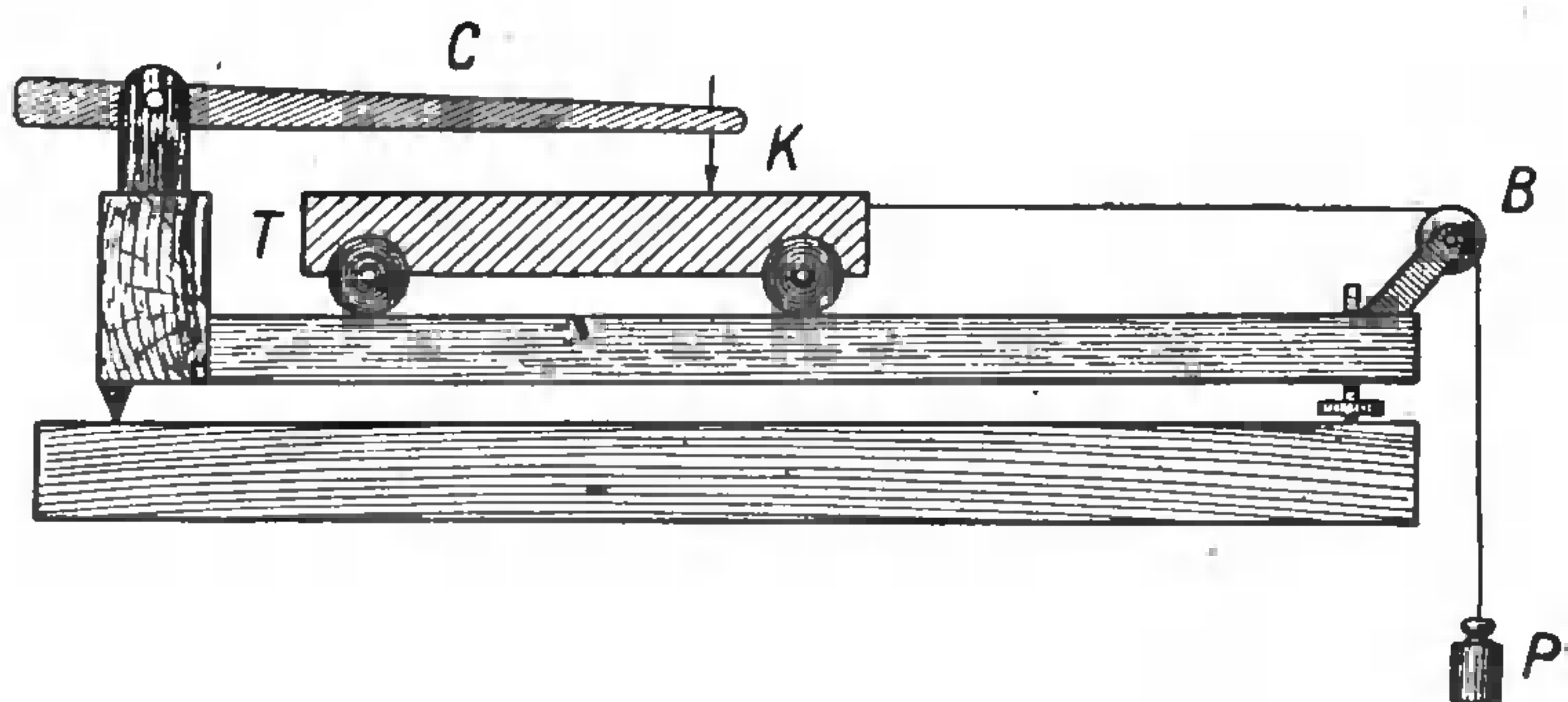


Рис. 30а

движение тела по плоскости было равномерным. Как убедить учащихся, что достигнуто равномерное движение? Для этого достаточно показать, что при соответственно подобранном грузе P тело проходит в измеряемые равные промежутки времени равные пути. Во-вторых, надо показать, что при уравнивании трения грузом при всякой новой перегрузке движение тела станет равномерно-ускоренным.

Для этого следует измерить пути $s_1, s_2, s_3, \dots$, пройденные телом при наличии перегрузки за один, два и т. д. равных промежутка времени, и показать, что $s_1 : s_2 : s_3 = 1 : 4 : 9 \dots$

Переходя к решению основной задачи, преподаватель выясняет с учащимися, что надо измерить, чтобы найти зависимость между ускорением и силой.

Измерить силу тяги можно или динамометром или взвешиванием того тела, которое своим весом создает тягу. Величина силы будет выражена в весовых единицах ($\Gamma, \kappa\Gamma$).

Учащиеся сообразят, что для измерения постоянного ускорения, получаемого под действием постоянной силы, надо измерить путь, пройденный в равномерно-ускоренном движении, и время движения, тогда из формулы пути можно вычислить ускорение $a = \frac{2S}{t^2}$

Наиболее трудная задача в подобных опытах — измерение промежутков времени, которые должны быть значительно меньше секунды. Отсчет таких промежутков времени производится по числу колебаний упругой пластинки, отмечаемых чернилами на бумаге¹.

Тяжелая деревянная тележка T (рис. 30а) на колесах может передвигаться вдоль деревянной доски при помощи горизонтальной силы, создаваемой натяжением шнура от груза весом P , подвешенного к свободному концу шнура, перекинутого через блок B . В зажиме укреплена упругая пластинка C . Можно подобрать такую пластинку, чтобы она совершала 10 колебаний в секунду; тогда продолжительность каждого колебания составит 0,1 секунды. На конце пластинки укрепляется тонкая кисточка K , смачиваемая чернилами, а к тележке прищипливается бумажная полоска, которой касается кисточка. При одновременном движении тележки и колебаниях пластинки кончик кисточки вычерчивает на бумаге волнистую линию (рис. 30б, движение ускоренное).

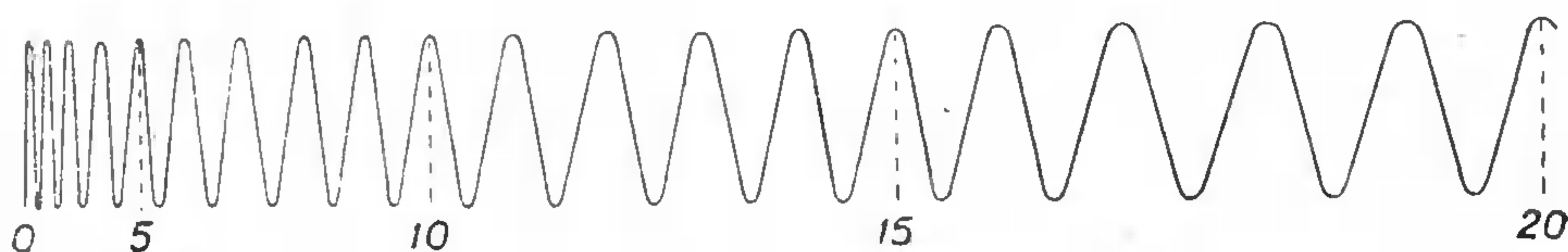


Рис. 30б

При указанном выше выборе пластинки время продвижения тележки на 10 волн синусоиды составит секунду, на 5 волн синусоиды — 0,5 секунды. Сначала подбирается такой груз, чтобы тележка двигалась равномерно. Равномерное движение будет указывать на то, что сила тяги уравнивает силу трения, и тележка от легкого толчка двигается по инерции. Затем прикрепляют к шнуру по очереди грузы в 5, 10, 15 Г, пускают в ход одновременно пластинку и тележку и измеряют по прямой, проведенной вдоль синусоиды, путь, пройденный тележкой за 1 секунду (на протяжении 10 волн синусоиды) или за 2 секунды (на протяжении 20 волн синусоиды) и т. д.

По формуле пути равномерно-ускоренного движения можно для каждой нагрузки вычислить ускорение a .

Для ориентировки читателя в том, что может дать опыт в описанной установке, приведем результаты одного из подобных опытов, в котором вес самой тележки был равен 1700 Г.

Сравнивая по строкам числа первого и последнего столбцов таблицы, можно показать учащимся, что ускорение, полученное телом благодаря действию силы, прямо пропорционально силе.

¹ Или отсчетом промежутков времени между падением капель из капельницы.

Движущая сила (в граммах) ¹	Время (в секундах)	Расстояние в сантиметрах	Ускорение (в см/сек ²)
5	3	12,60	2,80
10	2	11,20	5,60
15	2	16,70	8,35
20	1,5	12,64	11,24
30	1,5	18,90	16,80

Обозначая силы по порядку через $F_1, F_2, F_3, \dots F$ и ускорения через $a_1, a_2, a_3, \dots a$, можно установить, что отношения $\frac{F_1}{a_1} = \frac{F_2}{a_2} = \frac{F_3}{a_3} = \dots = \frac{F}{a}$ для одного и того же тела оказываются равными. Какими бы силами ни действовать на данное тело, каждая из них сообщит такое ускорение, что отношения силы к ускорению остаются неизменными, т. е. полученное ускорение прямо пропорционально действующей силе.

5. Понятие о массе тела. Если повторять вышеописанные опыты с различными тележками или с одной и той же тележкой, но при различных нагрузках ее, то из опытов можно установить, что, во-первых, в каждом случае отношение силы к сообщаемому ею ускорению будет постоянным; во-вторых, для различных тел эти отношения будут различными.

Постоянство отношения $\frac{F}{a}$ показывает, что оно не случайно, а связано с самой природой тела. Следовательно, такое постоянное отношение может быть принято за новую механическую характеристику тела. Для первого опыта это отношение (в избранных единицах) равно примерно 1,8, во втором опыте для более тяжелого тела при той же действующей силе оно стало равным приблизительно 2,4.

Какое физическое толкование можно дать постоянству этого отношения? Учащиеся на протяжении предшествующего курса не раз встречались с тем объективным фактом, что постоянство отношения двух физических характеристик тела в каком-либо явлении вскрывает его новое качество. Так, постоянство отношения веса и объема тела из какого-либо вещества обнаруживает новое качество вещества, отличное в отдельности и от объема и от веса, — его удельный вес; постоянство отношения напряжения на проводнике к силе проходящего по нему тока привело к обнаружению качества проводника, получившего название «сопротивление», и дало способ измерения его.

С каким же свойством тела связана эта новая физическая величина?

¹ Натяжение шнура, движущее тележку, не в точности равно весу падающего груза. В этом заключается принципиальный недостаток этого опыта, но практически, как показывают данные, это не отражается существенно на опыте.

Учащиеся видят, что в первом опыте под действием некоторой силы тело получило большее ускорение, чем под действием той же силы другое тело во втором опыте. Оба тела инертны, т. е. сами по себе сохраняют свое состояние движения. Но первое тело за 1 секунду изменило свою начальную скорость на бóльшую величину, чем второе. Можно заключить из этого, что величина инерции первого тела меньше величины инерции второго.

Таким образом, обнаруженное качество тел, состоящее в постоянстве отношения силы к ускорению, связано с его инерцией; оно может быть принято за меру инерции тела.

В науке величину инерции каждого тела называют *м а с с о й* тела.

Следовательно, массе тела можно дать определение: *масса тела есть мера инерции его.*

Величина массы может быть обозначена, как и всякая другая физическая величина, особой буквой. Принято обозначать ее буквой m^1 . Тогда выведенное из опыта соотношение может быть выражено в зависимости от выбора единиц следующим образом: $\frac{F}{a} = m$.

Отсюда может быть выведено соотношение: $F = ma$. Это соотношение представляет собой одно из выражений второго закона динамики, но не в ньютоновской форме.

Произведенный опыт позволил обосновать понятие о массе, и в то же время дал способ ее измерения через действующую силу и сообщенное ускорение. Но этот способ для быстрого измерения массы оказывается очень громоздким.

В этом месте урока следует сообщить учащимся другой способ измерения массы — через взвешивание, предупредив их, что обоснование такого способа измерения массы будет дано через несколько уроков.

Для измерения величины надо установить *е д и н и ц у* измерения.

По международному соглашению за единицу массы принимается масса тела, изготовленного из сплава платины и иридия и хранящегося в Палате мер и весов возле Парижа. Эта единица названа: 1 килограмм (1 кг).

При измерении массы взвешиванием ее величина, как будет показано позже, выражается столькими килограммами, скольким килограммам равен вес тела.

Ученикам дается указание, что для отличия единиц массы от единиц веса при совпадении их наименований, единицы массы обозначаются малыми буквами: г, кг, т, а единицы веса большими буквами: Г, кГ, Т.

¹ К сожалению, для обозначения массы применяется та же буква, которой нами было обозначено в калориметрии количество вещества, хотя эти величины по существу различны, но они могут быть выражены одна при помощи другой.

Вместо описанного здесь опыта можно воспользоваться подобным же по замыслу прибором, описанным в Элем. учеб.

Если в распоряжении преподавателя не будет описанных приборов, то подвести к понятию о существовании величины, называемой массой, можно при помощи следующего общеизвестного опыта. К раме подвешивается несколько шаров разного размера (лучше из одного материала, чтобы исключить влияние различной упругости). К ним прикасается без давления укрепленная на стальной полосе доска. Доска отводится в сторону, отпускается, упругостью полосы доска приводится в движение и ударяет по шарам с одинаковой силой.

Различные шары за одно и то же время отклоняются на разные расстояния. Из опыта делается вывод: хотя все тела инертны, но у разных тел их инерция обнаруживается в разной мере. Следовательно, разные тела можно различать и сравнивать по мере их инерции. Эта мера инерции получает название *м а с с ы*.

Надо обратить внимание учащихся на следующее важное значение второго закона.

Пока они пользовались весовыми единицами силы и единицами ускорения $\frac{см}{сек^2}$, или $\frac{м}{сек^2}$. Второй закон дал возможность ввести понятие о массе и показать, как можно составить представление о ее величине.

Если в формуле $F=ma$ масса измерена независимо, то прежние единицы измерения для силы или ускорения уже не годятся. Надо для какой-либо из этих величин установить новую единицу. Учащимся сообщается, что выбор новой единицы сделан для силы. При независимом выборе единицы массы второй закон служит для определения силы по массе и ускорению.

Здесь следует дать определение *д и н ы*, чтобы иметь возможность на упражнениях закрепить понятие массы и упрочить понимание зависимости между массой тела, ускорением и действующей на него силой.

Во время упражнений надо особо остановиться на зависимости двух величин при постоянстве третьей, т. е. разобрать случаи: $F_1 : F_2 = a_1 : a_2$; $F_1 : F_2 = m_1 : m_2$; $a_1 : a_2 = m_2 : m_1$.

Надо устранить такое понимание инерции у учащихся, будто инерция тела (или его масса) оказывает сопротивление силе. Как бы ни была мала сила, она всегда сообщит ускорение свободному телу, но это ускорение будет пропорционально действующей силе.

6. *В ы р а ж е н и е в е с а т е л а ч е р е з е г о м а с с у.* После изложения второго закона Ньютона, преподаватель применяет его к случаю действия силы тяжести. Раньше учащиеся усвоили, что под действием силы тяжести все тела в одном и том же месте получают одинаковое ускорение. По второму закону динамики действующая сила, т. е. вес тела P , выразится через массу тела m и сообщаемое ему ускорение g следующим образом: $P=mg$.

Надо уже в этом месте изложения остановить внимание учащихся на разграничении понятий веса и массы тела.

7. Измерение массы на весах. На том же уроке преподаватель получает возможность обосновать измерение массы тела взвешиванием.

Преподаватель напоминает учащимся известное им положение, что измерить какую-либо величину — значит сравнить ее с однородной величиной, принятой за единицу измерения.

Измерить массу m — значит сравнить ее с единицей массы.

Пусть при помощи взвешивания найдено, что вес первого тела $P_1 = m_1 g$, а второго $P_2 = m_2 g$.

Из сравнения весов получаем:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{m_1 g}{m_2 g} = \frac{m_1}{m_2},$$

т. е. массы двух тел относятся, как их веса.

Так как вес единицы массы принят за единицу веса, то масса каждого тела содержит столько единиц массы, скольким весовым единицам (в метрических мерах) равен его вес.

После этого разбора учащиеся должны знать, что весы — прибор, предназначенный для измерения массы, и что масса тела может быть определена взвешиванием.

8. Третий закон. Завершая разбор второго закона Ньютона преподаватель подчеркивает, что остается невыясненным вопрос о физическом источнике изменения скорости движения рассматриваемого тела. Ответ на этот вопрос должен дать третий закон.

Вновь напомнив сделанные опыты и известные случаи изменения скорости движения данного тела, преподаватель закрепляет в сознании учащихся положение, что изменение скорости движения данного тела всегда происходит через взаимодействие с другим телом.

Ставится следующий вопрос: происходит ли какое-либо изменение с телом, если благодаря его воздействию изменилась скорость другого тела? Для ответа на этот вопрос делается опыт с доской (использованной для выяснения понятия о массе), один раз доска движется без ударов о шары, другой раз — ударяясь о них.

Можно также показать удар подвешенного движущегося костьяного шара о другой такой же подвешенный неподвижный или движущийся в противоположную сторону шар, или сделать другие подобные опыты. Из наблюдений устанавливается, что при взаимодействии тел происходит одновременное изменение скоростей движения обоих взаимодействующих тел в противоположных направлениях.

Но если изменяются скорости обоих тел, значит при взаимодействии тела приобретают ускорения и на каждое из взаимодействующих тел действует сила.

Великая заслуга Ньютона заключается в открытии им закона, что оба тела одновременно действуют друг на друга с силами, равными по величине и противоположно направленными.

Этот закон Ньютон назвал третьим законом динамики. Его также следует сначала тщательно разъяснить, прежде чем давать ньютоновскую формулировку.

Надо отметить, что в третьем законе отражен великий принцип диалектики природы — единство противоположностей.

Третий закон должен быть продемонстрирован на ряде опытов качественных и количественных, описанных в учебниках. В качестве количественного примера следует привести закон Архимеда: сила, с которой жидкость действует на погруженное в нее тело, равна силе действия тела на жидкость.

Третий закон трудно усваивается учащимися и вызывает постоянные недоумения. Учащиеся думают, что если между двумя телами действуют равные и противоположные силы, то движение этих тел невозможно ни в каком случае. Если шар, лежащий на руке, действует на руку с такой же силой, с какой рука действует на шар, то учащиеся не сразу понимают, как же может происходить подъем шара рукой. Надо разъяснить учащимся, что подъем шара производится силой натяжения мускула, действующей на руку вверх. Если эта сила больше веса шара, тогда шар поднимается. Сила действия руки на шар и сила действия шара на руку при этом в любой момент равны между собой.

Такое же недоразумение вызывает и движение телеги лошадью.

Лошадь и постромки действуют друг на друга с равными, но противоположно направленными силами. Натяжения постромок, действующие и на лошадь и на телегу, всегда одинаковы и для лошади и для телеги. Силы же трения, действующие со стороны земли на лошадь и телегу, могут быть различны. Чтобы лошадь и телега получали ускорение вперед, необходимо, чтобы сила трения копыт лошади о поверхность дороги была больше, чем сила трения, действующая со стороны земли на телегу.

Притянувшиеся друг к другу положенные на пробки в воде магнит и кусок железа, которые дальше уже не движутся, дают повод преподавателю отметить, что силы взаимодействия двух тел, т. е. внутренние силы системы, не сообщают ей поступательного движения. Подтвердить эту мысль преподаватель может известным опытом со сжатой и отпущенной пружиной, один раз свободно подвешенной, другой раз упирающейся одним концом в раму.

К этому опыту можно присоединить опыт с заводным паровозом. Если паровоз подвесить, то все его части приводятся в движение, но весь паровоз не имеет поступательного движения. Если поставить заведенный паровоз на внешнее по отношению к частям паровоза тело — на стол, то он покатится по нему.

По отношению к каждому из подобных наблюдений надо подчеркивать значение третьего тела.

Необходимо укрепить в мысли учащихся, что силы взаимодействия двух тел приложены одна к одному телу, другая — к другому.

Поэтому нельзя и ставить задачи о нахождении равнодействующей

щей двух сил взаимодействия тел, так как они приложены к разным телам. Только в том случае, когда оба тела рассматриваются как одно целое по отношению к другим телам, возможно сложение этих сил, дающих равнодействующую, равную нулю, отчего и не происходит поступательного движения системы.

Необходимо разобрать различные случаи использования сил при взаимодействии тел в технике, в частности, рассказать о ракетном двигателе и об его изобретателе К. Э. Циолковском и уже здесь отметить запуски искусственных спутников Земли и космических ракет и оценить их значение.

В заключение разбора следует привести точную формулировку законов Ньютона.

По отношению к первой формулировке третьего закона: «всякому действию всегда есть равное противодействие», следует разъяснить, что здесь под словом «противодействие» не следует понимать какое-то сопротивление. Основная мысль закона та, что всегда в природе одновременно возникают два действия: первого тела на второе и второго на первое; что не может быть и речи о возникновении только одной силы; что при своем взаимодействии оба тела действуют друг на друга с одинаковыми и противоположно направленными силами. Одно тело действует в одном направлении, другое — с равной силой в противоположную сторону.

На второй ступени изучения физики желательно дать понятие о том, что масса тела, которая принималась Ньютоном за величину, постоянную во всех решительно случаях, может считаться постоянной только для тех случаев, когда тело движется со скоростями, много меньшими скорости света. При скоростях же, приближающихся по своей величине к скорости света, масса тела изменяется одновременно с изменением скорости, т. е. обнаруживается зависимость массы от скорости.

По этому поводу в конце курса, при повторении, можно коснуться вопроса о пределах применимости галилеево-ньютоновской механики, постоянно подчеркивая, что последняя сохраняет свое значение во всех наших технических расчетах, а также и во многих астрономических.

9. Количество движения и импульс силы. Часть следующих уроков по теме динамики преподаватель посвящает разбору следствий из законов динамики.

Один из этих уроков он уделяет введению новых понятий: импульса силы и количества движения.

Предложив учащимся вспомнить, что ускорение измеряется изменением скорости в одну секунду, именно $a = \frac{v - v_0}{t}$, преподаватель преобразовывает данное ранее выражение 2-го закона $F = ma$ в следующее: $Ft = mv - mv_0$. Он дает название величине Ft — импульс силы, величине mv — количество движения и знакомит учащихся с ньютоновской формулировкой 2-го закона, не требуя обязательного ее заучивания.

Далее он останавливает внимание учащихся на том, что новые величины — Ft и mv — имеют вполне определенный физический смысл.

Обращаясь сначала к величине Ft , преподаватель вместе с учащимися подбирает много примеров, иллюстрирующих, что действие одного тела на другое зависит не только от величины силы, но и от времени ее действия.

Во многих случаях сила быстро меняет свою величину или действует очень короткое время, например при ударе по мячу рукой или ракеткой. В таких случаях часто важно знать не величину ускорения, а конечную скорость, приобретенную телом. Поэтому результат действия непостоянных по величине или кратковременных сил удобно определять по вышеприведенной формуле.

Так как результат действия силы зависит как от величины силы, так и от времени ее действия, то для характеристики этого действия и вводится новая величина, зависящая от величины силы и времени ее действия и выражаемая простейшим образом через их произведение. Таким образом, величина Ft — не математический символ, а физическая величина, получившая название «импульс силы».

На том же уроке преподаватель может успеть показать учащимся, что и выражение mv имеет физический смысл.

Как видно из выведенной выше формулы, импульс силы изменяет именно величину mv , следовательно, это величина не просто математическое выражение, а важная физическая величина, называемая «количеством движения».

10. Закон сохранения количества движения. На следующем уроке преподаватель выражает 3-й закон динамики при помощи вновь введенных величин. Рассматривается случай взаимодействия двух тел, массы которых m_1 и m_2 ; до начала взаимодействия тела имели начальные скорости v'_0 и v''_0 ; после взаимодействия они получили скорости v' и v'' .

При взаимодействии импульсы сил, действующих на каждое тело, по 3-му закону равны по величине, противоположны по направлению:

$$F_1 t = -F_2 t.$$

Отсюда:

$$m_1 v' - m_1 v'_0 = - (m_2 v'' - m_2 v''_0),$$

или

$$m_1 v' + m_2 v'' = m_1 v'_0 + m_2 v''_0.$$

Правая часть равенства представляет собой сумму количеств движения обоих тел перед взаимодействием, левая — сумму количеств движения тех же тел в результате взаимодействия. Само равенство выражает закон природы: *при взаимодействии двух тел общее количество движения их остается неизменным.*

Это — один из законов сохранения.

Преподаватель прослеживает на многих технических установках использование закона в этой форме и предлагает учащимся многочисленные задачи на него.

В случае затруднительности для учащихся решения вопроса в общем виде следует начать с разбора конкретных частных случаев.

В числе следствий из 3-го закона преподаватель особенно обстоятельно останавливается на реактивном движении и на использовании его в различных областях техники, в частности для построения реактивного двигателя¹.

После ряда уроков, уделяемых упражнениям, преподаватель переходит к изложению последней темы этого раздела (два урока).

45. Закон всемирного тяготения

В качестве введения к теме может служить краткий рассказ об истории открытия закона Ньютоном. Но вывода закона тяготения из законов Кеплера давать не следует; он может быть сообщен на уроках астрономии.

Основной частью изложения должно быть экспериментальное обоснование закона тяготения в опытах Кавендиша или Жоли.

В формулу для силы всемирного тяготения входит множитель, называемый гравитационной постоянной и обозначаемый буквой f :

$$F = f \frac{mm_1}{r^2}.$$

Надо разъяснить учащимся, что поскольку для величин F , m , r установлены единицы в разных системах, то f не может быть приравнена единице.

В системе CGS множитель f имеет значение $\frac{1}{15\,000\,000}$.

Из равенства $f = \frac{Fr^2}{mm_1}$ видно, что этот множитель имеет наименование $\frac{\text{дин} \cdot \text{см}^2}{\text{г}^2}$ или $\frac{\text{см}^3}{\text{г} \cdot \text{сек}^2}$.

При таком значении множителя две массы по 1 г каждая, находясь на расстоянии 1 см друг от друга, притягиваются с силой, равной $\frac{1}{15\,000\,000}$ дин.

Заканчивается тема разбором вопроса об изменении силы тяжести с изменением высоты поднятия тела над Землей или с изменением географической широты.

В качестве одного из следствий закона тяготения и в то же время доказательств его наличия надо рассмотреть явления прилива и отлива. При этом можно рассказать о попытках использования человечеством энергии приливов.

Хотя в разделе о круговом движении рассматривается задача о величине горизонтальной скорости бросания тела, позволяющей

¹ При прохождении темы надо использовать кинофильм: законы динамики.

ему стать спутником Земли в безвоздушном пространстве, но ввиду интереса учащихся к этому вопросу, следует рассказать о космических скоростях подробнее, чем это было сделано раньше.

Последние два урока рекомендуется посвятить упражнениям, способствующим повторению, обобщению и углублению материала этого обширного раздела программы.

Для чтения учащимся можно рекомендовать:

Я. И. Перельман, Занимательная физика, кн. II, изд. 15-ое ГТТИ, М.—Л., 1949, гл. IV, V.

Глава VII.

РАБОТА, МОЩНОСТЬ, ЭНЕРГИЯ

46. Целевая установка раздела

Одна из задач преподавания физики в IX классе, как уже сказано во введении, — обобщить понятие о работе на случай сил, направленных под углом к перемещению, дать формулы кинетической и потенциальной энергии, вывести закон сохранения энергии для различных превращений ее в механических процессах.

1. Примерное распределение частных тем по отдельным урокам

1-й урок. Повторение понятия о работе и обобщение его.

2-й урок. Вывод единиц работы в системах CGS и технической. Упражнения.

3-й урок. Вывод соотношения между единицами работы в различных системах и решение задач.

4-й урок. Повторение понятия о мощности, вывод единиц ее измерения и решение задач.

5-й урок. Упражнения.

6-й урок. Повторение и углубление понятия об энергии, вывод соотношения между изменением энергии и совершенной работой, анализ этого соотношения и решение задач.

7—8-й
уроки. Опрос и упражнения по пройденному материалу, разбор понятия о потенциальной энергии, решение числового примера на изменение энергии брошенного вверх и свободно падающего тела; вывод закона сохранения энергии для случая брошенного вверх и падающего тела; демонстрация взаимных переходов механических форм энергии.

9—10-й
уроки. Разбор путем решения задач вопроса об ударе шаров.

11—12-й
уроки посвящаются упражнениям, обобщению и углублению учебного материала темы.

47. Понятие о работе

К первому уроку темы преподаватель дает задание учащимся повторить сведения о работе, приобретенные в VI классе. Дальше он углубляет понятие работы, придерживаясь примерно следующего изложения.

Всякое движение тел в естественных или технических условиях встречает сопротивление среды и сопровождается трением, возникновением теплоты от трения, следовательно, изменением формы движения. Скорость, которую тело получает от удара, толчка, расширения газа при вспышке взрывчатого вещества, уменьшается, так как тело вследствие сопротивления среды и трения расходует механическую энергию на приведение в движение частиц среды или трущегося о него тела. Если скорость поддерживается постоянной (или даже увеличивается), то на движущееся тело должно непрерывно действовать другое тело — двигатель (сила тяжести, тепловой, электрический двигатель и др.).

Для изучения и более удобного описания подобных случаев недостаточно ранее введенных величин, поэтому вводится новая механическая величина — **р а б о т а**.

Поднимая груз на высоту, перемещая его горизонтально или наклонно к горизонту, обрабатывая какие-либо материалы любым орудием, человек совершает работу. При равномерном перемещении пилы по бревну рабочий прилагает силу, необходимую для разрушения волокон дерева, и перемещает точку приложения силы на некоторое расстояние.

Надо остановить внимание учащихся на тех двух признаках, которыми характеризуется работа.

Каждый рабочий-пильщик оценивает свою работу в зависимости от прилагаемой силы (распиливает твердую или мягкую породу) и от пути перемещения (толстое или тонкое бревно).

Из анализа работы пильщика и других случаев устанавливаются необходимые признаки работы: наличие силы и перемещения тела или отдельных частей его, совершаемого этой силой.

В физике понятие работы охватывает всякое перемещение одного тела другим: работа силы тяги транспортных машин, работа подъемников, копров, работа всех двигателей, приводящих в движение инструменты станков или орудия по обработке почвы, и т. п.

Во всех случаях, когда совершается работа, движущееся тело испытывает сопротивление, которое преодолевается прилагаемой к телу движущей силой.

Исключением является движение тела в пустоте по направлению, перпендикулярному к силе тяготения. В этом случае нет сопротивления среды и движущая сила изменяет только скорость тела и сообщает ему ускорение.

После приведения примеров, когда движущая сила направлена под углом к перемещению (тяга вагонетки лошадью, идущей параллельно рельсовой колее, вес тела при скольжении по наклон-

ной плоскости, давление ветра под углом к перемещению парусного судна и т. п.), преподаватель дает расширенное определение работы: работа есть величина, измеряемая произведением перемещения на проекцию силы на путь. Такое определение дается только при невозможности воспользоваться тригонометрическими функциями. При пользовании ими работа определяется как величина, измеряемая произведением силы на путь, пройденный точкой приложения силы, и на косинус угла между направлением силы и направлением движения.

Преподаватель должен помнить, что это выражение есть определение и поэтому не подлежит доказательству. Разложение силы на две составляющие — вдоль пути и перпендикулярно к нему — может служить пояснением, но не доказательством данного определения.

Как следствие из определения работы вытекает, что сила, перпендикулярная к перемещению, не производит работы. В качестве примера можно рассмотреть работу силы тяжести при горизонтальном перемещении тела (что уже было разобрано в VII классе), а в дальнейшем — работу центростремительной силы при равномерном движении по окружности.

Кроме разбора случая взаимной перпендикулярности силы и возможного перемещения, надо остановиться на тех случаях, когда угол между направлением силы и перемещения острый или тупой.

Расширив понятие о работе, преподаватель вводит единицу работы в системе CGS и устанавливает соотношение между эргом и кГм.

48. Понятие о мощности

К 4-му уроку преподаватель дает задание учащимся повторить сведения о мощности, полученные в VII классе. На уроке повторяются примеры, рассмотренные в VII классе, и приводятся новые, доказывающие, что для сравнения работ, производимых различными машинами, механизмами, а также животными, недостаточно знания только совершенной работы без учета времени ее выполнения. Для характеристики скорости выполнения работы вводится новая величина, называемая м о щ н о с т ь ю. Даются: понятие о мощности, словесные определения этой величины и единицы для ее измерения в разных системах (включая киловатт), соотношения между единицами разных систем, примеры мощностей различных двигателей и установок. Все эти сведения закрепляются решением задач на работу и мощность с включением в задачи материала предыдущих глав. Этой работе уделяется два урока.

49. Энергия

1. П о н я т и е о б э н е р г и и. После тщательного разбора вопроса о работе естественно поставить вопрос о том механическом состоянии тел, благодаря которому они могут совершать работу

над другими телами. Этому вопросу посвящается 3 (или 4) следующих урока.

Рассматривая работу движущегося молота при заколачивании гвоздя, работу движущейся «бабы» копра, работу пули и снаряда при пробивании доски или брони, работу воды при вращении водяных турбин, работу ветра на ветросиловой установке, работу потока пара при вращении паровой турбины, работу падающей гири или развертывающейся пружины в часовом механизме и другие подобные многочисленные примеры, взятые из природы, техники и быта, преподаватель устанавливает, что во всех разобранных случаях работу производит движущееся тело.

Анализируя удар молота по гвоздю, «бабы» копра по свае, застревание пули в толще дерева, учащиеся уясняют себе, что движущееся тело при совершении работы над другим телом уменьшает свою скорость и может совсем остановиться. Значит, обладая определенной скоростью, оно может совершить работу, не превышающую определенной величины.

Величина работы, которую может совершить тело, измеряет величину, называемую его энергией. Энергия движущегося тела называется к и н е т и ч е с к о й.

2. В ы в о д ф о р м у л ы к и н е т и ч е с к о й э н е р г и и. Установив на простых опытах, что энергия движущегося тела, измеряемая величиной работы, которую оно может совершить при уменьшении его скорости, зависит от массы тела и изменения скорости, преподаватель ставит вопрос, как можно выразить кинетическую энергию через массу и скорость тела, и дает известный вывод, что мерой кинетической энергии служит выражение $\frac{mv^2}{2}$.

При пользовании общей формулой:

$$Fs = F_1s + \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$$

надо тщательно разъяснить значение различных частных случаев совершения работы, именно:

1) $F_1 = F$; работа движущей силы идет на работу по преодолению сопротивления; движение тела происходит равномерно по инерции.

2) $F = 0$; $F_1s = \frac{mv_0^2 - mv^2}{2}$; работа по преодолению сопротивления совершается за счет убыли кинетической энергии тела.

3) $F = 0$; $v = 0$; $F_1s = \frac{mv^2}{2}$; работа по преодолению сопротивления до остановки тела служит мерой кинетической энергии в момент начала совершения работы.

Выведенное соотношение показывает, что энергия измеряется в тех же единицах, что и работа.

3. П о н я т и е о п о т е н ц и а л ь н о й э н е р г и и. Применяя соотношение между кинетической энергией и работой к случаю движения брошенного вертикально вверх тела, преподаватель

показывает, что за счет изменения кинетической энергии, которой обладало тело в момент бросания, $\frac{mv^2}{2}$, совершается работа по преодолению веса тела на расстоянии, равном высоте подъема H . Величина этой работы равна PH или mgH .

Задержанное на этой высоте тело, находясь в относительном покое, работы не производит, но при падении обратно на Землю может произвести работу. Следовательно, поднятое над Землей тело вследствие своего положения также обладает энергией. Эта энергия в отличие от энергии движущегося тела получила название энергии **п о т е н ц и а л ь н о й**, или энергии положения.

Надо объяснить значение слова «потенциальный» и подчеркнуть, что потенциальная энергия одного тела всегда зависит от его положения по отношению к другому телу, с ним взаимодействующему (в случае поднятия тела над Землей — по отношению к Земле). Абсолютную величину потенциальной энергии можно определить лишь тогда, когда известно, какое состояние тела отвечает нулевому значению потенциальной энергии. В остальных случаях потенциальная энергия отсчитывается относительно состояния, условно обладающего нулевой потенциальной энергией. Это не влияет на расчет работы при падении или поднятии тела, так как во всех случаях работа измеряется разностью потенциальных энергий в начальном и конечном положениях. Поэтому значение энергии на некотором определенном уровне условно можно принять за нулевое. Считают, что тела на Земле обладают нулевой потенциальной энергией, находясь на уровне моря.

При разборе вопроса о потенциальной энергии относительно земли преподаватель предлагает учащимся привести примеры тел, обладающих такой энергией, и рассматривает случаи энергии поднятой вверх «бабы» копра, нависшей скалы, облака, горного озера, поднятой плотиной воды (ссылка на гидростанции) и т. п.

Развивая тему о потенциальной энергии, надо рассказать, что потенциальная энергия возникает не только при изменении положения взаимодействующих тел, но при изменении положения взаимодействующих **ч а с т и ц** одного и того же тела.

Такое изменение происходит при **д е ф о р м а ц и и** тел, сопровождаемой возникновением упругих сил. Рассматривается другой вид потенциальной энергии — энергии упругой деформации. Разбор сопровождается многочисленными общеизвестными примерами.

4. Закон превращения и сохранения энергии в механических процессах. Общая тема о работе и энергии заканчивается демонстрацией и разбором различных случаев перехода одной формы энергии в другую через совершение работы.

Путем расчета выводится постоянство суммы кинетической и потенциальной энергий при движении брошенного вверх тела и при его обратном падении в условиях отсутствия сопротивления

среды. Затем надо разобрать с точки зрения преобразования энергии колебания маятника, опыт Галилея с маятником, опыт с маятником Максвелла, падение на пол и отскакивание мяча и т. п.

На основании этих и других им подобных опытов и наблюдений вновь подтверждается факт превращения и сохранения энергии в механических явлениях. При этих превращениях полная механическая энергия, состоящая из суммы кинетической и потенциальной энергий, остается неизменной. Убыль одного вида энергии покрывается приращением другого вида ее.

Далее надо обратить внимание на те явления, которые происходят в действительных, не идеализированных движениях, в движениях в сопротивляющейся среде и в движениях с трением.

При падении любого тела с очень большой высоты его скорость вследствие сопротивления воздуха приближается к постоянной. Следовательно, в этом случае полная энергия тела уменьшается. Противоречие между идеализированными и реальными случаями направляет мысль учащихся на раскрытие его. Тщательные наблюдения показывают, что движение при наличии трения или сопротивления среды приводит к нагреванию тел (привести примеры).

Кроме нагревания, при трении может происходить размельчение тел, растирание в порошок и даже плавление (примеры). В этих случаях уменьшение полной механической энергии тела приводит к изменению состояния тела — к нагреванию, измельчению, плавлению. Наблюдения и опыты показывают, что тела в этом измененном состоянии — нагретом, расплавленном — получают возможность совершать работу. Следовательно, тело в нагретом, измельченном, расплавленном состоянии обладает большей энергией, чем до нагревания, измельчения, расплавления. Этот вид энергии тела и отличие от механической энергии его получает название **внутренней энергии**.

Таким образом, разбор движения с трением и сопротивлением приводит к заключению о том, что убыль механической энергии тела сопровождается соответствующим возрастанием его внутренней энергии.

Закон превращения и сохранения энергии распространяется не только на механическое движение, но и на другие виды движения.

Для разъяснения этого последнего положения можно привести различные примеры. При торможении поезда исчезновение его кинетической энергии сопровождается увеличением внутренней энергии тормозных колодок, бандажей колес, рельсов, окружающего воздуха. Разминание воска, перегибание куска проволоки, удары неупругих тел сопровождаются увеличением внутренней энергии тел за счет совершенной над ними работы и т. п.

5. У д а р ш а р о в. Соответственно вышеприведенному плану поурочного распределения материала часть уроков посвящается разбору вопроса об ударе шаров сначала на решении отдельных задач, затем на выводе общей формулы и на демонстрации частных случаев этого явления.

СТАТИКА

50. Значение раздела «Статика»

1. Общие замечания. Статика — один из трех крупных разделов механики, включающей кинематику, динамику и статику. Основными задачами этого раздела являются: а) выяснение условий равновесия сил, действующих на тело; б) определение направления тех движений, которые может получить тело при нарушении условий равновесия сил.

Статика — одна из наиболее значительных частей курса физики IX класса. При преподавании статики необходимо в большей степени, чем это делается в настоящее время, знакомить учащихся с применением законов физики для решения вопросов равновесия и устойчивости основных инженерных конструкций (балка, кронштейн, ферма).

Важной частью содержания политехнического обучения в средней школе является изучение машин и механизмов. С этой целью в учебный план школы введен новый учебный предмет «Машиноведение», первый и второй разделы которого — элементы технологии и элементы машиноведения — изучаются в IX классе. Уже в первой теме, посвященной изучению наиболее распространенных материалов, применяемых в машиностроении, учащиеся на уроках машиноведения знакомятся со способами механических испытаний материалов, с машинами, применяемыми при этих испытаниях: твердомером, копром, разрывной машиной. Поэтому необходимо в интересах согласования двух предметов, чтобы изучению конструктивных особенностей механизмов и машин и привитию навыков в пользовании ими предшествовало глубокое выяснение учащимися физической сущности процессов, происходящих в простых механизмах и машинах, что должно быть осуществлено на уроках физики.

Раздел статики охватывает широкий круг технических приложений, органически с ним связанных.

2. Примерное поурочное планирование темы.

1-й урок. Сложение сил, действующих по прямой.

2-й урок. Сложение сил, действующих на тело под углом друг к другу.

3-й урок. Лабораторная работа: проверка правила параллелограмма сил.

4-й урок. Разложение силы на две составляющие (подъемный кран, кронштейн, наклонная плоскость).

5-й урок. Разложение силы на клине и винте.

6-й урок. Решение задач по теме «Сложение и разложение сил».

7-й урок. Условие равновесия сил, приложенных к телу, имеющему ось вращения. Понятие о связях.

8-й у р о к. Лабораторная работа, посвященная выяснению условий равновесия сил на теле, имеющем неподвижную ось вращения.

9-й у р о к. Сложение параллельных сил. Пара сил.

10-й у р о к. Центр тяжести. Центровка тел.

11-й у р о к. Устойчивость тел. Понятие о балансировке машин.

12-й у р о к. Решение задач на равновесие сил. Расчет ферм.

13-й у р о к. Контрольная работа по теме.

14-й у р о к. Анализ выполнения контрольной работы. Итоговая беседа по разделу.

51. Сложение сил и разложение силы на составляющие

1. П о н я т и е о б у р а в н о в е ш и в а ю щ е й и р а в н о д е й с т в у ю щ е й с и л а х. Приступая к изложению статики, преподаватель отмечает, что на основе законов статики создана и развилась наука — статика сооружений, рассматривающая условия устойчивости различных сооружений. Установив задачу статики, возможно дать краткий исторический очерк ее развития и рассказать об ее создателях.

Преподаватель сообщает дальше, что во многих случаях в технике необходимо возможно более точное осуществление равномерного прямолинейного движения (на конвейерах, транспортерах, в ряде станков и т. д.).

На движущиеся в этих случаях тела могут действовать силы: тяги, трения, сопротивления среды и некоторые другие. Но в то же время учащимся известно, что равномерное прямолинейное движение происходит по инерции без участия сил.

Это кажущееся противоречие может быть устранено следующим образом: при наличии сил равномерное прямолинейное движение может иметь место только в том случае, если действия приложенных к телу сил взаимно уничтожаются.

Силы, под действием которых состояние тела не изменяется, называются взаимно у р а в н о в е ш и в а ю щ и м и с я силами. Простейшим примером уравнивающей силы является сила, равная данной силе и направленная противоположно ей. При этом надо отметить, что во многих задачах статики тело рассматривается как идеально твердое тело, т. е. не деформируемое под действием приложенных сил. В очень многих технических и бытовых условиях необходимо, чтобы тела находились в относительном покое под действием приложенных сил, например заводские станки относительно их оснований, предметы домашнего обихода относительно пола или подставок. Это возможно только при уравнивании сил.

Так как проще всего найти уравнивающую силу для одной действующей силы, то возникает задача замены ряда приложенных к телу сил одной силой.

Такая задача называется **с л о ж е н и е м** сил.

Та единственная сила, которая производит на тело такое же действие, как и все приложенные силы, называется **р а в н о д е й - с т в у ю щ е й**.

Общая задача отыскания равнодействующей, т. е. сложение сил, распадается на ряд частных задач. При разборе их надо обращать внимание учащихся на то, что а) равнодействующая двух взаимно уравновешивающихся сил равна нулю; б) если равнодействующая всех сил не равна нулю, то она сообщает телу ускорение; в) равно-

действующую сил можно находить лишь в случае, когда они действуют на одно тело, а не на разные тела.

2. **С л о ж е н и е** сил, действующих на тело по прямой линии. Определение равнодействующей силы нужно ввести опытным путем. Это можно сделать на примере простейшего случая сложения сил, действующих на тело по прямой (2 случая), подробно описанного в «Физ. эксп.» (ч. II, § 28).

3. **С л о ж е н и е** сил, действующих на тело под углом. Более общий случай сложения двух сил, дей-

ствующих на тело под углом друг к другу, и вывод правила параллелограмма сил проводится на опыте так, чтобы непосредственно определялась величина и направление равнодействующей, а не уравновешивающей силы.

В качестве тела, находящегося под действием приложенных сил, берут узел, в котором связаны три бечевы (рис. 31).

Петли на свободных концах всех трех бечевки накидываются на крюки трех динамометров. Кольца динамометров надевают на гвозди, вбитые в произвольных местах доски, покрытой картоном или бумагой. На бумаге отмечается положение узла, направления нитей и величины сил по показаниям динамометров в их равновесном состоянии. Отцепляя два каких-либо динамометра, натягивают одну из освободившихся бечевки динамометром до восстановления прежнего положения узла. Сила натяжения пружины перемещенного динамометра выполняет те же действия, что и силы натяжения пружин двух снятых динамометров. Показание перемещенного динамометра, таким образом, наглядно представляет величину и направление равнодействующей тех составляющих, которые были представлены величиной сил натяжения двух снятых динамометров.

В отмеченных бечевками направлениях на снятой бумаге строится параллелограмм сил и формулируется правило параллелограмма сил.

Показав зависимость величины и направления равнодействующей от угла между ними, учитель выводит из общего случая частные случаи действия сил по одной прямой:

$$R < F_1 + F_2, \text{ если } \alpha \neq 0;$$

$$R = F_1 + F_2, \text{ если } \alpha = 0;$$

$$R = F_1 - F_2, \text{ при } \alpha = 180^\circ.$$

В заключение урока показывается графическое построение треугольника и многоугольника сил.

4. Л а б о р а т о р н а я р а б о т а. Следующий урок посвящен выполнению фронтальной лабораторной работы по сложению 2-х сил, действующих на тело под углом друг к другу¹.

5. Р а з л о ж е н и е с и л н а д в е с о с т а в л я ю щ и е. Задача разложения силы на две составляющие является обратной задачей сложения сил, направленных под углом друг к другу. В отличие от единственности результата сложения сил задача разложения данной силы по двум направлениям имеет бесчисленное множество решений.

Эту неопределенность можно продемонстрировать на опыте по удержанию тела, подвешенного в одной точке на двух нитях, закрепляемых с помощью динамометров под различными углами друг к другу.

Для того чтобы учащиеся научились сознательно решать задачу разложения действующей на тело силы по двум заданным направлениям, необходимо обосновать пользу этого разложения на ряде конкретных технических примеров.

Рассматривая разложение силы на кронштейне, подъемном кране, наклонной плоскости, надо дать краткое описание устройства их, ознакомить учащихся с основными типами подъемных кранов и кронштейнов, применяемых в различных областях промышленности, транспорта, сельского хозяйства.

Показав модель кронштейна — устройства для крепления на вертикальной стене выступающих частей машин или сооружений, необходимо разобрать назначение балки и подкоса.

Для демонстрации характера деформаций балки и подкоса и возникающих в них напряжений можно использовать установку с двумя демонстрационными динамометрами или проградуированными пружинами (рис. 32).

На модели подъемного крана, представляющего собой машину для захватывания, подъема и перемещения грузов, выясняется

¹ А. А. П о к р о в с к и й, Б. С. З в о р ы к и н, Фронтальные лабораторные занятия по физике, изд. АПН РСФСР, М., 1952, стр. 124—126.

характер деформации тяги и подкоса, аналогично приему, примененному на модели кронштейна.

Сопоставляются результаты графического разложения силы с данными опыта.

Гораздо проще осуществляется разложение силы по правилу треугольника сил.

Практическим обоснованием разложения силы на кране или кронштейне является определение усилий, возникающих в частях их: балке, тяге и подкосе. Возникает необходимость ввести в школьный курс физики понятия о реакциях связей, что даст возможность ознакомить учащихся с простейшими расчетами на прочность балок, кранов, кронштейнов.

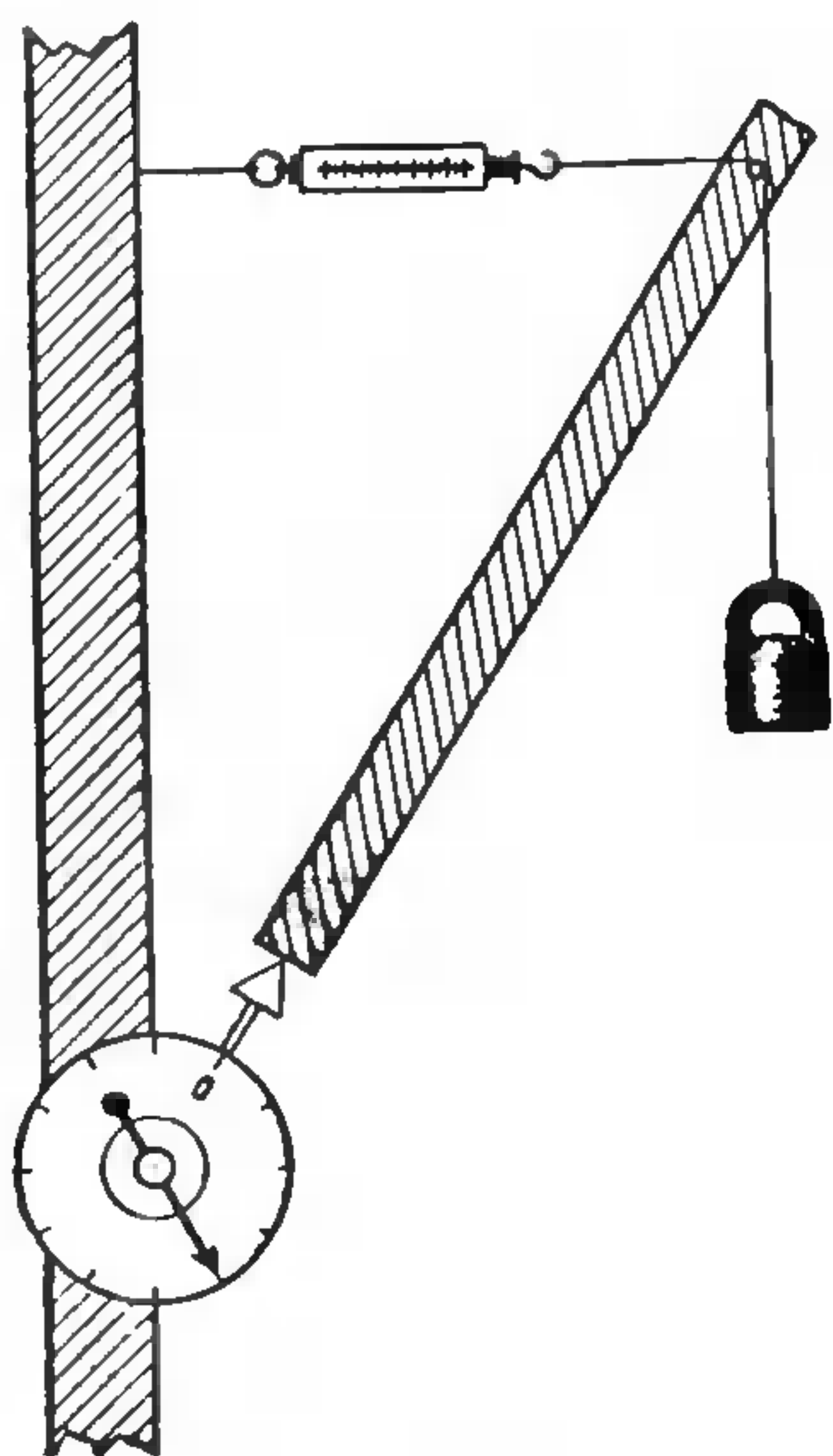


Рис. 32

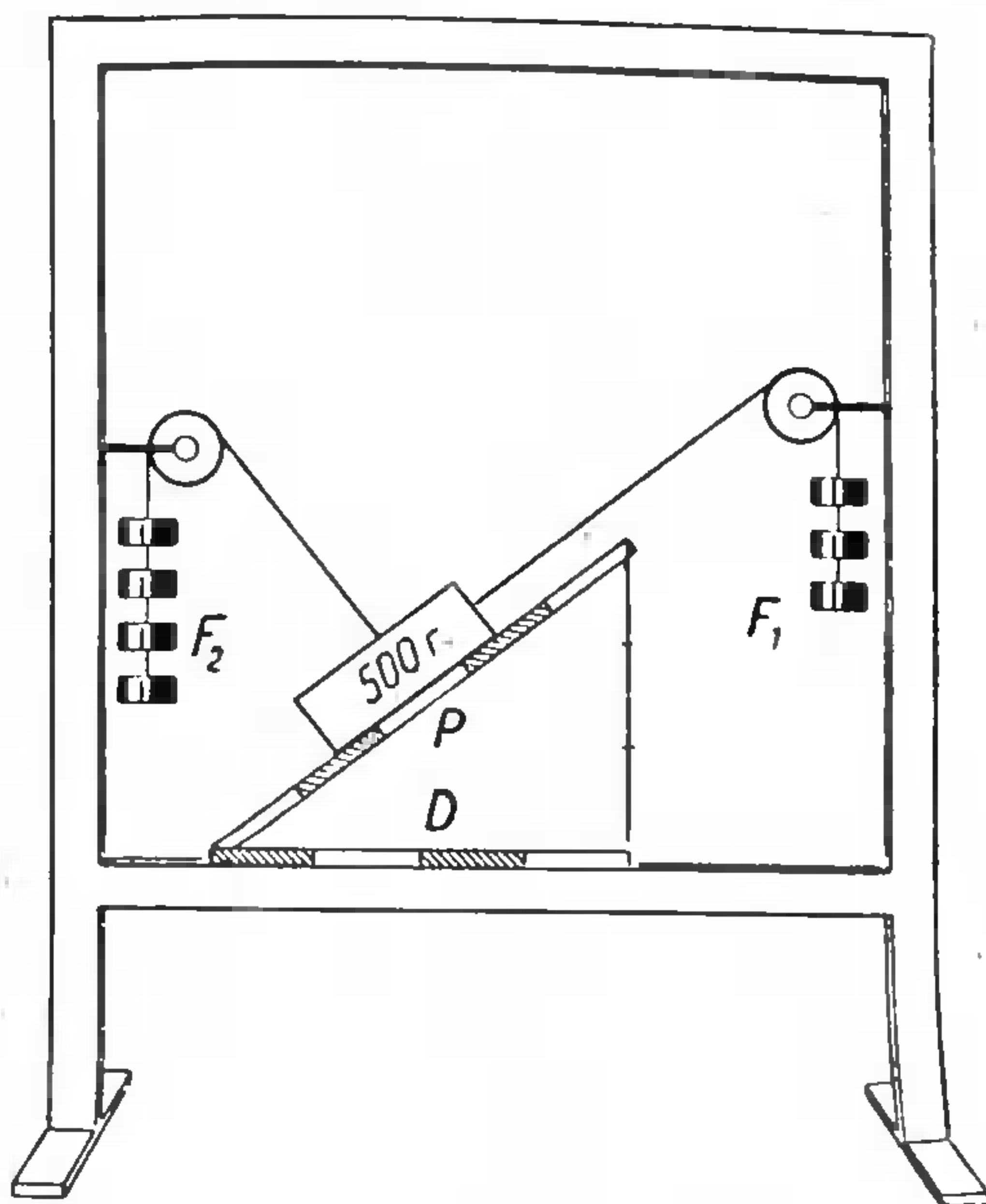


Рис. 33

Разложение силы тяжести на наклонной плоскости удобно осуществить на опыте, установка для проведения которого дана на рисунке 33. Вывод основного правила наклонной плоскости проводится без учета силы трения.

Силы F_1 и F_2 уравнивают вес тела, лежащего на наклонной плоскости. Отношение между силами $F_1 : F_2 : P = 3 : 4 : 5$ соответствует отношению между высотой, основанием и длиной наклонной плоскости.

Затем выясняется геометрический смысл коэффициента трения

$$k = \operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{b},$$

где h — предельная высота наклонной плоскости, при которой имеет место равновесие сил (рис. 78, Пер. I),

b — длина основания наклонной плоскости.

На примере расположения сыпучих тел на горизонтальной плоскости в форме конусов устанавливается зависимость коэффициента трения частиц вещества о поверхность таких же частиц от угла между горизонтом и образующими конуса, названного углом естественного откоса. Определение угла естественного откоса имеет большое практическое значение при рытье окопов, траншей, канав, рвов и для выяснения условий хранения сыпучих тел.

6. П о н я т и е о к и н е м а т и ч е с к о й п а р е. С движением тела по наклонной плоскости связано очень важное в технике понятие о к и н е м а т и ч е с к о й п а р е.

Тело и наклонная плоскость, как два взаимно связанные звена, в совокупности составляют кинематическую пару. В механизмах имеет место соединение между собой кинематических пар.

Важно отметить, что в машинах и механизмах решающим фактором является не абсолютное, а относительное перемещение звеньев кинематических пар друг относительно друга.

Виды и назначение конкретных кинематических пар рассматриваются в курсе машиноведения.

7. Р а з л о ж е н и е с и л ы н а к л и н е и в и н т е. На этом уроке продолжается ознакомление учащихся с разложением силы на составляющие по заданным направлениям на клине и винте, представляющих собой разновидности наклонной плоскости. После показа двух типов клиньев — односкосного и двухскосного — ставится опыт по разложению силы на клине. Необходимо выяснить практическое применение клина как режущего инструмента в виде зубила, топора, ножа, стамески, пилы, резца токарного станка, плуга, насечки напильника и как детали разъемного соединения машин — шпонки.

Так как при угле клина, равном 10° , получается примерно десятикратный выигрыш в силе, этот угол часто выдерживается в ряде режущих инструментов.

Образование резьбы, виды резьб, их практическое значение подробно разобраны в учебнике по машиноведению¹. Задача учителя физики при разборе разложения силы на винте ограничивается выяснением двойного применения винта: а) для получения значительного выигрыша в силе и б) для крепления частей машин.

52. Равновесие сил, действующих на тело, имеющее неподвижную ось вращения

1. П о н я т и е о с в я з и. Вывод условий равновесия сил, действующих на тело, имеющее ось вращения, способствует расширению кругозора учащихся, так как рассматриваемые новые физические понятия тесно связаны с практическими потребностями людей.

¹ М. А. Жиделев и Б. П. Никитин, Руководство по машиноведению, ч. 1, Учпедгиз, М., 1958, стр. 53—59.

Одно из таких понятий — понятие о с в я з и. Под связью понимают тело, препятствующее свободному движению рассматриваемого тела. В рассматриваемом случае связью для тела является ось вращения. С понятием связи учащиеся уже встречались. Для каждой кинематической пары одно тело является связью для другого тела. Выяснение общего и типичного для разнообразных связей, определение величины их реакций дает возможность учащимся сознательно изучать конкретные типы связей на уроках машиноведения.

Связи обычно осуществляют в виде различных твердых или гибких тел. В любой современной машине связи вынуждают деталь совершать нужное движение. В технике различают связи удерживающие и недерживающие (силовые).

Разъясним учащимся, что если тело, находясь под действием связи, совершает принудительное движение и не может покинуть связи, то эта связь называется принуждающей, или удерживающей, связью.

Для шарика, через отверстие в котором продета проволока, удерживающей связью является проволока. Примером принудительного движения является вращение шпинделя обыкновенного токарного станка около своей оси. Другие движения для него невозможны, пока что-либо не сломается или не расстроится.

К силовым, или недерживающим, связям относят те связи, под действием которых тела совершают вынужденные движения, но могут их покинуть.

В качестве примеров силовых связей приводим движение поезда по рельсам, троса или каната по блоку. Так как эти связи силовые, то во избежание схода с них предусматриваются специальные устройства (они имеются на колесах паровозов, вагонов, роликах блоков и др.).

В технических расчетах различных сооружений действие связей оценивается по их реакциям, т. е. производится силовая оценка связей.

Равновесие системы сил, состоящей из действующих на тело сил, названных условно активными силами, и реакций связей, обеспечивает или равномерное прямолинейное движение тела или его покой. При этом расчет величины реакции связи связан с конкретными свойствами выбранных материалов, из которых связь изготовлена. Прочность этих материалов проверяется на специальных машинах, фиксирующих величину усилия, возникающего в отобранном образце материала и доводящего его до разрушения.

Приводятся многочисленные примеры связей, при которых возможно вращательное движение тел.

2. П о н я т и е о м о м е н т е с и л ы. При выводе условий равновесия сил на теле, закрепленном на неподвижной оси, впервые выясняется роль плеча силы, с которым связано понятие о м о м е н т е с и л ы. На опыте с рычагом с помощью динамометра устанавливается зависимость вращательного движения от величины

силы и расстояния до оси вращения, вводятся понятия о плече силы, моменте силы, знаке момента и выводятся условия равновесия, несколько необычные для учащихся, так как условие $\Sigma F=0$ заменяется условием $\Sigma M=0$.

Вывод условия $\Sigma M=0$ осуществляется экспериментальным путем, при помощи установки, описанной в «Физ. эксп.», ч. II, § 33.

Проверка условий равновесия сил на теле, имеющем неподвижную ось вращения, выполняется в лабораторной работе, проводимой фронтально.

Оборудование к работе, порядок и методика ее проведения изложены в книге «Фрон. л. з.».

3. С л о ж е н и е п а р а л л е л ь н ы х с и л. Для обоснования необходимости сложения параллельных сил приводятся взятые из техники и быта примеры действия параллельных сил, приложенных к одному телу.

Сложение параллельных сил, направленных в одну и ту же сторону, рассматривается вначале на частном случае двух сил.

В опытах по определению равнодействующей двух параллельных и одинаково направленных сил, приведенных в книге «Физический эксперимент в школе», учащиеся видят непосредственно не равнодействующую, а уравнивающую силу.

Опыт сложения двух параллельных сил можно осуществить так, как описано в учебнике (Пер. I, § 44).

Затем опыт следует повторить, но уже с другими грузами, установленными в других местах линейки.

Наряду с простым и экономным по времени экспериментальным выводом полезно провести и теоретический вывод правила сложения параллельных сил. Можно показать на опыте неизменность точки приложения равнодействующей параллельных сил (центра параллельных сил) при повороте линий их действия на один и тот же угол (рис. 83, Пер. I).

Необходимо обосновать на примерах решение обратной задачи — разложение одной силы по двум заданным направлениям, параллельным между собой. Опытная проверка разложения проводится в обратном порядке. Устанавливается одна гиря на линейку, опирающуюся в двух точках на закрепленные с помощью штативов динамометры. Отмечаются показания динамометров. Гиря заменяется двумя гирями, в сумме равными ей по весу и производящими такое же действие на динамометры.

Правило сложения двух параллельных, но п р о т и в о п о л о ж н о н а п р а в л е н н ы х сил также можно вывести экспериментально. Вначале демонстрируется такой случай и вводится понятие «антипараллельные силы». На установке, показанной на рисунке 34, непосредственно определяется равнодействующая сила и ее точка приложения, лежащая по левую сторону от большей силы.

4. Понятие о паре сил. Двумя последующими опытами по сложению антипараллельных сил, разность между которыми по величине уменьшается, показываем, что точка приложения их равнодействующей все дальше уходит влево от точки приложения большей силы.

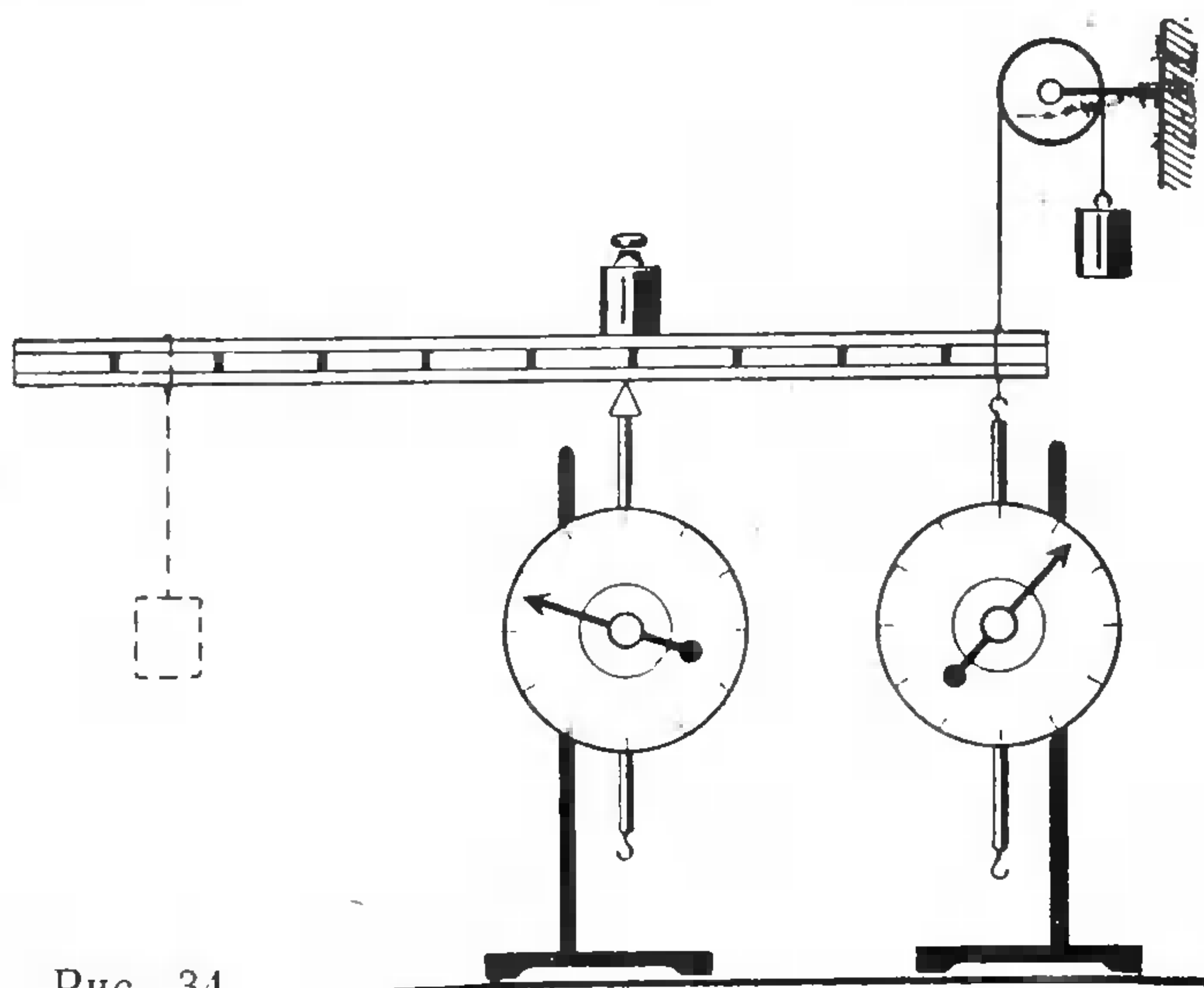


Рис. 34

В том предельном случае, когда обе силы равны по величине, нет смысла говорить о равнодействующей, так как нельзя заменить действие пары сил одной силой. Понятие пары сил как вращательного усилия демонстрируется на опыте с диском, к которому прило-

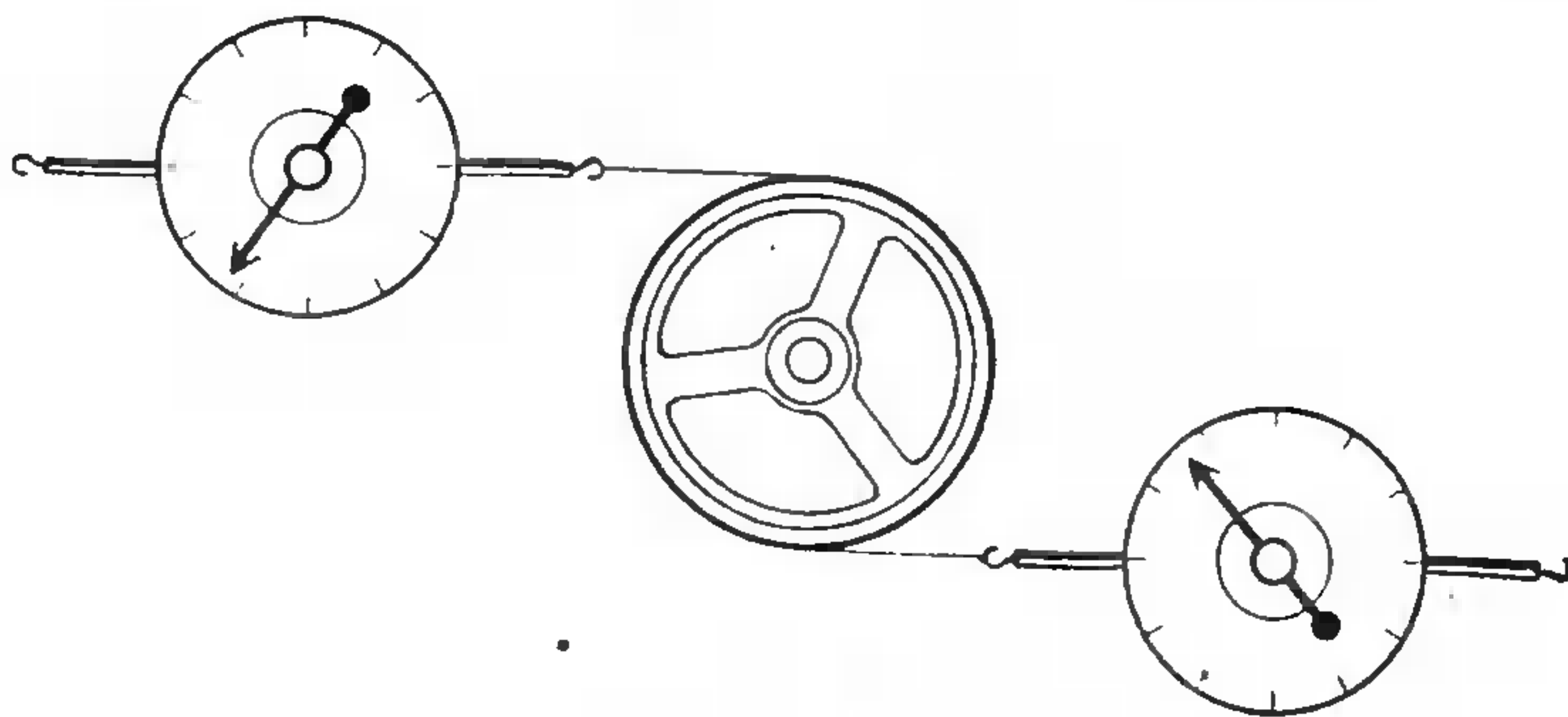


Рис. 35

жены в двух крайних точках обода антипараллельные силы. Величины сил измеряются динамометрами, прикрепленными к ободу (рис. 35). Необходимо показать различие во вращательных движениях в рассмотренном случае и в случае, когда тело имеет ось вращения.

На примере с торможением колес вагонов с помощью тормозных колодок выясняется, что пара сил может быть уравновешена только парой сил (рис. 36).

Как и в случае с вращением тела, закрепленного на оси, выясняется на ряде технических примеров роль плеча и момента пары, характеризующего ее вращательное усилие.

Один из примеров: для облегчения управления водителем автомобиля, трактора, самолета, корабля и других машин рулевое колесо делается достаточно больших размеров. Его диаметр численно равен плечу пары сил, вращающей рулевое колесо.

53. Центр тяжести. Центровка тел

1. **Ц е н т р т я ж е с т и.** На уроке дается обоснование понятия центра тяжести тела, как центра параллельных сил тяжести, и проводится определение центров тяжести разных тел опытным путем. Для определения центра тяжести путем расчета необходимо познакомить учащихся с основными способами определения центра тяжести однородных тел.

Ознакомление учащихся с понятием центра тяжести позволяет выяснить его значение в технике и ту роль, которую играет **ц е н т р о в к а** тел.

Необходимо обратить внимание учащихся на силы, представляющие собой веса отдельных частей тел. Строго говоря, эти силы не параллельны между собой, но с достаточной степенью точности их можно считать параллельными.

Выясняется значение центра тяжести тел на практике, в быту. С положением центра тяжести тел связаны вопросы устойчивости, нормальной работы разнообразных сооружений.

Определив центр тяжести как точку приложения веса тела, необходимо подчеркнуть, что центр тяжести занимает определенное положение в теле. В технике и бытовых условиях часто требуется, чтобы тела под действием силы тяжести находились в состоянии относительного покоя или равномерного прямолинейного движения. Это возможно только при уравнивании силы тяжести. Для этого нужно знать ее точку приложения, т. е. центр тяжести.

Учителю следует остановиться на вопросе нахождения центра тяжести расчетом и опытным путем и показать, как определяется центр тяжести однородного стержня, треугольника, плоской фигуры неправильной формы, диска. Учащиеся сами могут указать, где лежит центр тяжести известных геометрических фигур: круга, прямоугольника, параллелограмма, цилиндра. Учитель может познакомить учащихся со следующими способами определения центра тяжести:

1) способом симметрии, заключающимся в том, что центры симметрии однородных тел совпадают с центрами тяжести.

2) Способом группировки, позволяющим определить центр тяжести при условном разделении тела на части, центры тяжести ко-

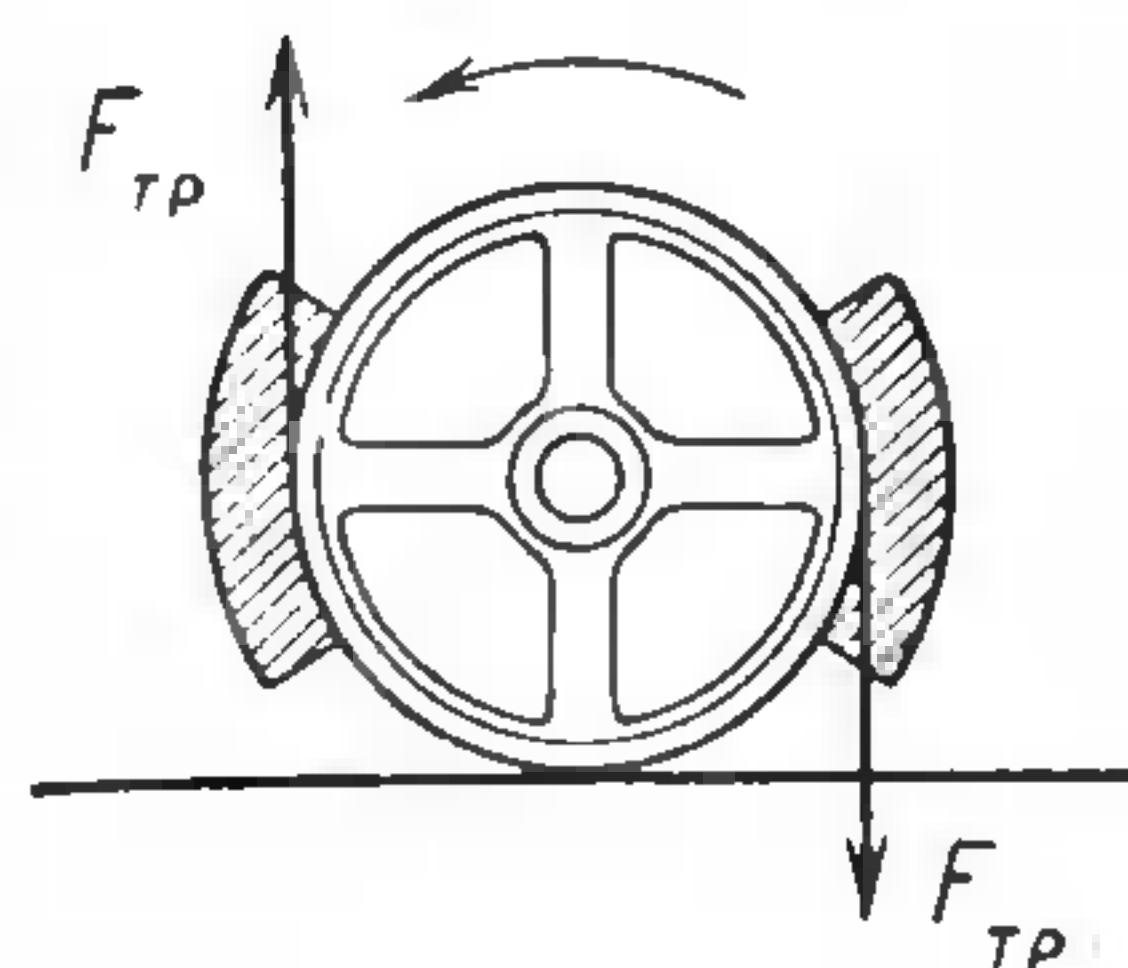


Рис. 36

торых известны. Задача сводится к определению центра параллельных сил тяжести.

3) Способом «отрицательных» весов, названного так вследствие того, что при определении центра тяжести тела, у которого отсутствует или удалена какая-либо часть, вес этой удаленной части считают условно отрицательным. Задача сводится к отысканию точки приложения равнодействующей двух антипараллельных сил.

Определение центра тяжести какой-либо объемной фигуры подвешиванием ее за разные точки крайне затруднено, так как в объемных моделях нельзя видеть пересечение вертикальных линий, проходящих через центр тяжести тела.

Оригинальный способ определения центра тяжести картофелины предлагает С. И. Юров¹.

Этим способом можно определить центры тяжести объемных фигур, вылепленных из пластилина.

2. Центровка тел. Весьма важным в техническом конструировании является понятие центровки тел. Познакомить учащихся с этим понятием можно так.

Расчет положения центра тяжести проектируемой машины производится по схеме или чертежу и, как правило, не совпадает с положением центра тяжести построенной машины. На практике применяют метод взвешивания уже готовой машины одновременно на двух или трех весах. Центр тяжести самолета определяется, например, следующим путем: его ставят на двое весов, расстояние между которыми известно (рис. 37). По показаниям весов и расстоянию между ними определяется положение его центра тяжести.

Метод определения центра тяжести взвешиванием, широко применяемый в авиации, получил название центровки тел.

В заключение урока полезно разобрать некоторые примеры расчетного характера по определению центра тяжести тела.

54. Устойчивость тел. Балансировка машин

1. Устойчивость тел. Перейти к рассмотрению видов устойчивости тел можно, например, задав учащимся вопрос: в каком месте нужно подпереть стальную балку, чтобы она находилась в равновесии? Разобрав этот вопрос, учитель обращает внимание учащихся на то, что не всегда устойчивость тел бывает одинаковой.

Для выяснения условия устойчивого положения тела ставятся опыты с подвешиванием на штативе картонной фигуры с найденным заранее центром тяжести (рис. 87, Пер. I). Подвешивание проводится тремя способами: 1) центр тяжести находится на одной вертикали с точкой подвеса, но расположен ниже ее; 2) центр тяжести лежит на одной вертикали с точкой подвеса, но расположен выше ее; 3) точка подвеса совпадает с центром тяжести фигуры.

¹ С. И. Юров. Домашние экспериментальные работы учащихся по физике, Учпедгиз, М., 1954, Работа № 89, стр. 139.

Учитель показывает поведение фигуры во всех 3-х случаях при смещении ее из положения равновесия.

Затем демонстрируются различные положения шара при выводе его из состояния равновесия (рис. 90, 91, Пер. I). После построения силовых схем в обоих случаях формулируется общий вывод.

Устанавливается, что при безразличном равновесии перемещение тела не связано с появлением неуравновешенных сил, т. е. все силы, действующие на тело, уравновешены в любом его положении.

Этим пользуются для проверки правильности изготовления колес, якорей динамо-машин, валов, турбин, пропеллеров. Производственные машины, орудия, станки, прессы требуют равномерного вращения ведущего вала. Малейшая неуравновешенность частей машин при современных угловых скоростях, достигающих 30 000 и более оборотов в минуту, приводит к деформации оси, вызывает вибрацию вращающихся частей и всей машины в целом, что приводит к ее быстрому износу и поломке.

2. Статическая балансировка машин. Преподаватель отмечает различие между статической и динамической балансировкой машин.

Динамическая балансировка заключается в уравнивании вращающихся частей машин. Уравнивание осуществляется на специальных балансировочных машинах и станках. В настоящее время вводится автоматизация процесса балансировки деталей, что имеет важное значение при массовом производстве вращающихся деталей.

Статическая балансировка заключается в проверке сохранения безразличного равновесия валами и другими вращающимися деталями, т. е. в выяснении уравновешенности приложенных сил при любом статическом положении тел. Статическая балансировка всегда предшествует динамической балансировке. Преподаватель демонстрирует на опыте статическую балансировку вала с насаженным на него диском.

Вал поворачивают вокруг его оси на различные углы и при каждом его положении проверяют, сохраняет ли он свое равновесие. Учащимся разъясняется, что в случае выхода вала из какого-либо выбранного положения вал подвергается дополнительной обработке; часть материала вала стачивается или наоборот, материал наплавливается на вал.

Как и в случае динамической балансировки, в настоящее время внедряется в производство автоматизация процесса статической балансировки валов и других вращающихся деталей.

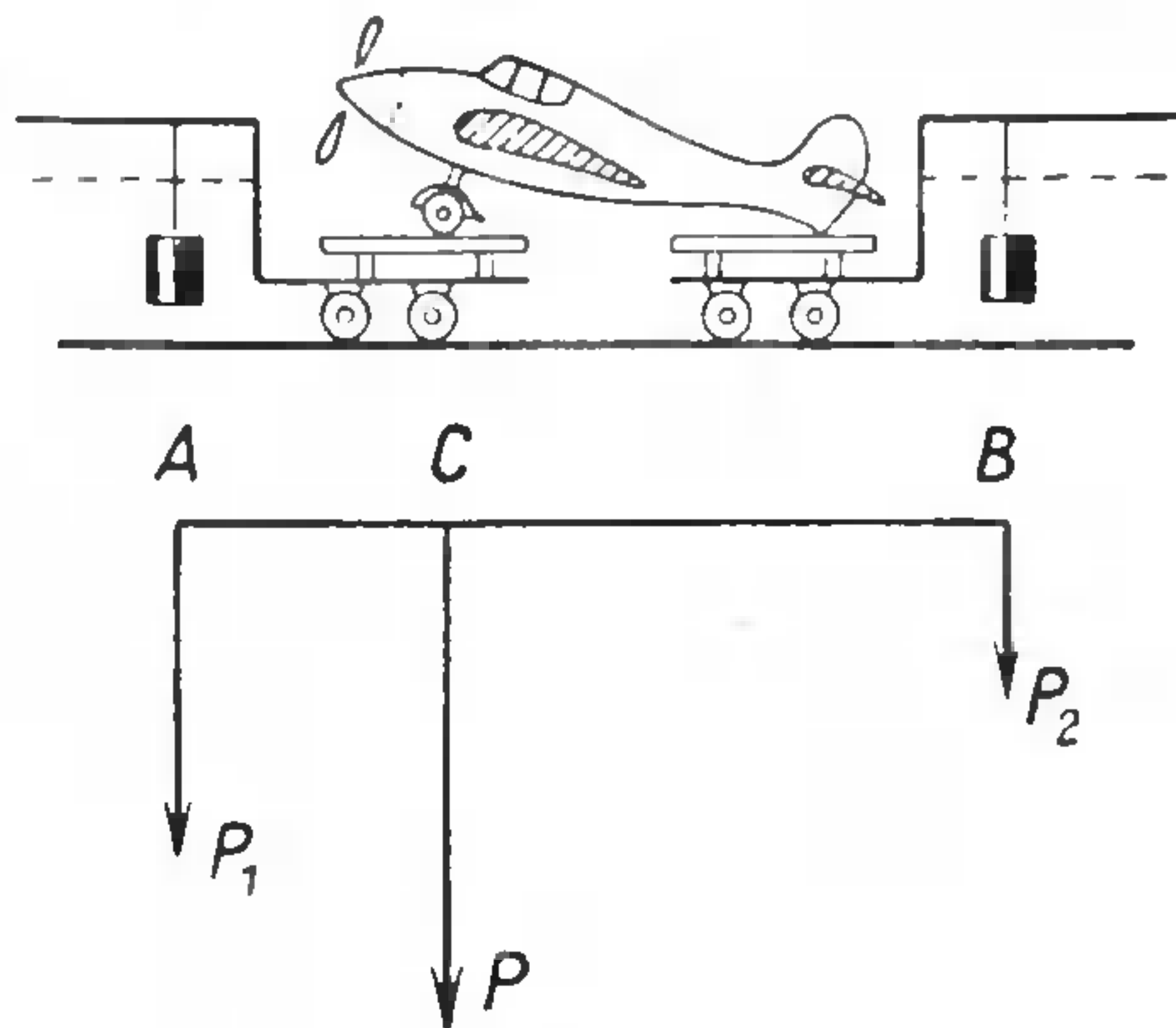


Рис. 37

3. Устойчивость тел, имеющих площадь опоры. Затем выясняются на известных опытах условия устойчивости тел, имеющих площадь опоры, и дается вывод о виде устойчивости тела в зависимости от характера изменения его потенциальной энергии. Кроме предусмотренных программой трех фронтальных лабораторных работ, можно рекомендовать учащимся выполнить дома доступные по оборудованию и способу проведения следующие работы: 1) разложение сил на подъемном кране; 2) определение центра тяжести плоской фигуры любой формы; 3) определение центра тяжести объемной фигуры; 4) выяснение условий хранения сыпучих тел (по вышеуказанной книге С. И. Юрова).

Глава IX.

КРИВОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ

55. Значение темы и планирование ее

Научное значение темы велико, так как в ней ранее усвоенные механические понятия—скорость, ускорение, сила—получают расширенные и углубленные толкования и законы динамики обнаруживаются в новых конкретных проявлениях. К тому же криволинейное движение встречается в природе и в технике значительно чаще, чем прямолинейное. Оно постоянно имеет место в движении тел во Вселенной (планет, комет и других космических тел).

Также велико политехническое значение темы, так как законы криволинейного движения, в частности вращательного, широко используются в современной технике. Ниже приведено распределение составных частей темы по урокам.

1-й урок. Линейная скорость криволинейного движения.

2-й урок. Движение тела, брошенного горизонтально.

3-й урок. Лабораторная работа: изучение движения тела по параболе¹.

4-й урок. Упражнения.

5-й урок. Движение тела, брошенного под углом к горизонту.

6-й урок. Полет снарядов. Упражнения.

7-й урок. Центробежное ускорение.

8-й урок. Упражнения.

9-й урок. Угловая скорость, ее единица и связь ее с линейной скоростью при равномерном вращении.

10-й урок. Центробежная и центростремительная силы.

11-й урок. Упражнения и техническое использование равномерного движения по окружности.

12-й — 14-й уроки. Дальнейшее приведение примеров технического использования равномерного вращательного движения, упражнения, повторения, обобщения и углубления темы.

¹ Лабораторная работа может предшествовать изучению движения тела, брошенного горизонтально.

56. Линейная скорость криволинейного движения

На первом уроке после введения, содержащего сведения о значении темы, следует повторить в беседе и на опытах условие возникновения криволинейного движения: криволинейное движение тела возникает под действием на него других тел, стремящихся изменить направление начальной скорости тела (действующая сила направлена под углом к начальной скорости).

Опыты: на пути прямолинейно скатывающегося с наклонной плоскости шарика ставится изогнутая пластинка, искривляющая его траекторию; дается толчок шарiku, привязанному к нити, другой конец которой удерживается в одном месте; сбоку траектории железного или стального шарика, получившего толчок по горизонтальной стеклянной пластинке, поставлен сильный магнит; он искривляет траекторию шарика.

Далее преподаватель путем беседы напоминает учащимся, что скорость — вектор, и предлагает учащимся вспомнить, как направлен вектор скорости по отношению к прямоугольной траектории в равномерном, равномерно-ускоренном и равномерно-замедленном движении. Напомнив учащимся известное им из геометрии положение, что вектор — отрезок прямой линии и дуга кривой не могут быть совмещены всеми их точками, преподаватель ставит вопрос, как направлен вектор скорости в криволинейном движении. Преподаватель напоминает учащимся или повторяет опыты, показанные по этому вопросу. Обобщая явление на любое криволинейное движение, преподаватель подводит учащихся к выводу относительно направления скорости в криволинейном движении.

Экспериментальный вывод относительно направления скорости в криволинейном движении можно дополнить и теоретическим выводом.

Для этого криволинейная траектория заменяется вписанной ломаной. В начальной точке вектор скорости будет направлен по первому прямолинейному звену ломаной (рис. 38).

При удвоении числа сторон ломаной линии, т. е. при приближении движения по ломаной к действительному движению по кривой, хорда, по которой направляется каждый раз вектор скорости, вращается вокруг своей начальной точки, пока не расположится в пределе, при бесконечном увеличении числа сторон ломаной линии, вдоль касательной к кривой в рассматриваемой точке.

Указав учащимся, что под длиной пути криволинейного движения подразумевается длина дуги криволинейной траектории, преподаватель выводит выражение для скорости равномерного

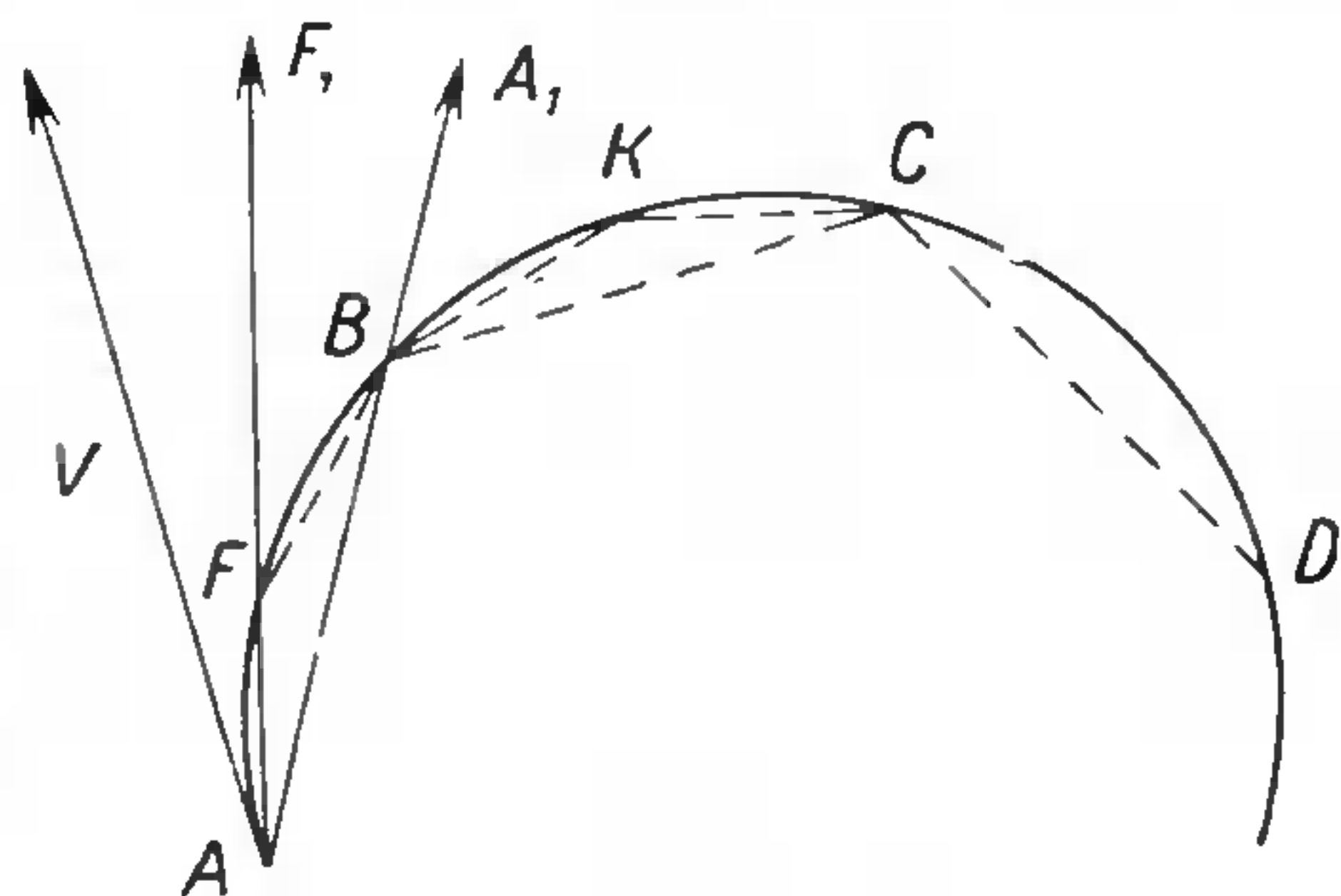


Рис. 38

криволинейного движения $v = \frac{s}{t}$. Затем применяет эту формулу для равномерного движения по окружности ($v = \frac{2\pi R}{T}$). Урок заканчивается расчетами линейной скорости; такие же расчеты предлагаются для упражнений на дому.

57. Движение брошенных тел

После общих соображений об условиях возникновения криволинейного движения и выражения его скорости предметом изучения становятся частные случаи криволинейного движения, именно, движение брошенных тел. Путь изучения может быть двоякий: или рассказ преподавателя с демонстрациями и затем лабораторная работа; или сначала лабораторная работа и на следующем уроке разбор выводов из нее.

1. Движение тела, брошенного горизонтально. Учащимся ясно, что на брошенное тело действует сила тяжести, но для них не очевидно, одинаково ли действует эта сила на тело, находящееся в покое, и на тело, уже имеющее начальную скорость, направление которой составляет угол с направлением силы.

Поставив перед учащимися этот вопрос, преподаватель производит известный опыт с одновременным падением на пол с одного и того же уровня свободно падающего шарика и шарика, брошенного горизонтально (рис. 6, Пер. II).

Из этого опыта преподаватель выводит принцип независимости действия сил и выясняет его значение.

Действительно, на основании этого принципа, обнаруженного на опыте и вытекающего из второго закона (ускорение зависит только от величины силы и от массы тела и не зависит ни от чего иного), можно вычислять действие на тело любой заданной силы, не зная и даже не ставя вопроса, действуют ли одновременно на тело какие-либо другие силы.

Опираясь на этот принцип, учащиеся рассчитывают пути, пройденные горизонтально брошенным телом за одно и то же время t по горизонтали ($s = v_0 t$) и по вертикали ($h = \frac{gt^2}{2}$), находят на чертеже точки, в которые попадает тело в последовательные моменты времени, и определяют, что траектория такого движения — п а р а б о л а. Демонстрацией движения по параболе может служить движение шарика, покрытого краской, по наклонной плоскости (рис. 39).

На лабораторной работе, выполняемой по описанию, помещенному в учебнике или в руководстве «Физ. л. з.», учащиеся проверяют выводы, полученные на предыдущем уроке. Если же работа поставлена сначала, то накапливают материал для вывода.

На этом и на следующих уроках решаются задачи, в которых предлагается, в частности, вычислить дальность полета горизон-

тально брошенного тела при условии отсутствия сопротивления воздуха.

2. Движение тела, брошенного под углом к горизонту. Закрепив путем упражнений навыки учащихся в расчете величин, характеризующих движение тел, брошенных горизонтально, преподаватель переходит к расчету движения тел, брошенных под углом к горизонту. Он отмечает, что в этом случае существует вертикальная составляющая начальной скорости v_0 ($v_s = v_0 \sin \alpha$); движение по горизонтали происходит со скоростью, равной горизонтальной составляющей начальной скорости v_2 ($v_2 = v_0 \cos \alpha$, где α — угол между направлением начальной скорости

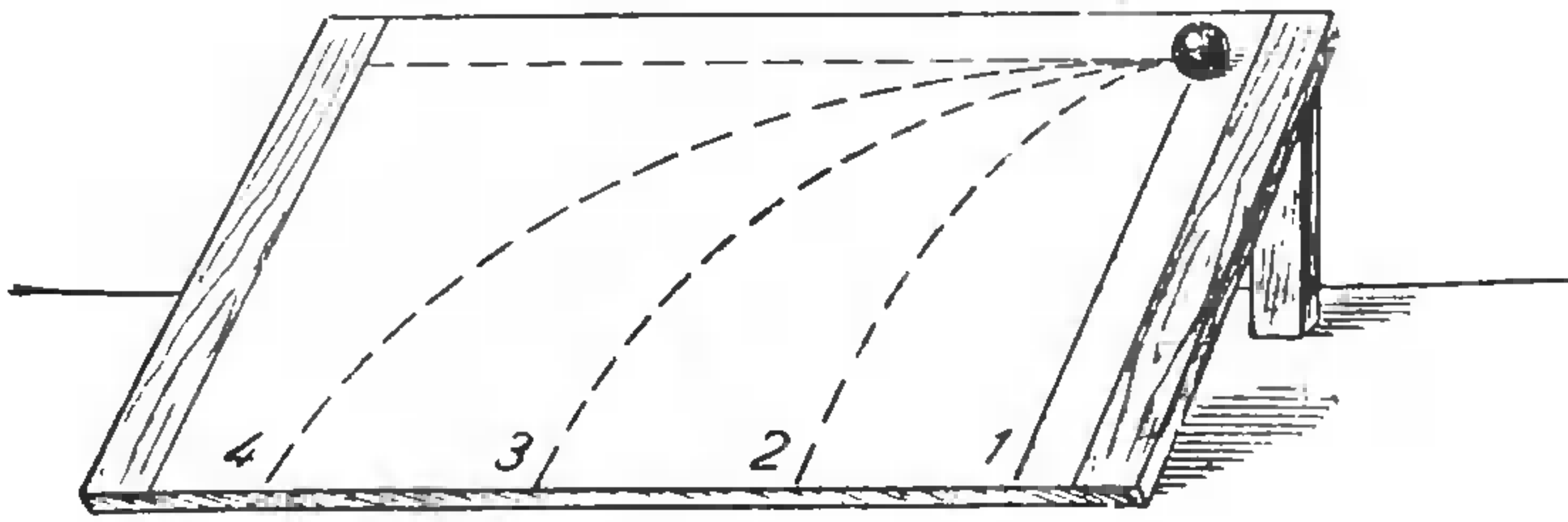


Рис. 39

и горизонтом). Прежде чем переходить к расчетам, преподаватель показывает на опытах и моделях параболическую траекторию тела, брошенного под углом к горизонту (для того случая, когда можно пренебречь сопротивлением воздуха).

В качестве демонстраций можно рекомендовать следующие. Демонстрацию движения вытолкнутого по наклонной плоскости под углом к горизонту шарика, смазанного краской (рис. 39). Демонстрацию формы струи воды, выпускаемой из водопровода через резиновый шланг, оканчивающийся стеклянной трубкой с оттянутым концом (Пер. II, рис. 8). Во время опыта меняется скорость струи и ее наклон к горизонту и наблюдается форма струи и дальность ее падения на поднос, считая по горизонтали.

Схема параболического движения изображена на рисунке 9 (Пер. II).

При разборе опытов надо обратить внимание учащихся на изменения формы траектории с изменением вертикальной и горизонтальной составляющих скорости; на то, что точка траектории, в которой вертикальная составляющая скорости обращается в нуль, а полная скорость равна по величине и направлению горизонтальной составляющей, является наивысшей точкой траектории тела — вершиной параболы; что траектория тела симметрична относительно вершины; что дальность полета зависит от величины и направления начальной скорости; при данной начальной скорости дальность полета достигает, при отсутствии сопротивления среды, наибольшей величины при угле бросания в 45° .

тем в дальнейшем при разборе действия центростремительной силы будет все время подчеркиваться, что точка ни в каком случае под действием центростремительной силы не приближается к центру, оставаясь на постоянном от него расстоянии. Этот прием не объясняет учащимся, почему они должны приписывать ускорение движению точки по окружности, несмотря на его равномерность.

Второй прием, сравнивая величину и направление скорости в данный момент с величиной и направлением скорости в предшествующий бесконечно близкий момент, наглядно показывает, что новое направление скорости может быть объяснено только через прибавление к начальной скорости некоторого вектора, представляющего собой изменение скорости за бесконечно малый промежуток времени. Изменение же скорости за единицу времени представляет собой ускорение. Таким образом, необходимость ускорения в равномерном движении по окружности и его направление выясняются самым наглядным образом на чертеже и путем рассуждения.

На этом уроке полезно произвести обзор всех разобранных выше видов движения в их отношении к ускорению.

При выводе указанным способом выражения центростремительного ускорения надо предупредить учащихся, что чертеж, на котором делается вывод, получается искаженным. Дело идет об изменении скорости при переходе от одной точки к другой, лежащей бесконечно близко от первой; между тем ради отчетливости чертежа приходится брать вторую точку на значительном расстоянии от первой. Поэтому после вывода формулы ускорения надо заняться вопросом, как изменится чертеж, если вторая точка будет бесконечно приближаться к первой. Можно сделать добавочный чертеж для точки, ближе лежащей к начальной.

Анализ изменений углов треугольника покажет, что вектор ускорения в каждый момент должен образовывать прямой угол со скоростью, т. е. иметь направление по радиусу к центру, поэтому данное ускорение получило название **ц е н т р о с т р е м и т е л ь - н о г о**.

59. Угловая скорость. Вращение твердого тела

При разборе прямолинейного движения точки и поступательного движения тела было отмечено, что их движения описываются одними и теми же уравнениями; например, скорость поступательного движения всего тела такая же, как скорость каждой точки его.

Демонстрируя вращение любого твердого тела (из тел, имеющихся в физическом кабинете) и отмечая какими-либо значками отдельные точки его на одном и том же радиусе, преподаватель показывает, что каждая из отмеченных точек движется со своей собственной линейной скоростью. Отсюда следует вывод, что одной линейной скоростью нельзя характеризовать вращение твердого тела. Между тем тело вращается как единое целое; следовательно, должна существовать и единая характеристика его вращения.

Отмечая, что все радиусы тела за одно и то же время совершают поворот на один и тот же угол, преподаватель вводит понятие об угловой скорости, дает ее определение, приводит ее обозначение $\omega = \frac{2\pi}{T}$ (омега), устанавливает единицу для ее измерения $\frac{\text{радиан}}{\text{секунда}}$ и показывает ее связь с линейной скоростью $v = \omega R$.

Учащиеся, выводя новое выражение для ускорения: $a = \omega^2 R$, в дальнейших упражнениях пользуются как линейной, так и угловой скоростями.

В особенности надо добиваться от учащихся знания наименования единицы угловой скорости — радиан в секунду, так как они часто забывают слово «в секунду».

60. Центробежная сила.

Следующие уроки посвящаются выяснению понятий о центробежной и центростремительной силах; опытам, иллюстрирующим различные качества этих сил, и показу их технического использования.

После того как выяснено, что при равномерном движении по окружности имеет место центробежное ускорение, легко на основании законов механики установить, что должна существовать сила, сообщаящая это ускорение и называемая центробежной силой.

Надо остановить внимание учащихся на источнике центробежной силы. Учащиеся уже давно знают, что сила есть только обозначение действия одного тела на другое.

Возможно провести и обсудить с учащимися следующие опыты, которые позволят вскрыть происхождение рассматриваемых сил.

На стальной стержень насажен круг или шар, свободно скользящий по нему. Через один конец стержня пропущена ось, которую держат в руке.

Стержень располагается горизонтально; шарик, помещающемуся где-либо на стержне, дается толчок. Тогда стержень приходит во вращение вокруг оси, а шарик движется по стержню и соскальзывает с него на пол по тому направлению, по которому сделан толчок и которое шарик удерживает по инерции. Затем ставится вторая часть того же опыта. На свободный конец стержня навинчивается гайка или же на конце укрепляется какая-либо задержка. Теперь при ударе по шарiku в том же первоначальном положении шарик доходит по инерции до задержки и затем начинает двигаться по окружности.

Таким образом видно, что источником центробежной силы является удерживающее тело, вообще говоря, связь.

Возникает новый вопрос: почему удерживающее тело может оказать действие на пришедшее в соприкосновение с ним тело, движущееся по инерции? Ответ на вопрос надо искать в опыте.

Привяжем шарик к легко растяжимому резиновому шнуру (или к динамометру), закрепим один конец шнура и, поддерживая шарик рукой, расположим шнур без растяжения горизонтально. Если толкнуть шар вертикально вниз, то шарик сначала растягивает шнур вниз, деформируя его, затем на постепенно растягиваемом шнуре начинает двигаться по спирали. При растяжении шнур деформируется, в нем возникает сила упругости, направленная против растягивающей силы и пропорциональная величине растяжения (деформации). При некотором растяжении сила упругости возрастет настолько, что прекратит дальнейшее растяжение, и шарик начнет движение по окружности. С этого момента сила упругости деформированного резинового шнура (или деформированной пружины динамометра) становится причиной центростремительного ускорения $\frac{v^2}{R}$, соответствующего скорости шарика и радиусу окружности. Таким образом, сила упругости деформированного удерживающего тела является силой, сообщающей центростремительное ускорение, т. е. центростремительной силой.

Шарик, двигаясь по инерции, деформирует удерживающее тело; сила, возникающая по третьему закону динамики в деформированном теле, изменяет прямолинейное движение по инерции в криволинейное движение. Здесь важно подчеркнуть значение деформации удерживающего тела вследствие инерции удерживаемого тела. При взаимодействии с удерживающим телом деформируется и само вращающееся тело. Проверить это можно на примере динамометра, привязанного за крючок к бечевке и приведенного во вращение.

Кроме силы упругости, источником центростремительной силы являются сила тяготения (в частности, проявляющаяся при вращении спутников Земли и планет вокруг Солнца) и равнодействующая разных сил, действующих на вращающееся тело (§ 61).

Снова со всей отчетливостью надо подчеркнуть, что и для вращательного движения имеет место третий закон Ньютона.

Здесь взаимодействуют два тела: вращающееся по окружности и удерживающее первое на окружности.

Второе тело, вследствие своей деформации, действует на первое с силой, которая получила название «центростремительной».

Первое тело действует на второе с силой, которая по третьему закону равна и противоположна по направлению центростремительной силе.

Эта сила получила название «центробежной».

Поскольку эти силы имеют точки приложения в разных телах, они не могут уравновешиваться. При вращении гирьки на бечевке инерция гири растягивает нить. Это — действие центробежной силы, приложенной к нити. Действие растянутой нити на гирю есть действие центростремительной силы, приложенной к гире.

При движении колеса паровоза по рельсу на закруглении пути (или шарика по круговому желобу) вследствие инерции колесо

действует на рельс с центробежной силой. Рельс, деформированный центробежной силой, вследствие своей упругости действует на колесо с центростремительной силой, переводящей прямолинейное движение в круговое. Другой пример: обод махового колеса вращается по окружности благодаря действию спиц, в свою очередь растягивающихся при вращении.

Рассматривая вращение гири на бечевке, удерживаемой в руке, мы имеем дело с взаимодействием еще двух тел — бечевки и руки. Бечевка, увлекаемая вращающимся телом, находится в состоянии натяжения. Это натяжение действует в том же направлении на руку. Рука с равной силой действует на нить в противоположном направлении (третий закон механики). Таким образом, получаются следующие две пары действующих сил: на вращающееся тело действует центростремительная сила; на нить или бечевку действуют две силы: центробежная сила и равная ей, но противоположная, сила действия руки; на руку — сила, равная центробежной силе и одинаково направленная с ней¹.

В качестве проверочного может служить вопрос: отчего при возрастании скорости вращения наступает разрыв нити, разлом желоба, рельса, разрушение спиц и обода махового колеса? Учащиеся обнаружат понимание явления, если они ответят, что разрушение материала при возрастании скорости вращения наступит в том случае, когда центробежная сила, действующая на нить, рельс или спицы, станет больше того предела прочности, которым обладает материал.

Для дальнейшей проверки усвоения материала темы следует спросить: какой становится центробежная сила в тот момент, когда разрывается нить, лопается рельс и т. п., вообще, когда исчезает центростремительная сила? Наконец, ставится вопрос о траектории движения тела после разрыва связи.

Полезно рассмотреть также вопрос о том, чему равна работа центростремительной силы при полном обороте тела по окружности. Это дает возможность повторить формулу работы $A = F \cos \alpha$ и выяснить различие между действием силы (сообщение центростремительного ускорения, искривление траектории) и работой силы, равной нулю при равномерном движении тела по окружности.

61. Технические применения центростремительной силы

Изучение действия центростремительной и центробежной сил должно сопровождаться разбором различных конкретных случаев, в частности, изучением действия так называемых центробежных механизмов².

¹ Сила, действующая на руку, и безусловно равная ей сила, приложенная к нити, равны центростремительной лишь приближенно и тем больше отличаются от последней, чем больше масса нити.

² Надо отметить, что название механизмов — «центробежные» — является неудачным: основное действие в их работе принадлежит центростремительной силе.

Этот разбор может быть проведен на последних уроках этой темы.

Рассмотрим подробнее несколько примеров вращательного движения.

Привязанный к нити шарик вращается вокруг оси, причем нить образует с осью острый угол (конический маятник, гигантские шаги, регулятор Уатта и т. п.).

Каково происхождение центростремительной силы в данном случае? Тело в этих примерах приходит в движение по окружности при получении скорости от толчка, причем вектор начальной скорости не должен лежать в одной плоскости с осью вращения. Вследствие инерции движущегося тела деформируется тело — связь,

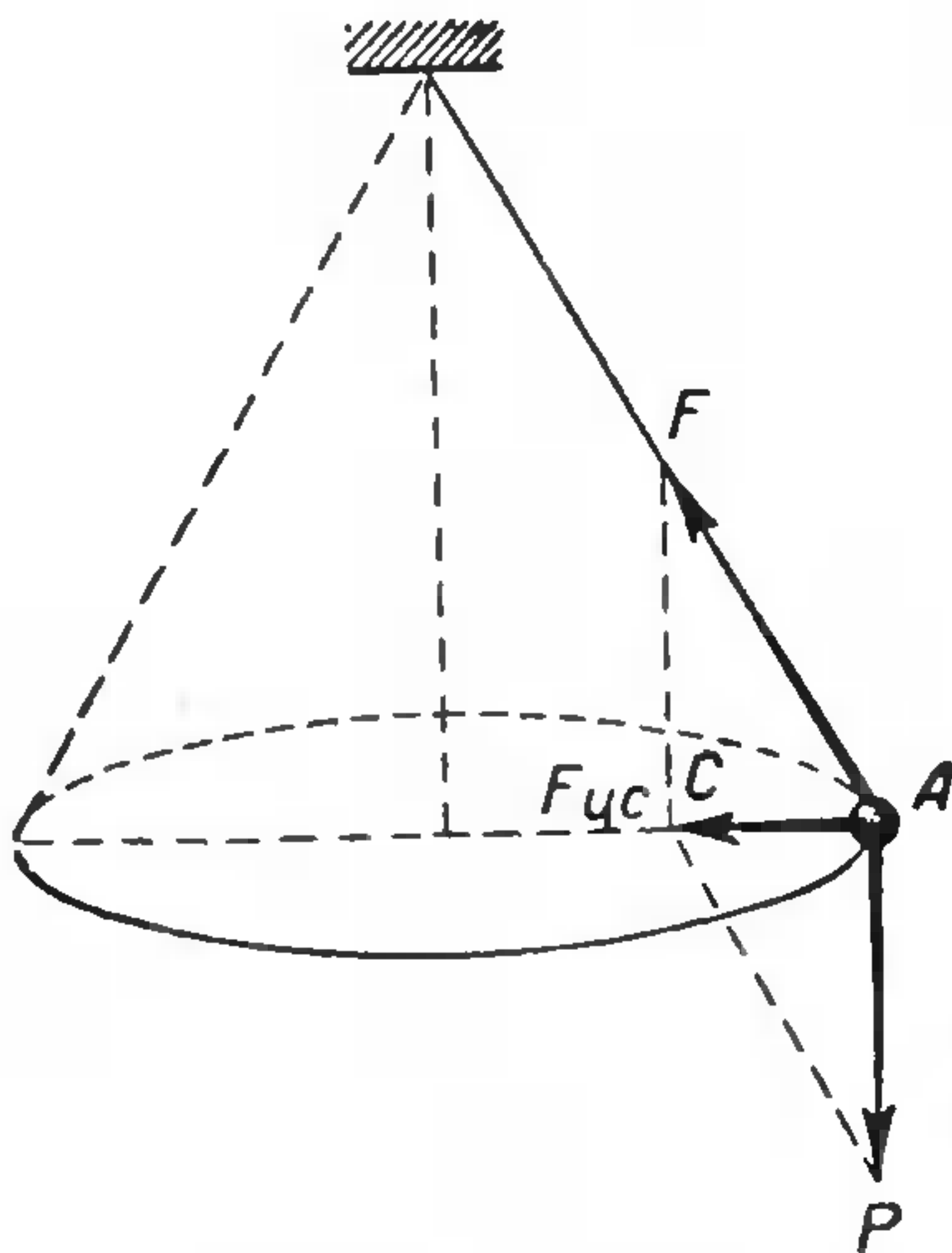


Рис. 41

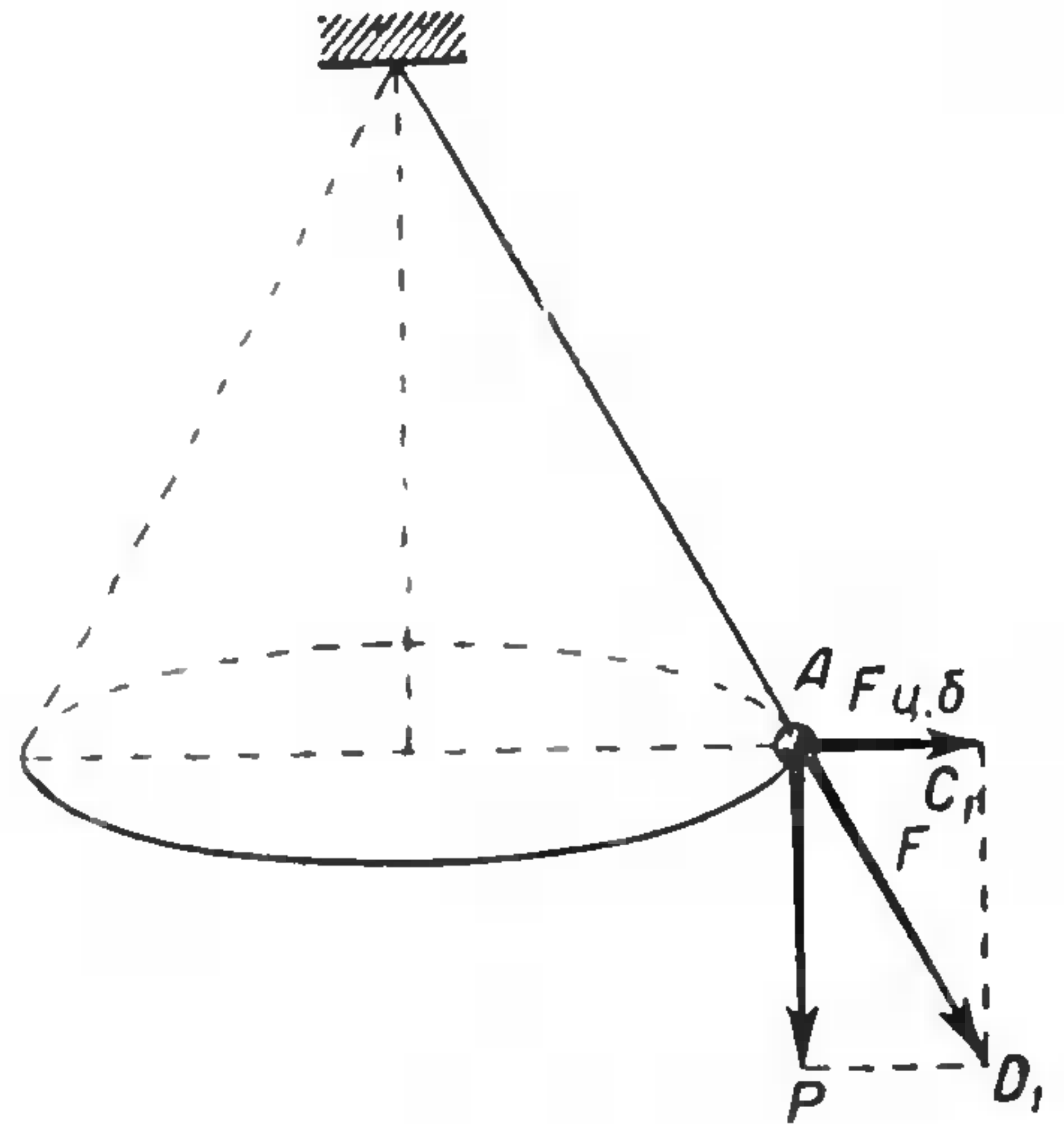


Рис. 42

удерживающее вращающееся тело. Возникающая вследствие деформации сила удерживает движущееся тело на круговой траектории. Центростремительная сила является равнодействующей веса тела P и силы F , с которой натянутая нить действует на шарик (рис. 41). Как найти центробежную силу в этих случаях? Исходным положением для рассуждения является наличие деформирующей силы F , приложенной к связи и направленной по AD_1 (рис. 42). Отчего могла образоваться такая растягивающая сила? На связь действует вес тела и центробежная сила $F_{цб}$. Последняя должна иметь величину и направление AC_1 , находимые по правилу параллелограмма, чтобы могло существовать натяжение AD_1 . Сравнение треугольников на двух последних рисунках показывает, что AC_1 равно и противоположно AC ; приложены эти силы к разным телам.

В приведенных примерах вес вращающегося тела P остается постоянной величиной; натяжение же нити и, следовательно, центростремительная сила увеличиваются со скоростью. Если от какой-либо причины (толчка о землю бегущего на гигантских шагах,

увеличение впуска пара в машине, соединенной с регулятором Уатта, и т. п.) увеличится скорость, то прежняя центробежная сила становится недостаточной для удержания вращающегося тела на прежней окружности; тело по инерции удаляется от оси, но вследствие связи движется по спирали; при этом подъеме увеличивается расстояние от оси и вместе с тем растет центробежная сила, так как (рис. 43)

$$F_{\text{ис}} = P \operatorname{tg} (\angle CBA) = P \operatorname{tg} (\angle AOE) = P \frac{R}{OE} = P \frac{R}{\sqrt{l^2 - R^2}}.$$

Подъем прекращается, когда выражение $P \frac{R}{\sqrt{l^2 - R^2}}$ с переменным R достигает значения $m\omega^2 R$, где ω — новая угловая скорость вращения.

Надо показать (см. рис. 43), что в этом случае натяжение должно увеличиться ($F_1 > F$).

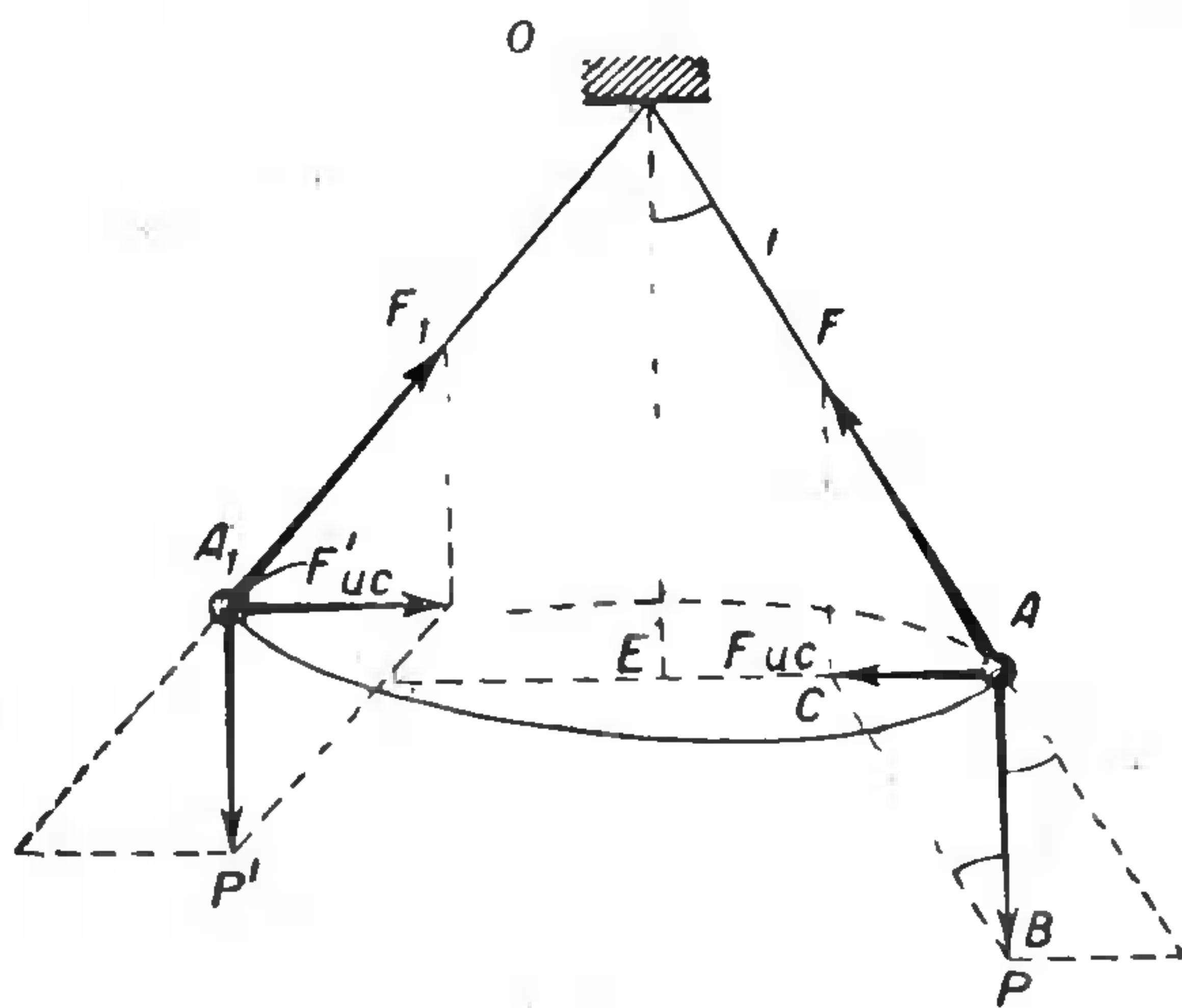


Рис. 43

Для движения по окружности человека, велосипедиста, вагона и т. п. необходим наклон тела (Пер. II., рис. 22). Лишь в этом случае равнодействующая реакции опоры и веса тела дает необходимую для движения по окружности центробежную силу.

Надо показать, что чем больше скорость вращения, тем больше угол наклона. Можно напомнить при этом, что на велодромах кольцевая дорожка устра-

ивается не в виде горизонтальной плоскости, а в виде кривой поверхности, приподнятой с наружной стороны.

Для велосипедиста, едущего по такой дорожке, под влиянием действующих на него сил «низом» будет являться не горизонтальная плоскость, как было бы под действием только силы тяжести, а наклонная; «верх» лежит не в направлении зенита, а в направлении, перпендикулярном к наклонной плоскости.

Это изменение направления «верх-низ» при вращении еще отчетливее можно обнаружить на следующем опыте. На любую вертикальную ось вращения (центробежной машины, патефона и т. д.) насаживается доска или круг. На разных расстояниях от оси укрепляются отвесы и под одним из них устанавливается плоскостенный сосуд с водой (рис. 44). При вращении отвесы отклоняются от вертикали на разные углы в зависимости от своего расстояния от оси, а уровень жидкости располагается перпендикулярно к соответствующему отвесу.

На основании этого опыта можно объяснить расположение кольцами порошков различной плотности, взвешенных в жидкости, помещенной во вращающийся сосуд. Порошки располагаются от оси на разных расстояниях в зависимости от плотности, причем вещество с наибольшей плотностью располагается на самом дальнем расстоянии. Порядок расположения такой же, как и под действием силы тяжести, только во вращающемся сосуде действующая сила направлена не по вертикали, а наклонно к ней.

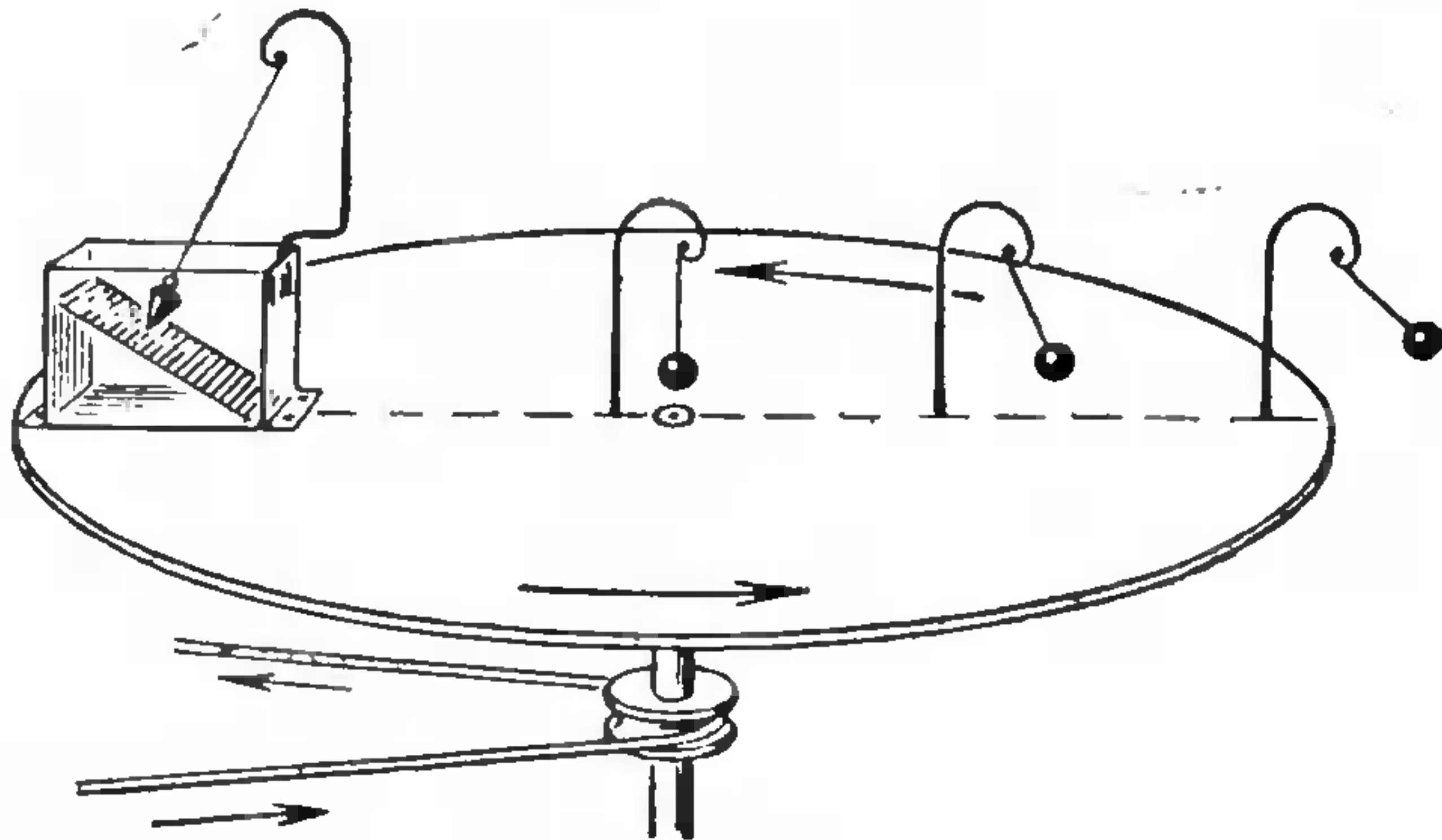


Рис. 44

Дается объяснение действия центробежной сушилки, медогонки, молочного сепаратора и т. п.

Полезно для учащихся рассмотреть и другие явления, связанные с вращением, — движение самолета по петле, условие превращения снаряда, выпущенного из орудия, в спутника Земли и т. п.

Последний вопрос в связи с запуском искусственных спутников в СССР будет особенно интересовать учащихся. Преподаватель должен будет рассказать об историческом значении этого события, о мировом первенстве в этом вопросе советских ученых и инженеров. Хорошо было бы показать учащимся один из научно-популярных кинофильмов, посвященных запуску в СССР искусственных спутников Земли.

К задачам, затрудняющим учащихся, относится задача определения сил, действующих на экипаж, например автомобиль, в высшей точке выпуклого места.

Как известно, на автомобиль, равномерно движущийся со скоростью v по мосту, в верхней точке моста действуют две силы: сила тяжести P и упругая сила реакции моста Q (Пер. II, рис. 18 и 19), возникающая вследствие деформации моста от давления на него движущегося автомобиля. (Покоящийся автомобиль давит на мост с силой, равной его весу.) Эта сила Q направлена в сторону, противоположную силе тяжести. Центробежное ускорение, направленное к центру окружности выпуклости моста, возникает под действием равнодействующей сил P и Q , также направленной к центру.

Эта равнодействующая и является центростремительной силой, равной

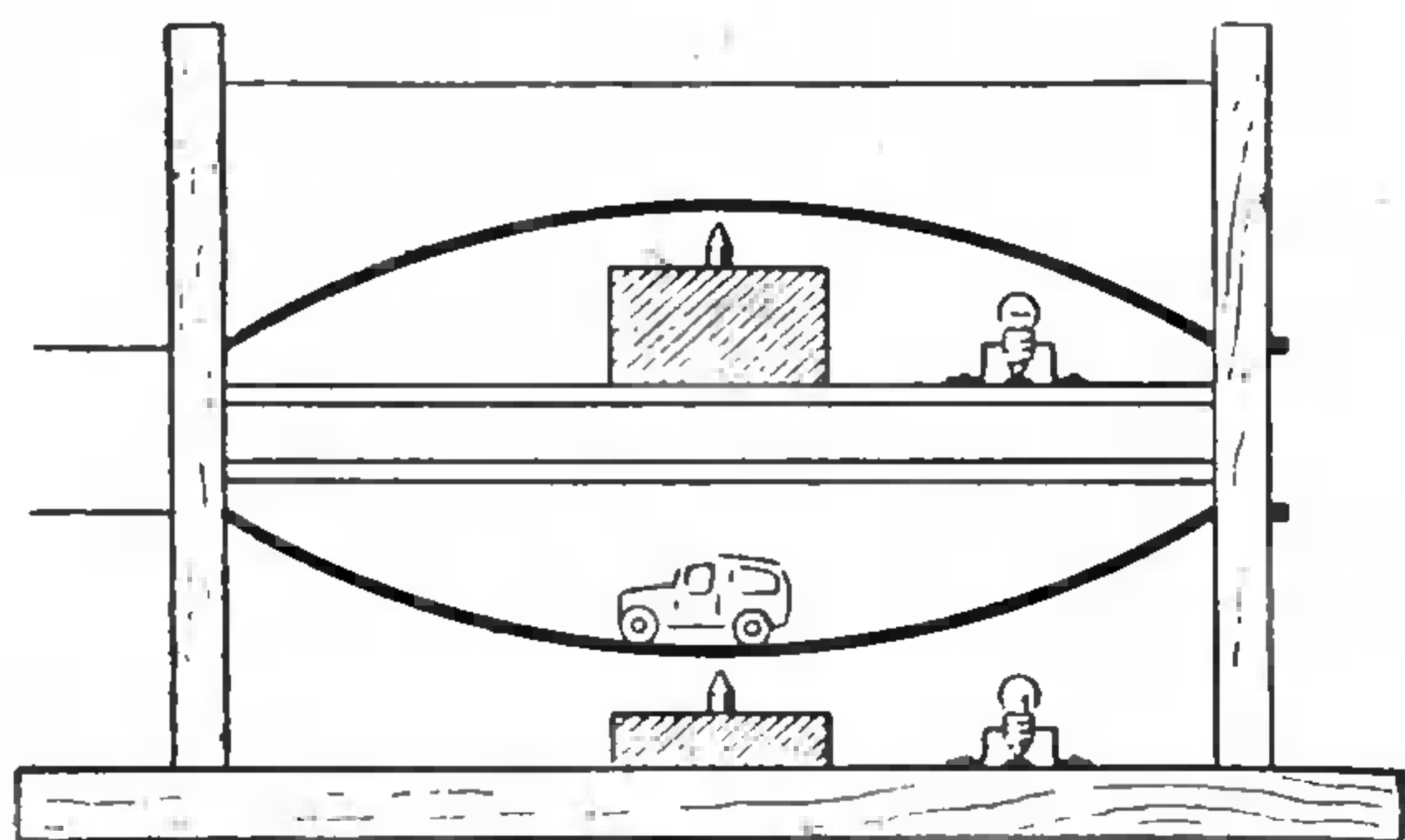
$$F_{\text{цс}} = P - Q = \frac{mv^2}{R}.$$

Отсюда видно, что сила давления движущегося тела на выпуклый мост, равная реакции моста, меньше веса тела:

$$Q = P - F_{\text{цс}}.$$

Этот теоретический вывод можно проверить на приборе, предложенном Д. М. Муром¹ (рис. 45).

При установке игрушечного автомобиля с заводной пружиной на выпуклой полосе жести она под действием веса его прогибается и



касается шурупа, вследствие чего замыкается цепь тока и загорается лампочка, схема включения которой показана на рисунке 45.

При движении же автомобиля по выпуклому мосту лампочка остается не включенной, что указывает на меньший прогиб моста, чем просто при стоянии на нем машины.

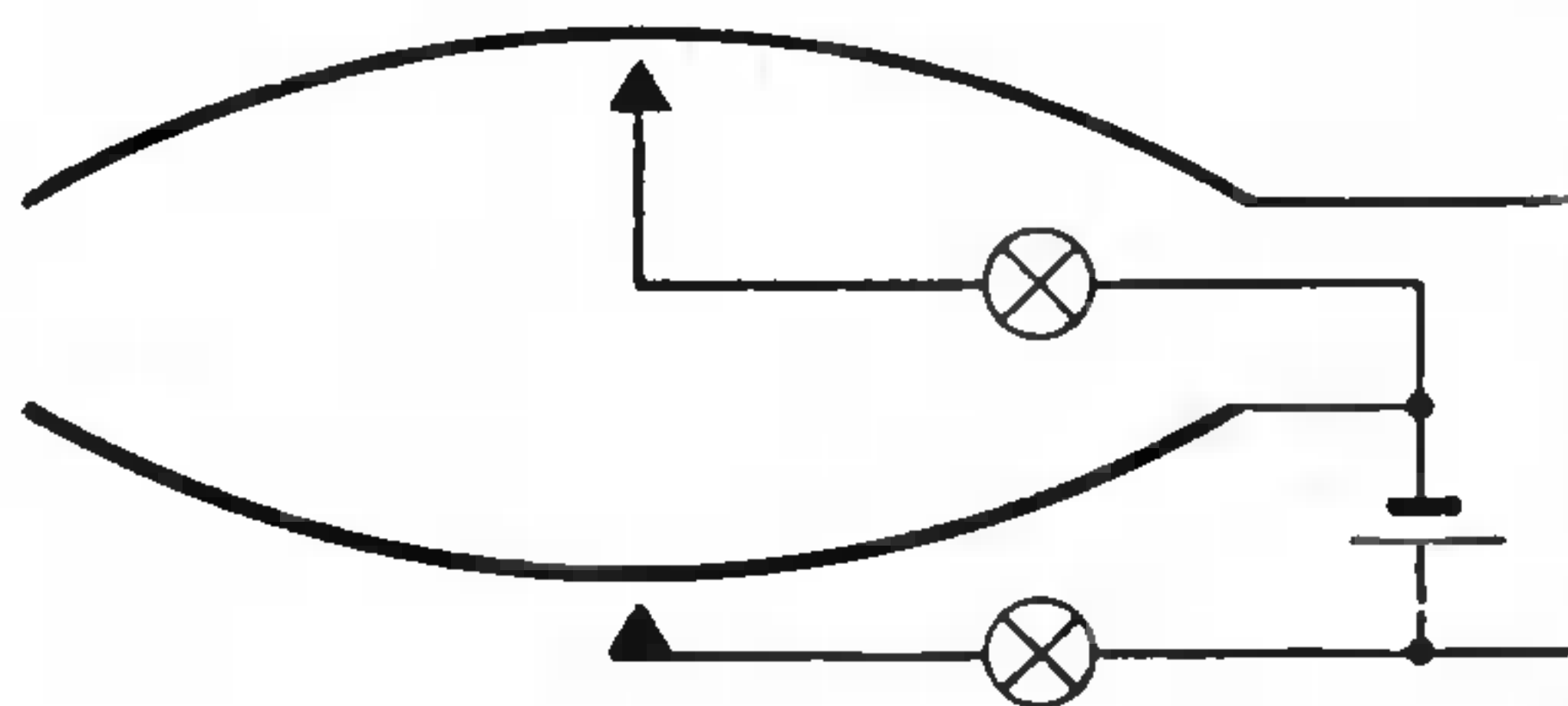


Рис. 45

В нижней части прибора можно показать движение того же автомобиля по вогнутому мосту, при котором сила давления на мост больше, чем при покое машины.

Отсюда учащиеся могут понять нецелесообразность постройки мостов вогнутых и даже плоских. Показ этого прибора и наблюдение за формой мостов во время экскурсий приобретает, как очевидно, значительное политехническое значение².

Желательно уделить время и место на классных или внеклассных занятиях разбору и других механизмов или задач, в основе которых лежит действие центростремительной силы: центробежные водяные и воздушные насосы, мертвая петля; затем показать на экскурсии центробежное литье; после прохождения темы о всемирном тяготении разобрать влияние вращения Земли на вес тела.

¹ Журнал «Физика в школе», 1957, № 3, стр. 58. В статье даны размеры прибора для самостоятельного изготовления его.

² Другой прибор подобного рода описан А. С. Богословским в журнале «Физика в школе», 1954, № 2.

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

62. Колебательное движение

1. Значение темы и планирование ее. Колебательное движение составляет первую часть темы «Колебание и волны».

Основная задача темы — расширить понятие ускорения, распространив его на случай периодически переменного ускорения; ввести новые понятия: амплитуда, период и фаза колебаний и вывести законы колебаний математического маятника малой амплитуды. Выведенные законы помогут понять особенности колебательных движений в других случаях.

Политехническое значение всей темы «Колебание и волны» очень велико, так как, помимо того, что теория механических колебаний и волн используется в теории акустических и электромагнитных волн, на законах этой темы основываются такие виды техники, как практическая акустика, электротехника переменного тока, радиотехника, рентгентехника и ряд других.

Материал темы «Колебательное движение» может быть распределен по отдельным урокам примерно следующим образом.

- 1-й урок. Колебание под действием силы тяжести. Понятие об ускорении, смещении, амплитуде.
- 2-й урок. Колебания под действием упругой силы. График смещения.
- 3-й урок. Связь колебательного движения с вращательным. Понятие о фазе колебания.
- 4-й урок. Преобразование энергии при колебании. Затухание колебания. Вынужденные колебания. Резонанс.
- 5-й урок. Законы колебания математического маятника. Применение маятника в часах.
- 6-й урок. Лабораторная работа.
- 7-й урок. Сложение колебаний.

Упражнения распределены по урокам этой темы и следующей.

2. Колебание под действием силы тяжести. На первом уроке преподаватель напоминает учащимся, что на предыдущих занятиях были изучены простейшие виды движений, практически очень важные: прямолинейное, равномерное и равномерно-переменное движения и равноускоренное движение по окружности.

Кроме этих видов движения, в природе и технике имеет широкое распространение еще один вид движения — движение колебательное. Таково движение маятника часов; всякой сжатой или растянутой и потом отпущенной пружины (в частности рессор экипажа, вагона); ветки под действием ветра или толчка слетевшей с нее птицы; стержня, укрепленного одним концом и получившего удар по

другому концу (колосья, деревья, заводские трубы, камертон); поршня в тепловых машинах; струн музыкальных инструментов и многих других предметов.

Для первого знакомства с колебательным движением выбирается движение математического маятника под действием силы тяжести.

Дав определение математического маятника, преподаватель ставит вопрос о характере силы, вызывающей движение маятника, отклоненного из положения равновесия на угол α или на высоту h и после отпущенного (Пер. II, рис. 51, 54). Разбор показывает, что движущей силой от крайней точки отклонения до положения равновесия является слагающая сила тяжести, направленная по касательной к дуге и равная $P_1 = P \sin \alpha$ (к этому времени понятие о тригонометрических функциях в математике будет дано).

Анализ построений (следует их сделать в нескольких точках дуги) и формулы покажут, что в первой половине дуги сила имеет направление, совпадающее со скоростью; следовательно, движение ускоренное.

Рассмотренная сила — переменная по величине; она изменяется пропорционально синусу угла отклонения; следовательно, и ускорение, сообщаемое этой силой, будет переменным, постепенно уменьшающимся по мере приближения к положению равновесия. Поэтому движение к положению равновесия является неравномерным. Надо остановить внимание учащихся на том, что в точке наибольшего отклонения маятника скорость равна нулю, а ускорение имеет наибольшее значение; затем при опускании маятника ускорение уменьшается, но скорость непрерывно возрастает, так как ускорение и скорость совпадают по направлению; в положении равновесия ускорение обращается в нуль, а скорость достигает своего наибольшего значения; тело не может остановиться в положении равновесия, оно по инерции переходит через него. Построение сил в какой-либо точке другой части пути позволяет показать, что на ней движение будет неравномерно-замедленным, пока скорость не обратится в нуль в крайней точке отклонения. Так как скорость во второй части пути отнимается такими же порциями, какими она прибавлялась в первой части, то по обе стороны положения равновесия отклонения должны быть равны (при ничтожном трении и сопротивлении среды). Разбирается изменение скорости и ускорения от положения равновесия до второй крайней точки пути.

Колебательное движение характеризуется всеми указанными выше признаками.

Но так как эти признаки — ускорение, скорость, величина отклонения — связаны друг с другом, то можно установить некоторый единственный признак для случая, когда отклонение от положения покоя будет мало (примерно до 5° , именно: $a = -\frac{g}{l}x$).

Надо объяснить, что знак минус вводится в формулу потому, что ускорение направлено в сторону, противоположную отклоне-

нию от положения равновесия. Следовательно, величина отклонения (x) и ускорения (a) для одного и того же положения колеблющегося тела будут выражаться числами с противоположными знаками. Чтобы можно было приравнять противоположные относительные величины, надо у одной из них переменить знак на противоположный. Частное $\frac{g}{l}$ есть постоянная величина; отсюда видно, что в колебательном движении ускорение прямо пропорционально отклонению от положения равновесия и направлено в сторону положения равновесия. Движение с таким ускорением называется гармоническим колебанием.

Конец первого урока займут определения смещения, амплитуды, периода колебания маятника.

3. Колебания под действием силы упругости. На следующем уроке учащимся демонстрируется другой случай гармонических колебаний. В природе существует другая сила, которая так же, как и сила тяжести, может сообщить телу ускорение, прямо пропорциональное смещению и имеющее противоположное с ним направление. Такой силой является сила упругости, возникающая при деформации тела.

Основное затруднение при изложении этого вопроса состоит в том, что учащиеся еще не изучали закона Гука. Поэтому при разборе вопроса о колебаниях, вызываемых силой упругости, надо повторить те сведения о деформациях, которые учащиеся получили в VI классе и дополнить их предварительным сообщением о законе Гука.

Так как в пределах упругости сила, а следовательно, и ускорение прямо пропорциональны смещению и имеют противоположное с ним направление, то и колебания, вызываемые и поддерживаемые силой упругости, являются простыми гармоническими колебаниями.

Объяснение сопровождается показом колебаний стержня, зажатого неподвижно одним своим концом; колебанием подвешенной пружины, растянутой и отпущенной; колебанием струны, воздушного столба и другими опытами, описанными в руководствах по демонстрациям.

После окончания изложения основной темы урока преподаватель обучает учащихся вычерчивать график смещения колеблющейся точки от положения равновесия — синусоиду — в осях координат: отклонение (ордината) — период (абсцисса).

Следует иллюстрировать вычерчивание графика реальным получением его при помощи песка или толченого мела, высыпающегося из колеблющейся воронки на равномерно движущуюся суконную полосу (Пер. II, рис. 53), или вычерчиванием графика острием, прикрепленным к колеблющемуся телу, на закопченной равномерно движущейся пластинке.

4. Фаза колебания. Третий урок посвящается выяснению очень трудно усваиваемого учащимися понятия о фазе колебания.

Трудность усвоения зависит от резкого отличия этого нового понятия от ранее введенных механических понятий и от сложности опыта, производимого для его обоснования.

Обосновать необходимость введения этого понятия и дать его определение можно на основе опыта, показывающего, что колеба-

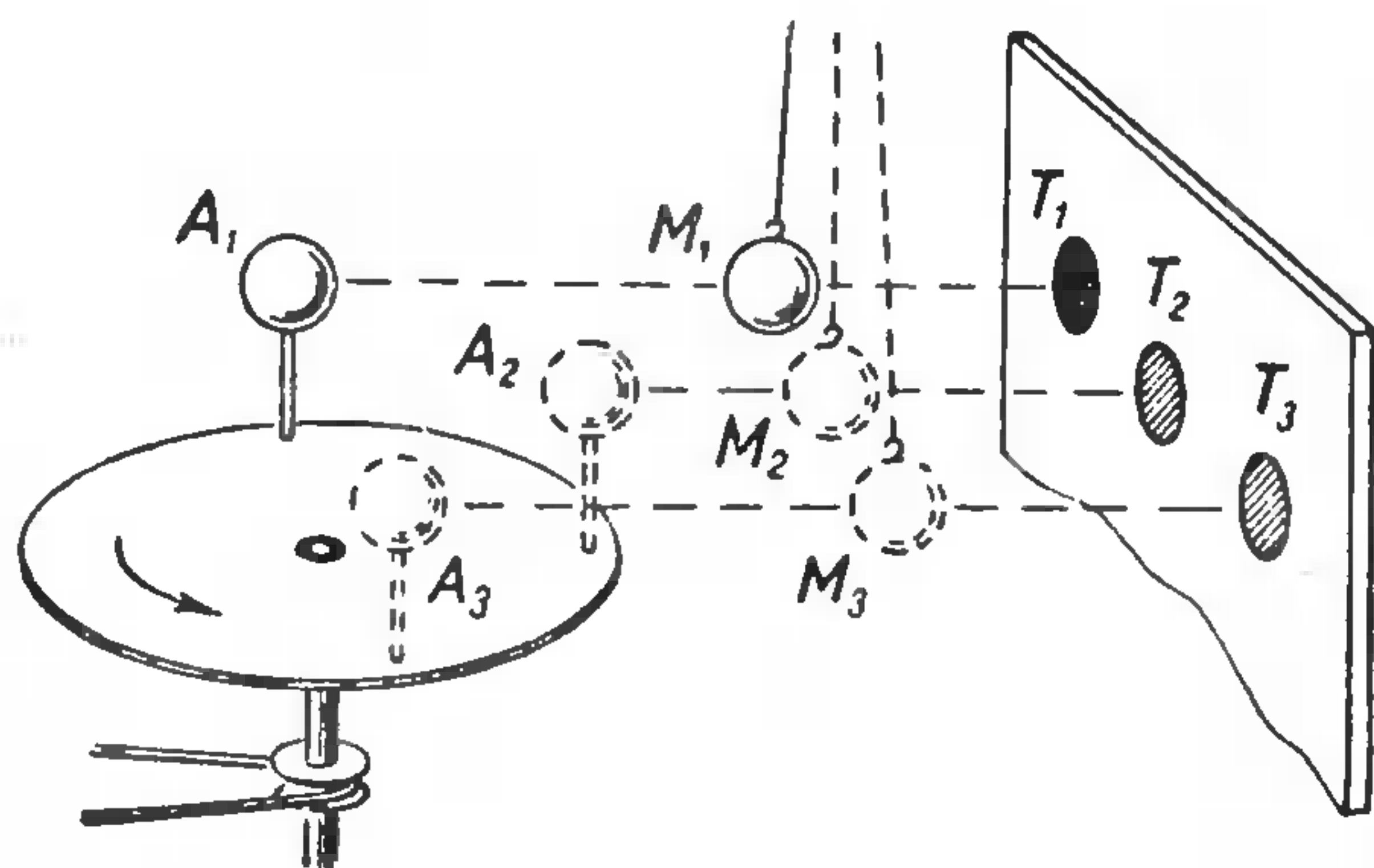


Рис. 46

тельное движение можно рассматривать как пресекцию на диаметр движения точки, равномерно вращающейся по окружности. Установка опыта описана во втором томе «Физического эксперимента в школе» (§ 47), а также в Элем. учеб. (ч. III, § 5).

Для опыта следует брать маятник большой длины, колеблющийся с малой амплитудой, чтобы

дуга колебания возможно меньше отличалась от прямой линии. Затем надо поставить на вращающийся равномерно горизонтальный круг шарики на вертикальных стержнях и так подобрать амплитуды и периоды колебания маятника и вращения шарика, чтобы при освещении тени их на экране совпали (рис. 46).

Фазой колебания явится выраженный в радианах угол отклонения от начала отсчета радиуса, проведенного к точке, равномерно вращающейся по окружности, проекцией которой на диаметр является колеблющаяся точка.

Помещая на вращающийся круг два шарика: а) в разные точки одного радиуса; б) на концы разных диаметров, можно показать по их проекциям на экран: а) два колебания в одной фазе с разными амплитудами; б) два колебания с одинаковыми амплитудами, но с разными фазами.

Такое первоначальное определение фазы может вызвать у учащихся понимание фазы, как чисто геометрического понятия. Надо подчеркнуть физическое значение фазы, как величины, определяющей в данный момент времени вместе с амплитудой положение колеблющейся точки (или тела) и направление ее дальнейшего движения.

Одна амплитуда может определить положение точки на траектории в каждое мгновение. Но проходит через это положение периодически колеблющаяся точка то с одной стороны, то с противоположной.

Фаза как раз и показывает направление движения колеблющегося тела через любую точку траектории, дополняя амплитуду, как одну из характеристик периодического колебательного движения. Фаза является второй необходимой характеристикой именно периодического колебательного движения. Следует про-

тивопоставить в этом отношении периодическое колебание поступательному движению тела. В поступательном движении тело непрерывно меняет свое положение, сохраняя все время одно направление. В колебательном движении тело периодически попадает в одни и те же точки траектории, но с противоположных сторон.

Учащиеся в начале изучения этой темы часто смешивают фазу колебания маятника с углом отклонения его нити от положения равновесия. Для устранения этого недоразумения надо путем вопросов и ответов закрепить в сознании учащихся тот факт, что в крайних точках траектории колеблющегося тела фазы колебания равны $\frac{\pi}{2}$ или $\frac{3\pi}{2}$, а в средней — могут быть равны 0 или π в зависимости от направления прохождения через эту точку.

5. П р е о б р а з о в а н и е э н е р г и и п р и к о л е б а н и и. Отдельный урок надо посвятить вопросу о преобразовании одного вида механической энергии в другой при колебании тела под действием силы тяжести (маятник) и под действием силы упругости (колеблющаяся пружина), повторив для этого опыты, показанные на первом уроке. Следует обратить внимание учащихся на период превращения энергии и сравнить его с периодом колебания.

Впрочем, для экономии времени возможно рассмотреть этот вопрос и на первом уроке.

Разбирая вопрос о преобразовании энергии колеблющегося тела, надо отметить рассеяние энергии, происходящее при наличии трения и сопротивления среды. Эту затрату энергии легко показать на сравнении колебаний одного и того же маятника при одной и той же начальной амплитуде один раз в воздухе, другой раз в воде.

На основании опыта вводится понятие о з а т у х а н и и к о л е б а н и й. Для поддержания же постоянства амплитуды необходимо воздействие на колеблющееся тело другого тела, периодически восстанавливающего энергию колеблющегося тела. Внешнее воздействие характеризуется периодически действующей силой (см. рис. 25, Эл. уч., ч. III).

Так вводится понятие о в ы н у ж д е н н ы х колебаниях и показывается на опытах возникновение вынужденных колебаний при разных периодах и фазах возбуждающих колебаний и собственных колебаний тела.

6. Р е з о н а н с. Заканчивается урок демонстрацией механического резонанса при разных степенях связи между резонирующими телами, выяснением условия резонанса, объяснением его на основе преобразования энергии и раскрытием положительного и отрицательного значения резонанса в технике.

Надо сообщить учащимся, что при резонансе фаза колебания вынуждающей силы опережает фазу вынужденного колебания на $\frac{\pi}{2}$.

При разборе вопроса об использовании резонанса в технике и о некоторых случаях вредного влияния его, можно поставить демонстрацию, описанную Д. К. Шевчуком в его диссертации¹.

На две подставки опирается своими концами доска длиной в 145 см, шириной в 9 см и толщиной в 0,8 см. На середину доски помещается легкий электродвигатель, к шкиву которого в одном месте прикрепляется некоторый груз, нарушающий центровку оси шкива и вызывающий его «биение».

При соответствующем подборе груза и скорости вращения шкива можно добиться резонанса между колебаниями двигателя и собственными колебаниями доски и показать влияние резонанса на состояние доски.

63. Законы колебания математического маятника

Отдельный урок посвящается разъяснению вопроса, от каких величин и как зависит период колебания математического маятника. Тема урока: законы колебания математического маятника².

Ответ на поставленный вопрос может быть дан и на основе демонстраций, показанных преподавателем, или путем разбора самостоятельной лабораторной работы учащихся.

В обоих случаях экспериментально исследуются следующие 4 вопроса:

- а) Зависит ли период колебания маятника от его массы?
- б) Зависит ли период колебания от амплитуды (при отклонениях, меньших 5°)?
- в) Зависит ли, и если зависит, то как именно, период колебания от длины маятника?
- г) Зависит ли период колебания от величины действующей силы?

Для выяснения четвертого вопроса берется маятник со стальным или железным шариком, ниже положения его покоя помещают сильный магнит или электромагнит и измеряют период колебания такого маятника при наличии магнита и без него.

Учащихся часто интересует, как получается формула периода колебания $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$. Эту любознательность можно удовлетворить приближенным и простым приемом (на внеклассном занятии), изложенным в Элем. учеб., ч. III, § 8.

Тема о маятнике заканчивается показом (на модели) применения маятника к регулировке часов.

Свойства физического маятника, применение его к измерению ускорения свободного падения и зависимость величины этого ускорения от положения на Земле не могут быть рассмотрены в часы, отведенные программой. Эти вопросы могут составить интересный материал для внеклассных занятий. Программа рекомендует в за-

¹ «Механические колебания и волны», 1953.

² Эта тема может предшествовать предыдущей.

ключение темы провести лабораторную работу «Определение величины ускорения силы тяжести при помощи маятника».

В связи с лабораторной работой желательно рассказать учащимся о гравиметрической разведке, в частности, приведшей вместе с магнитной разведкой к открытию в Курской области громадного месторождения железной руды.

При прохождении темы рекомендуется для закрепления материала на каждом уроке решать качественные и количественные задачи.

64. Волновое движение

1. С о д е р ж а н и е т е м ы и п л а н и р о в а н и е е е. Основные вопросы, которые должны быть разобраны в этой теме, следующие:

а) распространение возбужденных в теле временной деформацией колебаний в виде волны; б) характеристика волнового движения длиной волны, скоростью ее распространения, частотой или периодом колебания, находящимися в определенном соотношении между собой; в) условия возникновения продольных и поперечных волн; г) условия отражения волн без потери и с потерей полуволны; д) условие преломления волны; е) интерференция волн; ж) образование стоячей волны; з) существование собственных колебаний тела. Пункты а), б), в) составляют содержание первого урока; пункты г) и д) — второго; пункты е) и ж) — третьего и пункт з) — четвертого.

2. В о з н и к н о в е н и е в о л н ы. Вскрыв перед учащимися характер упругих колебаний как гармонических колебаний, преподаватель отмечает, что временная деформация, вызванная в одном каком-либо месте упругого тела, не ограничивается возбуждением колебательного движения частиц тела в месте деформации, а вызывает благодаря взаимодействию частиц тела последовательное колебание частиц, все более и более отдаленных от деформированного места.

Распространение колебаний вдоль тела называется в о л н о - в ы м движением. Преподаватель демонстрирует сначала прохождение одиночной волны по телу (по резиновому шнуру и по поверхности воды), а затем и ряда волн (на тех же приборах и на волновых машинах)¹.

На примере волн, распространяющихся по поверхности воды, на которую помещены легкие тела, преподаватель наглядно показывает, что частицы воды участвуют лишь в колебательном движении и не перемещаются с волной вдоль направления ее распространения².

После показа волнового движения надо объяснить на чертеже, на таблице, или продемонстрировав кинофильм, процесс возник-

¹ «Физ. эксп.», ч. II. § 59.

² Перенос вещества может происходить при чрезвычайно сильном волновом движении, например при взрывной волне, или при изменении условий распространения волн, например при накате волн на берег.

новения и распространения волн с поперечными или продольными колебаниями¹.

Здесь же дается понятие о длине волны и соотношениях между длиной волны, скоростью ее распространения и частотой колебаний. Отмечается, что поперечные колебания могут распространяться только в телах, обладающих упругостью при изменении формы, т. е. в твердых; продольные — в телах, обладающих упругостью при изменении объема, т. е. в твердых телах, жидкостях и газах. Поперечные волны на поверхности воды, которые могут наблюдать учащиеся в природе, на картинах или о которых они читают, поддерживаются силой тяжести, а не упругой силой при деформации жидкости.

Обращается внимание учащихся, что синусоида служит графиком отклонений одной колеблющейся точки от положения покоя как для поперечных, так и для продольных колебаний в течение периода. В то же время ординаты синусоиды изображают смещения колеблющихся частиц от положения покоя в последовательно расположенных в пространстве точках на протяжении длины волны.

3. О т р а ж е н и е и п р е л о м л е н и е волн. На резиновой трубке, привязанной к 20—30 см бечевки, показывается отражение волн без потери полуволны; на резиновой трубке, привязанной непосредственно к неподвижному предмету, показывается отражение с потерей полуволны.

Чертежи должны помочь объяснению этих случаев отражения.

Затем демонстрируется отражение волн на поверхности воды (на каком-либо волновом приборе).

Хотя преломление волн не входит в программу, но преподаватель может воспользоваться налаженной установкой и продемонстрировать преломление волн на поверхности воды.

4. И н т е р ф е р е н ц и я волн. Затем преподаватель переходит к сложению колебаний и дает понятие об интерференции волн. Разбор ограничивается простейшим случаем с интерференцией волн одинакового периода, распространяющихся по одному направлению. Так как интерференцию трудно осуществить простыми средствами на резиновой трубке, то преподавателю придется начать с теоретического разбора на чертеже. Показав метод построения графика отклонений при сложении колебаний, преподаватель, с одной стороны, дает учащимся задание на дом — вычертить кривые сложных колебаний при заданных периодах, амплитудах и фазах составляющих, с другой стороны, демонстрирует интерференцию волн на поверхности воды (одновременный удар по поверхности концами проволоки, согнутой в виде буквы П, или на приборе, легко допускающем самодельное изготовление)².

¹ Простой прибор для демонстрации образования поперечных волн описан И. А. Кулаковым в журнале «Физика в школе», № 4, 1951.

² Физ. эксп., ч. II, § 59.

В результате разбора явления интерференции дается следующее определение: интерференцией волн называется наложение друг на друга двух систем волн равных периодов, приводящее к образованию областей усиленных и ослабленных колебаний.

Показывая интерференционные полссы на поверхности воды, преподаватель обращает внимание учащихся на то, что интерференция, приводящая к увеличению амплитуды колебаний в одних местах или к уменьшению ее до нуля в других, не оказывает никакого влияния на дальнейшее распространение волн: после встречи и наложения волн каждая волна распространяется так, как будто бы никакой встречи и не происходило. Следовательно, распространение волн в среде происходит независимо друг от друга («принцип наложения волн»).

5. Д и ф р а к ц и я в о л н. Как известно, дифракцией называется о г и б а н и е волной края препятствия, размер которого мал сравнительно с длиной волны.

Так как дифракция является одним из основных свойств всякого волнового процесса, то желательно уже в этом месте курса познакомиться с нею учащихся. Это ознакомление следует провести экспериментально.

В водяной ванне образуют при помощи подвижной пластинки ряд плоских волн, на пути которых ставится сначала заслон значительного по сравнению с длиной волны размера, затем несколько меньший предыдущего и, наконец, значительно меньший, чем длина волны. В первых двух случаях за заслоном получается «тень», т. е. спокойная поверхность воды без колебания, в последнем — волны огибают препятствие и за ним распространяются так, как будто бы препятствия не было.

Надо предложить учащимся понаблюдать летом, как распространяются волны, которые они могут вызвать на поверхности пруда бросанием камня, за каким-либо островком и малым пеньком.

6. С т о я ч а я в о л н а. После этого преподаватель показывает сложение волн падающей и отраженной, приводящее к появлению стоячей волны. Стоячая волна может быть продемонстрирована на колебаниях резиновой трубки, привязанной одним концом к неподвижному предмету (Пер. II, рис. 78); на колебаниях нити, привязанной к камертону или молоточку звонка, колебания которого поддерживаются электрическим током; на колебаниях воздушного столба в трубке Кундта и на волновых машинах¹.

Вычерчивание стоячей волны на основе сложения падающей и отраженной волн может быть только предметом домашней работы. Опираясь в качестве примера на способ образования стоячих волн, преподаватель может дать понятие о с о б с т в е н н ы х колебаниях тел.

7. П е р е д а ч а э н е р г и и п р и в о л н о в о м д в и ж е н и и. Надо объяснить учащимся, как распространяется энер-

¹ Физ. эксп., ч. II, § 55, 58, 2.

гия в среде при волновом движении. Источник волн приводит в движение непосредственно прилегающий к нему слой вещества (среды). Энергия движения, полученная этим слоем от источника, передается вследствие взаимодействия молекул от слоя к слою, распределяясь между все большим и большим числом частиц среды. Таким образом, распространение волны в среде создает в ней поток энергии, расходящийся от источника.

Надо отметить, что учение о потоке энергии, переносимой волной, впервые создал выдающийся русский физик, профессор Московского университета Николай Алексеевич Умов (1846—1915).

Волна, падая на тело, имеющее период собственного колебания одинаковый с периодом колебания падающей на него волны, может привести это тело в колебание вследствие резонанса.

Надо указать, что резонанс является вторым способом привести тело в колебание (путем постепенной передачи энергии колеблющемуся телу), помимо первого способа — механического удара, передающего энергию в короткий срок.

8. И с п о л ь з о в а н и е в т е х н и к е к о л е б а т е л ь н ы х д в и ж е н и й. Техническое использование колебательных движений многочисленно и разнообразно. Освещение этого вопроса нельзя уложить в часы классных занятий; данный материал можно широко использовать для внеклассных занятий. Во всяком случае,

желательно познакомить учащихся с новейшими техническими применениями колебательного движения.

Но нельзя пренебрегать и более старыми применениями; о них следует сказать в соответствующих местах раздела, связывая рассказ с демонстрацией различных механизмов, имеющих в физическом кабинете. Так, надо рассказать и показать преобразование колебательного движения во вращательное и обратно на кривошипно-шатунном механизме, на коленчатом вале, на кулачковом механизме или на эксцентриках, применяемых в самых разнообразных станках.

Для внеклассных занятий можно рекомендовать учащимся построить модели приборов, действие которых основано на колебательном движении: вибробура, вибратора для уплотнения бетона или прибора для вибрационной забивки свай, и дать в докладах объяснение работы этих приборов.

Описание устройства самодельных моделей этих приборов дано Д. К. Шевчуком¹.

¹ Д. К. Ш е в ч у к , Механические колебания и волны в школьном курсе физики, Учпедгиз, М., 1955.

Также можно рекомендовать учащимся построить модель стабилизатора боковой качки судов. Для этого можно воспользоваться следующим прибором. К доске, изображающей форму поперечного сечения корабля, прикреплены два сообщающихся сосуда, связанных между собой в верхней части воздухопроводом с запорным краном. В верхней части доски имеется отверстие для пропускания оси (рис. 47).

Запорный кран позволяет регулировать действие прибора. Закрывая или открывая кран, можно увеличивать или уменьшать период колебаний столба воды в сосудах.

Надо отрегулировать кран так, чтобы частота колебаний воды в неподвижных сосудах была значительно меньше частоты колебаний всего прибора; затем вывести прибор из положения равновесия и отметить длительность его колебаний. Затем, открывая или закрывая кран, надо добиться того, чтобы частота колебаний воды в покоящихся сосудах и частота колебаний всего прибора стали одинаковыми. Привести прибор в колебание и отметить, что длительность его колебаний стала значительно меньше, чем в предыдущем случае; именно, прибор после двух-трех колебаний останавливается.

Прекращение колебаний указывает на то, что фазы колебаний воды в сосудах и всего прибора противоположны. Надо вспомнить, что при резонансе фаза колебания вынуждающей силы опережает фазу вынужденного колебания на $\frac{\pi}{2}$.

Произведенный опыт с моделью стабилизатора объясняет действие стабилизатора боковой качки судов при помощи так называемых цистерн Фрама. Цистерны Фрама на кораблях представляют собой большие металлические сосуды, устанавливаемые по бортам корабля. В верхней и нижней частях они соединены трубопроводами. Цистерны примерно до половины заполнены жидкостью. Кран в верхнем трубопроводе позволяет так регулировать колебания, чтобы частоты собственных колебаний жидкости в цистернах и бортовых колебаний судна стали одинаковыми. Колебания воды в море (вынуждающая сила) вызывают вынужденные колебания судна, отстающие по фазе на $\frac{\pi}{2}$. Колебания корабля (снова вынуждающая сила) вызывают вынужденные колебания жидкости в цистернах с новым отставанием на $\frac{\pi}{2}$. Таким образом, колебания жидкости в цистернах и колебания морской воды будут противоположны по фазе и будут оказывать на судно взаимно уравнивающее действие.

ЛИТЕРАТУРА ПО РАЗДЕЛУ.

- Г. С. Горелик, Колебания и волны, М.—Л., ГТТИ, 1950.
Н. С. Годзиев, Вибрирование легких бетонов, М., Гос. изд. лит. по строительству, 1951.
А. Е. Десов, Вибраторы для бетона, М., Машгиз, 1949.

ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

65. Значение и планирование темы

Политехническое значение темы заключается в том, что на законах, в ней раскрываемых, основывается работа таких установок, как карбюратор в двигателях внутреннего сгорания, гидравлические и ветряные двигатели, винтовой двигатель в водяных и воздушных кораблях, реактивные двигатели; этими же законами объясняется подъемная сила крыла самолета.

Тема состоит из следующих четырех крупных частей, содержащих каждая разбор группы явлений и относящихся к ней технических приложений.

1) Давление в движущихся жидкостях и газах. 2) Сопротивление при движении тела в жидкости и газе; обтекаемые формы. 3) Подъемная сила, действующая на крыло самолета. 4) Энергия движущейся воды и ветра и ее использование в водяных и ветряных двигателях.

Излагая тему, надо закрепить ранее введенные понятия и раскрыть перечисленные ниже новые понятия.

1. Движение тела всегда происходит относительно другого тела.

Для гидро- и аэродинамики это означает, что одни и те же законы справедливы для движения твердого тела относительно неподвижной среды (воды или воздуха) и для движения воды и воздуха в противоположном направлении относительно неподвижного твердого тела. Вопрос о том, что же в действительности движется — твердое тело или среда, — может быть решен произвольно.

2. Если скорость течения газа меньше скорости звука в нем, то законы течения жидкости и газа совпадают. Поэтому выводы, полученные при исследовании движения жидкости, могут быть распространены на газ.

3. Течение называется установившимся, или **стационарным**, если в каждой точке потока скорость с течением времени остается постоянной (но скорости разных частей потока для одного и того же момента времени могут быть различными).

4. В установившемся (**стационарном**) потоке **объемы** жидкости, проходящие за единицу времени через различные поперечные сечения, **одинаковы**.

5. Линии, касательные к которым в каждой точке дают направление скорости частицы жидкости в этой точке, называются **линиями тока**.

6. Течение, при котором различные слои жидкости перемещаются со скоростями, постоянными во времени, но различными по величине и направлению в разных точках потока, называется **ламинарным** (слоистым).

7. Течение, в котором частицы жидкости движутся по беспорядочным, меняющимся во времени и пространстве траекториям, называется **т у р б у л е н т н ы м**.

8. Если линии тока прямолинейны и параллельны, то получается так называемое **о д н о р о д н о е** **п о л е** течения. Сближение линий тока указывает на увеличение скорости в точках сближения, расхождение их — на уменьшение ее.

9. Наконец, для дальнейшего надо установить понятие об идеальной жидкости как такой жидкости, которая несжимаема и относительное перемещение частей которой происходит без трения.

Во всех действительных жидкостях и газах внутреннее трение в той или другой мере обнаруживается.

Пренебрежение внутренним трением, в особенности для газов, где оно мало, облегчает обнаружение важных закономерностей¹.

Рекомендуется следующее примерное поурочное распределение материала.

1-й у р о к. Давление статическое и полное. Течение жидкости и газа по трубам с постоянным сечением.

2-й у р о к. Течение жидкости и газа по трубам с переменным сечением.

3-й у р о к. Технические применения закона Бернулли: pulverизатор.

4-й у р о к. Водоструйный насос, инжектор, форсунка, карбюратор.

5-й у р о к. Линии тока. Ламинарное и турбулентное движения.

6-й у р о к. Сопротивление при движении тела в жидкости и газе. Обтекаемые формы.

7-й у р о к. Подъемная сила, действующая на крыло самолета.

8-й у р о к. Авиация в России и СССР.

9-й у р о к. Энергия движущихся воды и ветра и ее использование в технике.

66. Давление в движущихся жидкостях и газах

1. Д а в л е н и я с т а т и ч е с к о е и п о л н о е. Приступая к разбору поставленного вопроса, надо напомнить учащимся, что в покоящейся жидкости давление измеряется манометром, помещенным внутри жидкости. Медленное погружение манометра в покоящуюся жидкость не изменяет ни сжатия ее, ни давления в ней.

Погружение же неподвижного манометра в подвижную жидкость нарушает и то и другое. Нарушения не произошло бы, если бы манометр двигался вместе с жидкостью. Исключения влияния прибора на давление в текущей жидкости можно также достичь, если придать неподвижному манометру особую форму. Такой фор-

¹ При изложении этой темы можно рекомендовать пользоваться «Элементарным учебником физики» под редакцией академика Г. С. Ландсберга, 1956, стр. 294—320.

мой является узкая трубка с закругленным концом и с отверстием сбоку (Пер. II, рис. 91). Жидкость, проходящая мимо отверстия, практически сохраняет скорость неизменной. Манометр, соединенный с вышеописанной трубкой, называется зондом и предназначается для измерения статического давления в потоке.

Трубка, отверстие которой перпендикулярно к линиям тока и обращено навстречу потоку, останавливает движение попавшей в нее жидкости (или газа).

Манометр, соединенный с такой трубкой, измеряет полное давление. Разность между полным и статическим давлениями зависит от скорости потока и служит показателем скорости потока. Надо отметить, что приборы, показывающие разность этих давлений,

т. е. измерители скоростей, являются одними из самых важных приборов оборудования самолетов.

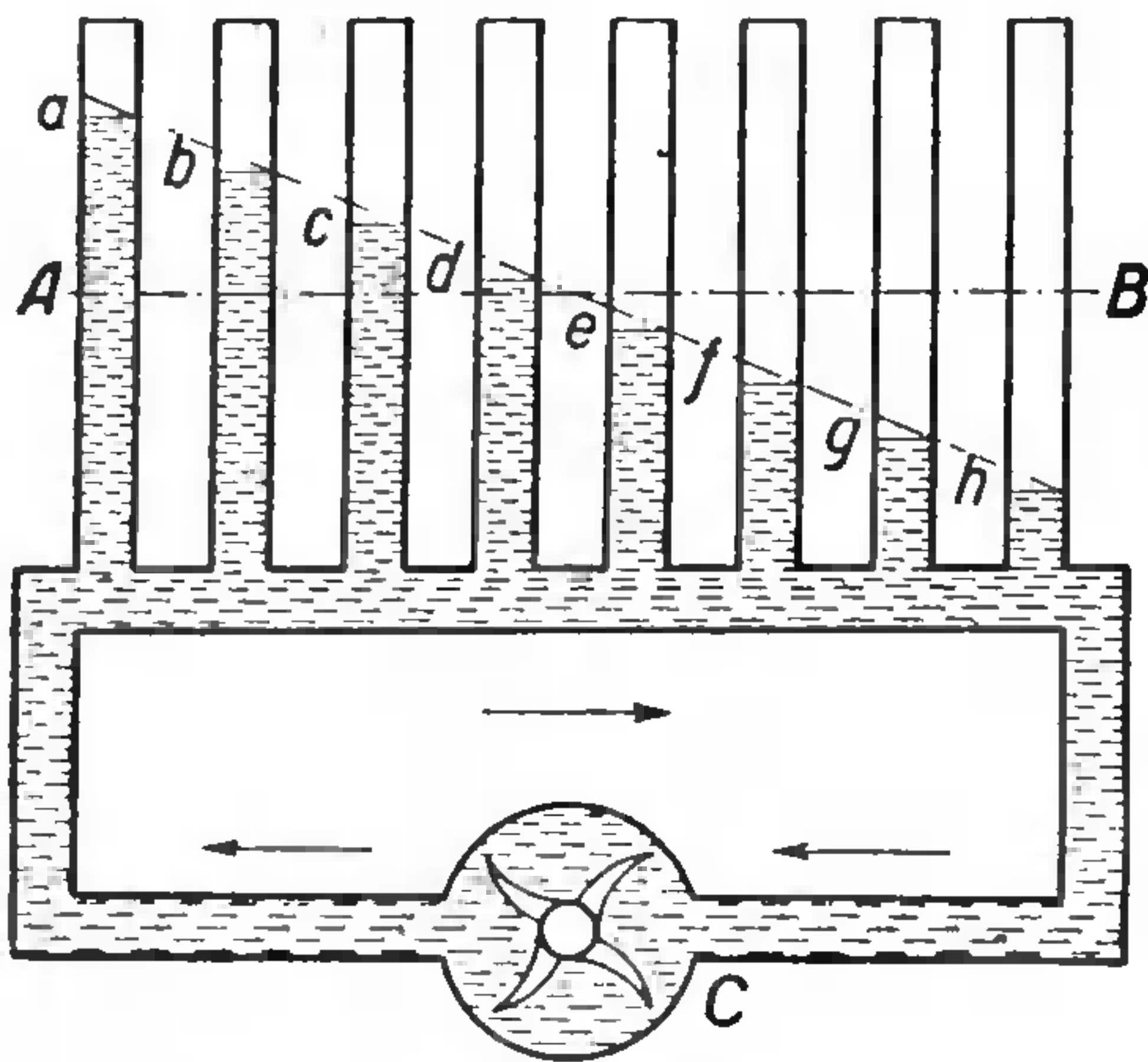


Рис. 48

2. Течение жидкости и газа по трубам постоянного сечения при наличии трения. На том же уроке можно рассмотреть распределение давления внутри жидкости при ее стационарном течении по трубе с постоянным сечением.

Сначала дается объяснение стационарного течения. Затем на основании предыдущего указывается, что для измерения стати-

ческого давления в разных местах трубы в ней просверливаются малые отверстия, в которые вставляются вертикальные стеклянные трубки, «манометрические трубки». Если жидкость в трубе находится под давлением, то в манометрической трубке жидкость поднимается на высоту, соответствующую статическому давлению в данном месте трубки.

Затем демонстрируется давление внутри жидкости на приборе, изображенном на рисунке 48: сначала для покоящейся воды, потом для воды, движущейся под действием насоса. Из опыта делается вывод, что вдоль направления течения воды давление в трубе падает (уровень воды в трубке *a* — наивысший, в трубке *h* — самый низкий).

Падение давления объясняется трением.

Для объяснения падения давления можно предложить учащимся представить себе мысленно выделенным из жидкости внутри трубы объем *ABCD* (рис. 49). При движении жидкости с постоянной скоростью силы давления, действующие со всех сторон на выделенный объем, должны уравнивать силы трения. Это может осуществиться в том случае, если сила давления P_1 , действующая в

направлении движения, будет больше силы давления P_2 , действующей в противоположном направлении. Следовательно, давление должно убывать вдоль течения по трубе.

Надо разобрать изменение давления в водопроводных трубах в зависимости от скорости течения и объяснить, почему иногда исчезает напор в верхних этажах зданий днем и возобновляется ночью.

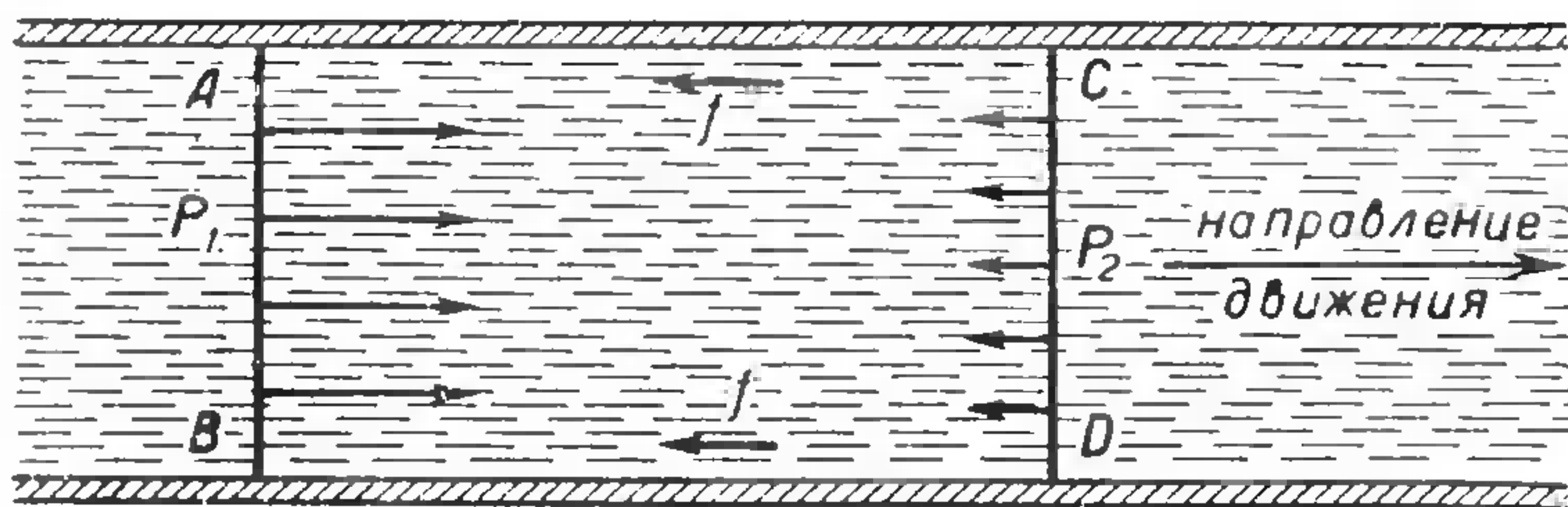


Рис. 49

При объяснении надо отметить также, что давление быстрее падает в узких трубах (трение больше), чем в широких. В достаточно широких и коротких трубах при малой скорости течения падение давления оказывается почти незаметным¹.

3. Течение жидкости и газа по трубам с переменным сечением. Для качественного вывода закона ставится демонстрация — течение жидкости по трубе с переменным сечением — на приборе, изображенном на рисунке 50. По манометрам определяется распределение давления в разных сечениях трубы.

Подобный же опыт ставится с газом, продуваемым при помощи вентилятора (фена) через трубу переменного сечения, в которую вставлены манометры (рис. 51 а и 51 б).

Манометры показывают, что в узких местах трубы статическое давление меньше, чем в широких. Значит, при переходе из широкой части трубы в узкую сжатие уменьшается — давление уменьшается; а при переходе из более узкой в широкую сжатие увеличивается — давление увеличивается.

Это объясняется тем, что в узких частях трубы жидкость и газ должны протекать скорее, чем в широких, чтобы количества жидкости или газа, протекающие за одинаковые промежутки времени,

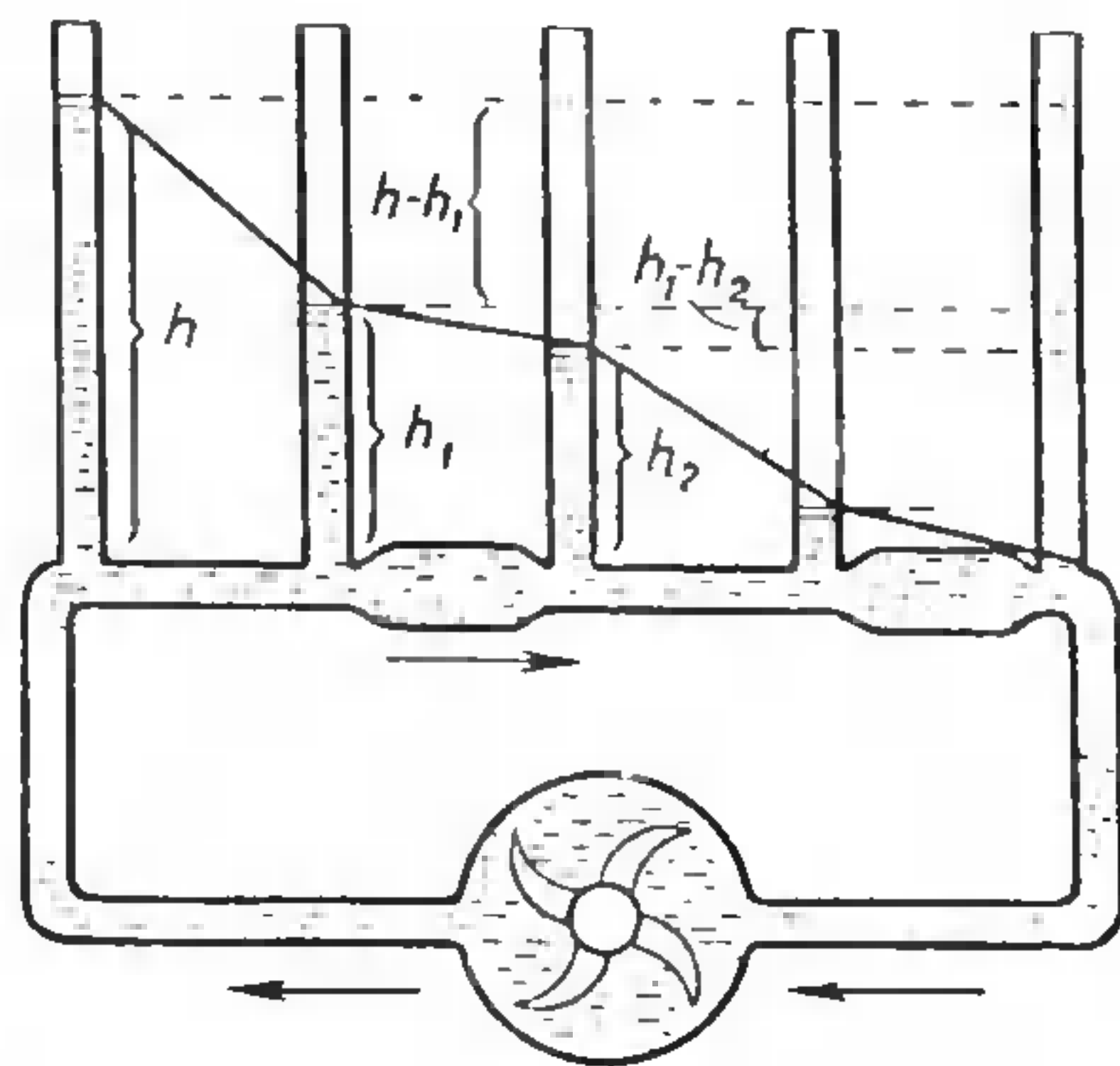


Рис. 50

¹ Опыт с течением газа, подобный описанному, можно показать на следующем уроке.

были одинаковы во всех сечениях трубы при установившемся (стационарном) потоке ($Sv = S_1v_1$).

При переходе из узкой части трубы в широкую скорость жидкости уменьшается; жидкость тормозится, как будто натекая на препятствие; поэтому степень сжатия ее, т. е. ее давление, увеличивается.

При переходе жидкости из широкой части трубы в узкую скорость жидкости увеличивается, она как бы распрямляется подобно отпущенной пружине; скорость ее увеличивается и сжатие, т. е. давление, уменьшается.

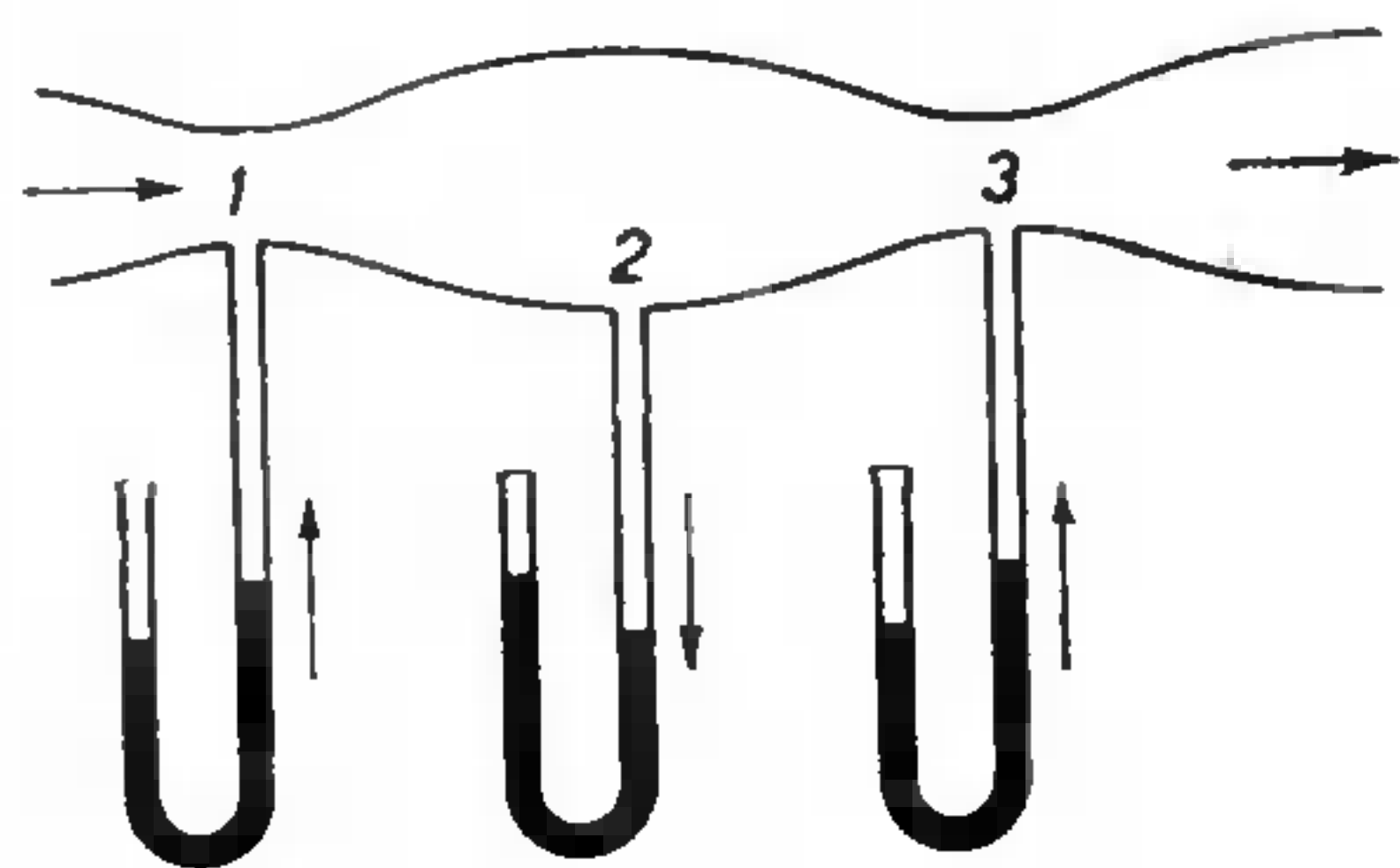


Рис. 51, а

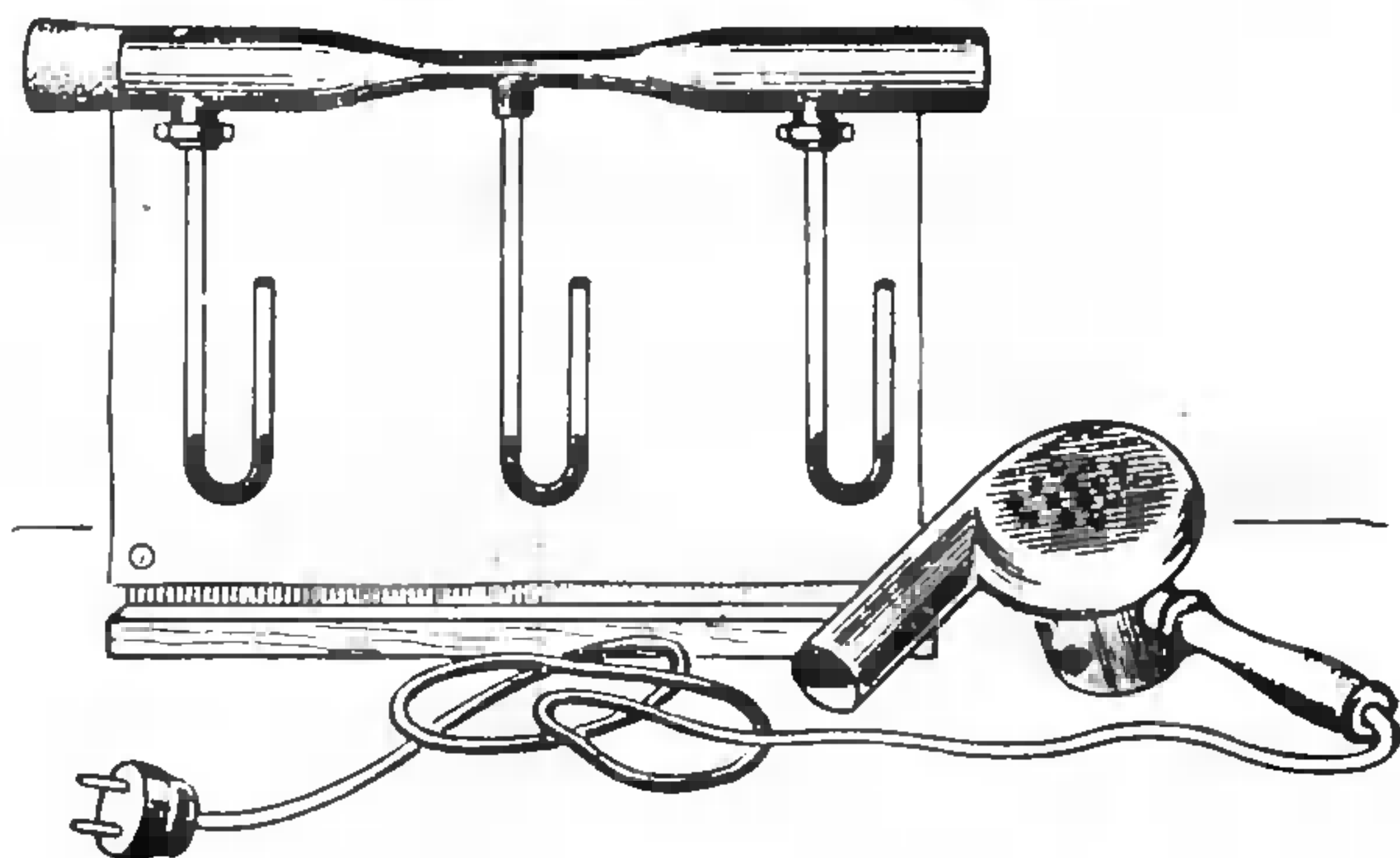


Рис. 51, б

После подробного разбора опыта формулируется закон, найденный Б е р н у л л и и носящий его имя.

Надо отметить, что Даниил Бернулли (1700—1782), открывший этот закон, был членом Российской Академии наук.

Выводимые из закона Бернулли следствия демонстрируются на ряде практических применений и опытов. К ним относятся следующие простейшие опыты.

а) Дуть через наружную часть спичечной коробки, держа за ней несколько в стороне зажженную папиросу, — струя дыма отклоняется к коробке.

б) Дуть на картонный кружок через стеклянную трубку, вставленную в отверстие катушки, — кружок подскакивает к катушке.

в) Две изогнутые открытки подвешиваются близко друг от друга выпуклыми сторонами навстречу. При сильном продувании

воздуха между ними они притягиваются. Между открытками скорость воздуха больше. Следовательно, давление там меньше, чем в пространстве вне открыток. Внешнее давление сближает открытки.

Вариант опыта может быть выполнен с двумя консервными банками, подвешенными на длинных бечевках. При дутье в такт колебания банок они могут быть приведены в соприкосновение.

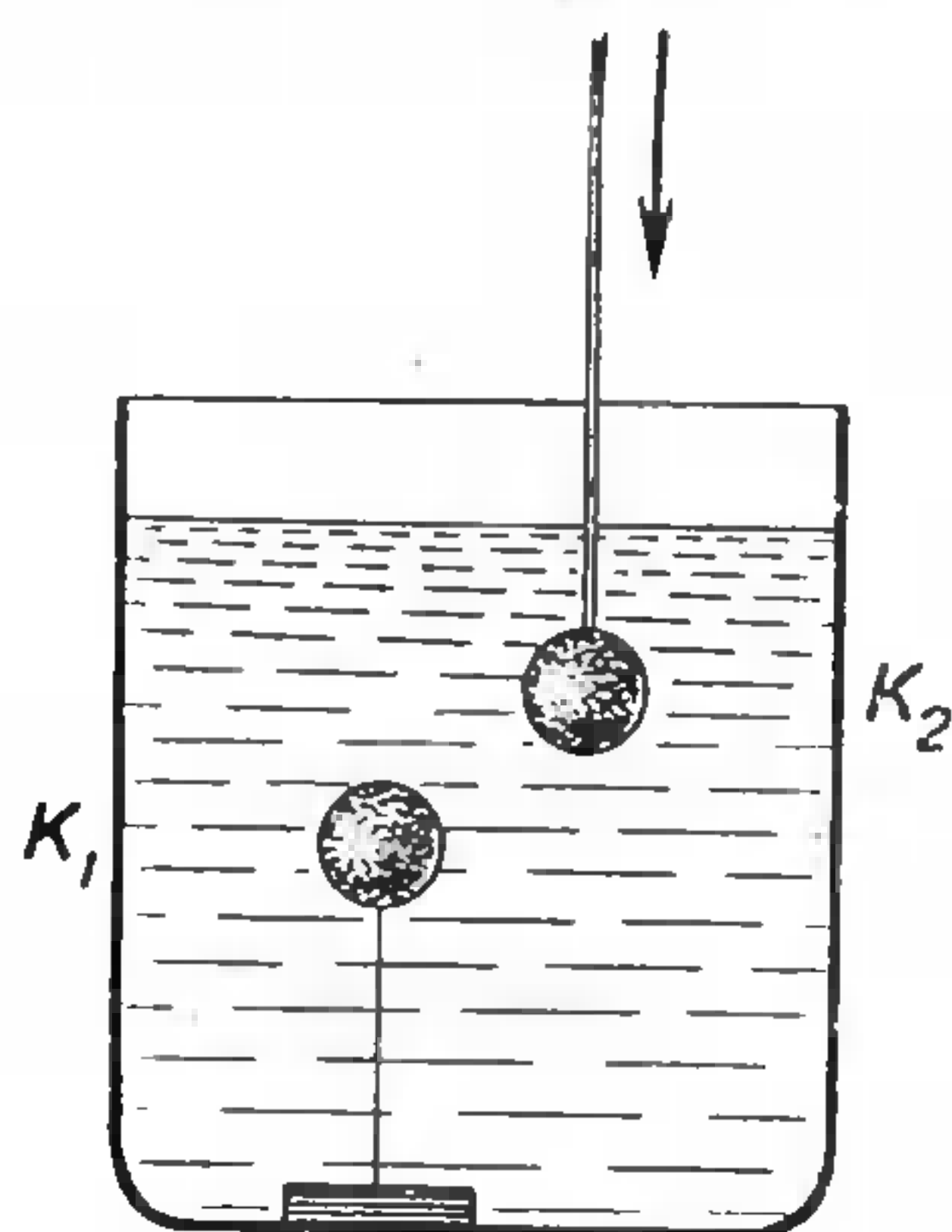


Рис. 52

В другом опыте в жидкость опускается пробка в виде шарика (K_1 , рис. 52), привязанная к грузику. Рядом с ней опускается и вынимается из жидкости вторая такая же пробка (K_2), укрепленная на спице. При движении пробки K_2 вниз и вверх пробка K_1 наклоняется к ней (рис. 52).

Объяснить на основании этих опытов возможность столкновения судов, идущих параллельным курсом.

Если давление в потоке меньше атмосферного, то возникает явление, называемое «подсасыванием».

4. **Технические применения закона Бернулли.** На следующих уроках разбираются технические применения закона Бернулли, причем перечисленные в программе — карбюратор и водоструйный насос — обязательно, остальные (пульверизатор, горелка Бунзена, инжектор и др.) по выбору преподавателя на классных или внеклассных занятиях (Пер. II, рис. 93, 94, 97).

67. Сопротивление при движении тела в жидкости и газе.

Обтекаемые формы тел

1. **Линии тока.** Прежде чем перейти к объяснению причин сопротивления движению в потоке, следует на первом уроке этой части темы дать понятие о линиях тока. Демонстрацию линий тока можно осуществить на разных приборах. Простейший из них описан в «Элем. учеб.», ч. 1, 1956, стр. 319, рис. 390 и 391. Через стеклянную трубку пропускается поток воды; в эту трубку вводится тонкая трубочка, через которую направляется струйка краски или чернил. Окрашенные струйки обнаружат линии тока.

Опыт в другом варианте может быть показан на специальном приборе¹.

Первый опыт — показ линий тока. При открытии крана и после выравнивания уровней в камерах, подкрашенная вода вытекает в виде тонких струек, изображающих линии тока. Второй опыт показывает распределение линий тока вокруг тонкого эбонитового круга, помещенного между стеклянными пластинками; третий — вокруг прямоугольной пластинки, поставленной перпендикулярно или наклонно к направлению потока. Дальнейшие опыты проводятся с пластинками различной формы.

При каждом опыте делается заключение о скоростях в разных точках потока на основании расположения линий тока.

При разборе опытов обращается внимание учащихся на то, что линии тока расходятся, где сечение струи больше, и сближаются, где оно меньше.

Напоминая учащимся закон Бернулли, можно установить другой признак его: давление понижено в тех местах потока, где линии тока сближены, и повышено там, где они расходятся.

¹ Описание прибора дано в книге Ш ю т т, Введение в физику полета, ОНТИ, 1938, стр. 15.

2. Л а м и н а р н о е и т у р б у л е н т н о е т е ч е н и я. На тех же приборах надо показать ламинарное и турбулентное течения, определения которых даны выше.

Показать ламинарное течение воздуха можно при помощи следующего приспособления (рис. 53).

На стеклянную пластинку размером $18\text{ см} \times 9\text{ см}$ наклеиваются вдоль ее узких сторон кусочки картона толщиной в 1 мм так, чтобы между ними оставались промежутки, как показано на рисунке. Первая пластинка покрывается второй такого же размера. Если один конец сложенных пластинок опустить в пространство, наполненное дымом, и вытягивать воздух через противоположные отверстия, то на светлом фоне или в проекции можно наблюдать линии тока в воздухе, обнаруживаемые благодаря струйкам дыма.

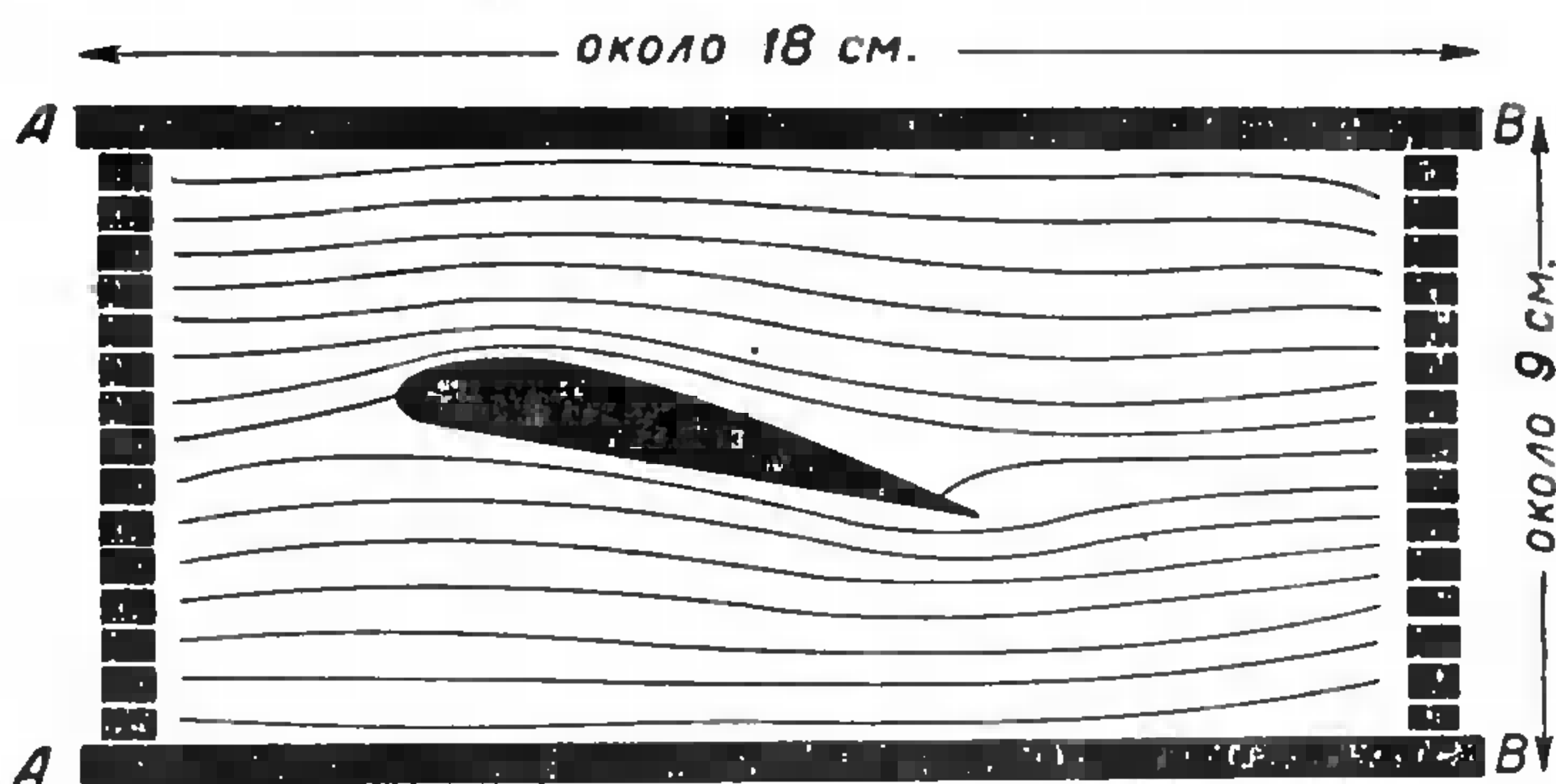


Рис. 53

Надо подчеркнуть, что ламинарное течение в природе и технике встречается очень редко; примеры: движение в капиллярных трубках или очень медленное движение воды в широких каналах; движение подпочвенных вод в грунте; движение воздуха в тихие осенние дни, когда дым стелется полосами.

Турбулентное движение возникает при значительных скоростях течения, например в воздухе при скорости около $10\frac{\text{см}}{\text{сек}}$ и выше. Для сообщения такой скорости рекомендуется пользоваться прибором, называемым феном. Фен — прибор, дающий поток воздуха (электрический вентилятор, помещенный в кожух с узким отверстием). Для получения потока воды и изучения явлений в нем служит прибор, изображенный на рисунке 54 а. Аналогичный прибор можно изготовить также следующим путем.

В широкую стеклянную банку вставляется жестяная цилиндрическая поверхность AA_1 и две деревянные полуовальные колодки BB высотой около 2 см , утяжеленные грузом (свинцом), чтобы они не всплывали в воде (рис. 54 б).

В отверстие фена при помощи просверленной пробки вставляется вилкообразная стеклянная трубка, через которую пускается

ток воздуха на поверхность воды в каналах на участках М,М под малым углом к поверхности.

В зависимости от расстояния устья трубки от поверхности воды ее скорость между стенками А и В и в прямолинейном канале шириной около 5 см между В и В может меняться. Предметы, влияние которых на ток жидкости исследуют, помещают в канал, который является местом наблюдения. Чтобы колодки, образующие канал, не расходились, они скрепляются мостами С, С.

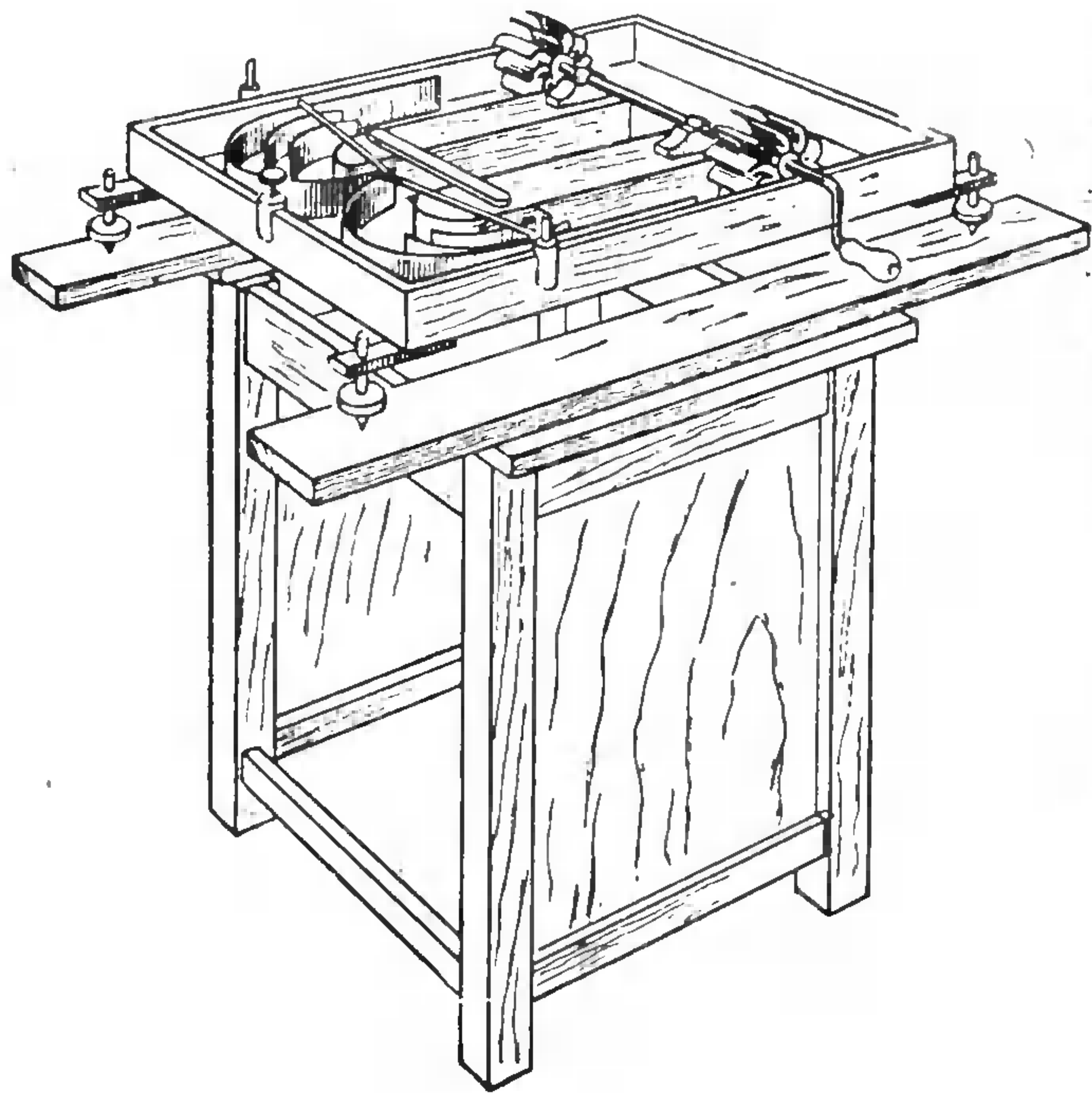


Рис. 54, а

В качестве показателя линий тока на поверхность воды насыпается при помощи пульверизатора тончайший слой семени ликоподия или алюминиевого порошка, обезжиренного прополаскиванием в эфире и просушенного.

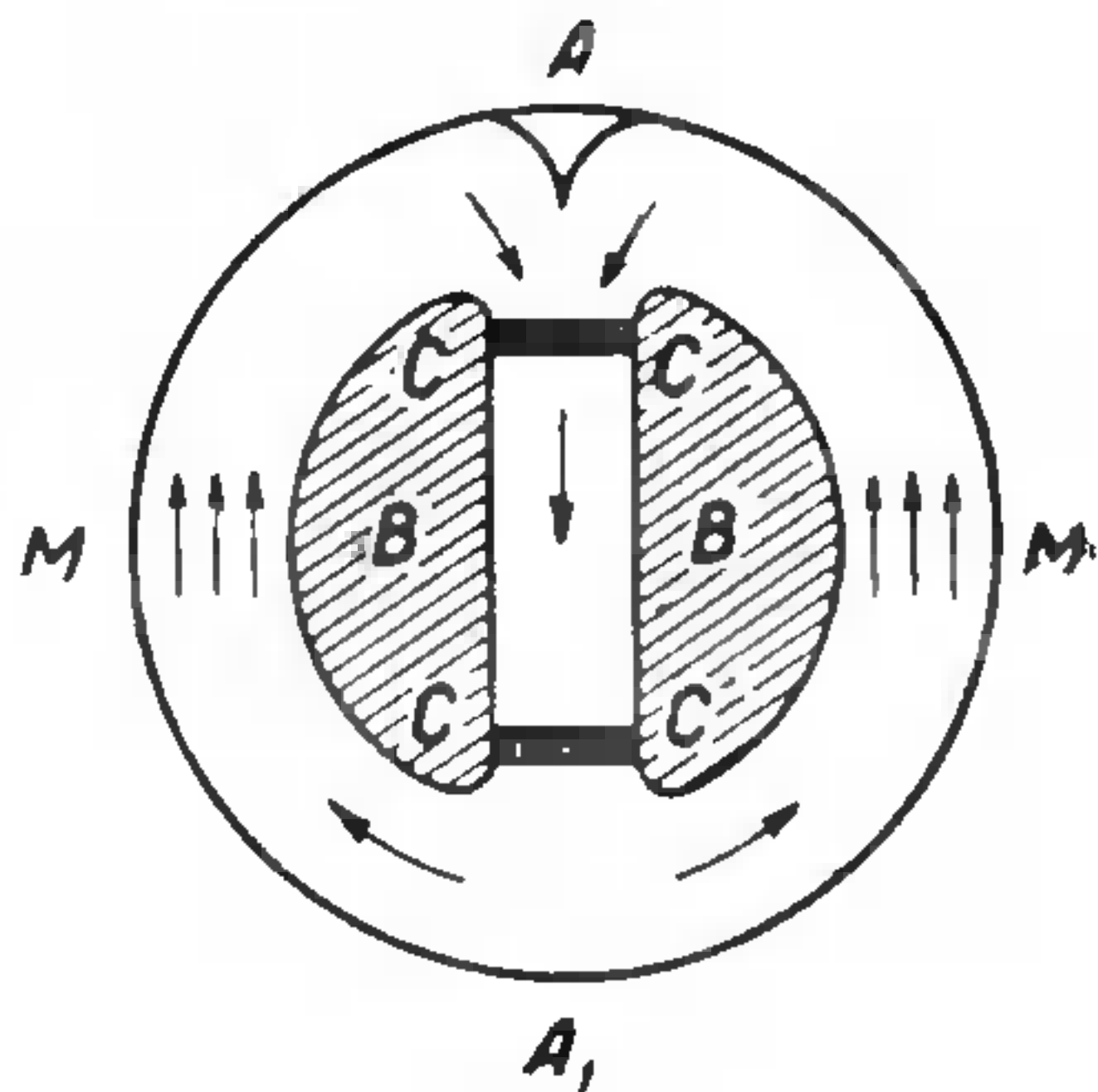


Рис. 54, б

В поток воды между В и В помещают перпендикулярно к потоку плоскую пластинку, цилиндр, полый полуцилиндр, тела различного профиля, в том числе и обтекаемые.

В каждом случае наблюдают линии тока, образование вихрей в одних случаях и устранение их обтекаемой формой тел в других.

Надо отметить, что турбулентность весьма распространенное явление. Клубы дыма, выходящие из трубы, перемешиваются между собой. При ветре струи воздуха всегда турбулентны. Турбулентно течение воды в реках и в водопроводных трубах, отчего в последних возникает шум. В широких трубках турбулентное движение начинается при меньших скоростях течения, чем в узких.

Надо отметить влияние вязкости на характер течения: в вязких жидкостях (масло, глицерин) ламинарное течение сохраняется при больших скоростях, чем в текучих (вода, спирт). При нормальном кровообращении кровь в артериях движется ламинарно.

3. С о п р о т и в л е н и е д в и ж е н и ю т е л а в ж и д - к о с т и и г а з е. На следующем уроке преподаватель переходит к разъяснению названной выше темы. Напомнив об образовании вихрей за движущимся телом, преподаватель указывает, что на приведение жидкости в круговое движение и на отрыв вихрей, т. е. на сообщение все новым и новым частям жидкости кинетической энергии, необходима затрата работы. Силой, совершающей работу, будет сила, приводящая тело в движение. Минимальное вихреобразование производит тело, имеющее обтекаемую форму.

Из наблюдений и объяснения их выясняется значение обтекаемой формы для уменьшения сопротивления движению тела в жидкости и газе.

Далее следует подробнее остановиться на движении тел в воздухе или воздуха относительно неподвижного тела.

Уже раньше, при изучении свободного падения, были сделаны наблюдения относительно сопротивления воздуха движущемуся телу. Многочисленные качественные опыты подтверждают существование сопротивления движению тел в воздухе и зависимость его от формы, сечения и скорости движущегося тела. Достаточно предложить учащимся двигать тонкую линейку один раз плашмя, другой раз ребром с различными скоростями, как они ясно заметят сопротивление воздуха.

Преподаватель объясняет причину изменения скорости тела, движущегося в воздухе: приводятся в движение частицы воздуха перед движущимся телом; вслед за телом увлекается окружающий его слой воздуха, который испытывает трение со стороны других слоев воздуха. Далее, сзади движущегося тела образуется завихрение, вследствие чего давление воздуха на тело спереди становится больше, чем сзади, что уменьшает его скорость. Те же помехи имеют место и при движении тела в жидкости.

Сила сопротивления обусловлена прежде всего трением воздуха о поверхность тела.

Показать зависимость сопротивления воздуха от формы движущегося тела можно на приборе, изображенном на рисунке 100 (Пер. II).

4. О б т е к а е м ы е ф о р м ы т е л а. Опыты показали, что сопротивление воздуха движению тела сильно зависит от формы передней и в особенности задней части поверхности тела, обтекаемого током воздуха. Важная роль формы задней стороны поверхности объясняется тем, что понижение давления вблизи нее больше, чем повышение давления в передней части (если только скорость тела не очень велика).

Можно привести следующий пример: тело в форме цилиндра встречает определенное сопротивление воздуха при движении его плоскостью основания вперед; если же снабдить его спереди и сзади приставками, изображенными на рисунке 101 (Пер. II), то сопротивление уменьшается так, как показывают числа, проставленные на рисунке.

Этот пример дает повод выяснить настоящую техническую задачу придавать телам, предназначенным для быстрого движения—автомобилям, самолетам, снарядам и т. п., наиболее «обтекаемую» воздухом форму для уменьшения сопротивления их движению. Различные «обтекатели» имеют своим назначением устранить завихрение потока выступающими частями конструкции. При конструировании движущихся тел на поверхности их оставляется возможно меньшее количество выступающих частей и неровностей, которые могли бы создать завихрения (поэтому, например, шасси самолетов делаются убирающимися). Необходимо на рисунках и на моделях показать формы современных самолетов, судов, автомобилей и других скоростных экипажей.

Переходя к зависимости величины сопротивления воздуха от скорости движения тела, достаточно в этом месте отметить возрастание сопротивления с увеличением скорости движения, не входя в подробности того, от какой степени скорости оно именно зависит. Можно опираться на жизненные наблюдения учащихся: движение рук в воздухе с разной скоростью, езда с разной скоростью и т. п. Надо выяснить, что сопротивление, растущее с увеличением скорости движения тела в воздухе, в некоторый момент может достигнуть величины движущей силы и уравновесить ее. Начиная с этого момента движение, бывшее до этого ускоренным, становится равномерным. На этом случае необходимо особенно остановиться, так как учащиеся часто не понимают, почему при действии постоянной силы возможно равномерное движение; они упускают из виду сопротивление среды, в которой происходит движение. Изложение этого вопроса иллюстрируется разбором применения парашюта, падением бомб и т. п.

68. Физические основы полета самолета

Переходя к этой части общей темы, преподаватель напоминает вкратце и обобщает, несомненно, уже известные учащимся сведения о значении одного из величайших изобретений XX века — авиации и подчеркивает ее значение для нашей страны при ее громадной протяженности.

Отсюда вытекает важность изучения физических основ подъема и полета самолета. Этой теме уделяется не менее двух уроков, в течение которых раскрываются следующие основные положения.

1. **Обтекание вращающегося цилиндра равномерным потоком воздуха.** Начиная изложение с построения чертежа (рис. 55), преподаватель объясняет, что цилиндр при своем вращении увлекает прилегающие к нему слои

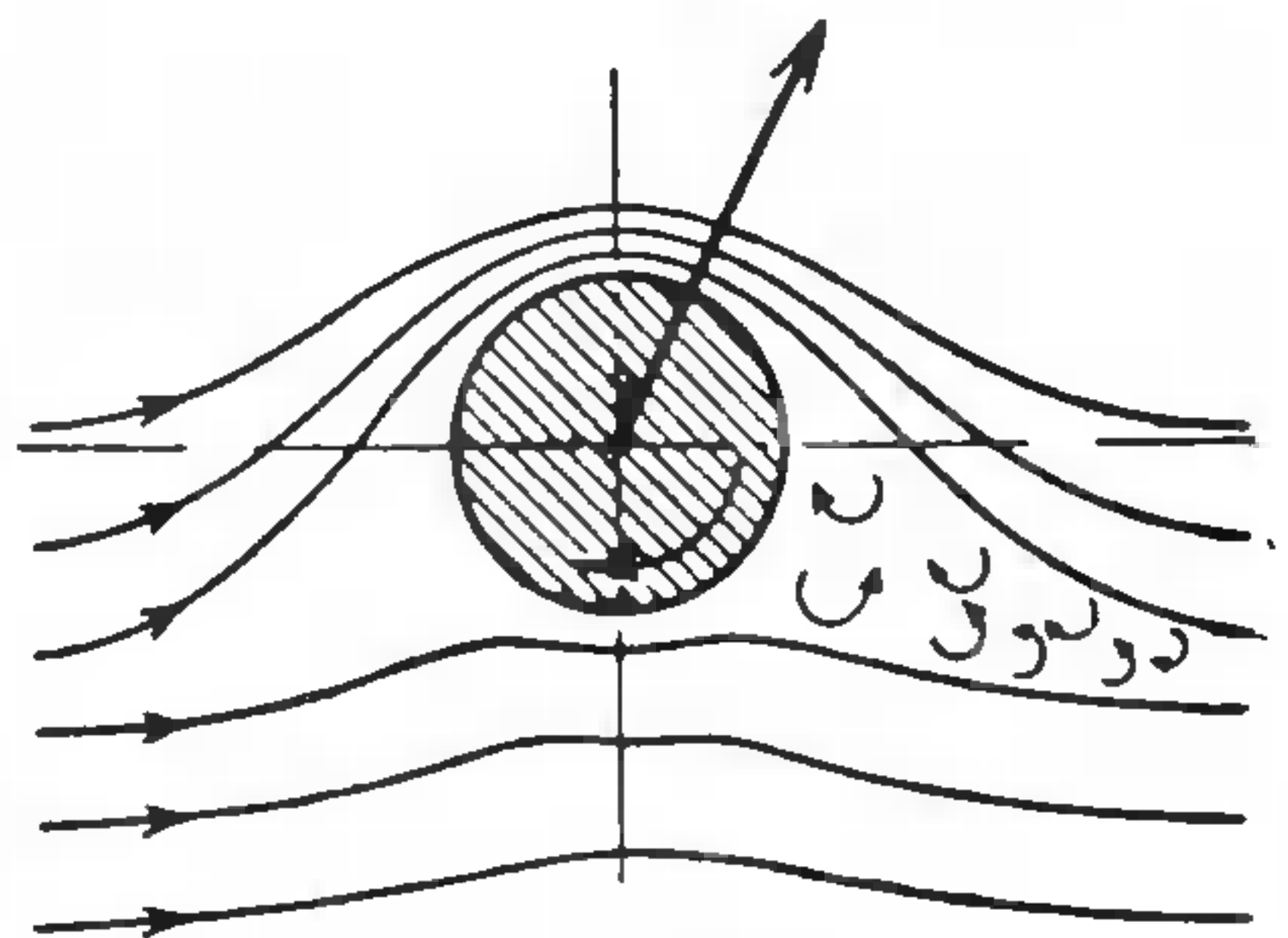


Рис. 55

воздуха; в результате этого воздух, окружающий цилиндр, получает, кроме поступательного, еще и вращательное движение вокруг цилиндра. На вопрос преподавателя учащиеся могут сообразить и ответить, что в тех местах, где скорости поступательного и вращательного движений направлены в одну сторону, они складываются, и результирующая скорость больше скорости потока, набегающего на цилиндр; в тех же местах, где скорости поступательного и вращательного движений направлены в противоположные стороны, они вычитаются, и результирующая скорость меньше, чем скорость потока вдали от цилиндра.

Дальше преподаватель предлагает учащимся сообразить, как на основании закона Бернулли они могут начертить распределение линий тока и определить величины сил, действующих на верхнюю и нижнюю поверхности цилиндра (на чертеже) перпендикулярно к потоку. После ответа учащихся, что в перпендикулярном направлении к потоку на обе поверхности цилиндра действуют разные по величине силы, преподаватель говорит, что равнодействующая этих сил, направленная в сторону большей силы, называется **п о д ъ е м н о й** силой.

Полученный вывод проверяется на известном опыте на падающем с наклонной плоскости вращающемся бумажном цилиндре, движение которого в воздухе отличается от движения по параболе (Пер. II, рис. 108).

При разборе этого вопроса надо отметить, что возникающая подобным образом сила влияет на полет вращающихся артиллерийских снарядов, где она и была впервые обнаружена.

2) **Ц и р к у л я ц и я**. Продолжая разбор вопроса, преподаватель отмечает еще раз, что возникновение силы, действующей на тело перпендикулярно потоку, связано с возникновением кругового движения воздуха около обтекаемого тела. Такое круговое движение получило название циркуляции.

Всякий раз, когда вокруг движущегося тела создается циркуляция, возникает подъемная или, вообще, отклоняющая сила.

Но причиной циркуляции может быть не только вращение обтекаемого тела. Другой причиной является образование вихрей у заднего края обтекаемого тела. Этот случай преподаватель рассматривает на профиле крыла самолета.

Школьная практика показывает, что учащиеся путают профиль крыла с самим крылом и принимают чертеж профиля (сечения) за чертеж крыла. Поэтому преподаватель должен позаботиться о демонстрации на уроке моделей крыла и его сечения (профиля).

Показав ту или другую модель и изобразив на чертеже профиль крыла, преподаватель напоминает опыты (или воспроизводит их вновь), которые показывают, что вблизи острого заднего конца обтекаемого тела образуются вихри (Пер. II, рис. 103, б). Как показывают опыты, эти вихри растут, отрываются от крыла и уносятся потоком.

Взаимодействуя с окружающими массами воздуха, вихри сообщают им по третьему закону динамики движение в направлении, противоположном их собственному. Возникает циркуляция вокруг крыла. Для подтверждения существования такой циркуляции и возникающей вследствие нее разности давлений можно воспроизвести некоторые простые опыты.

Подвесить на вязальной спице открытку, изогнутую в форме, изображенной на рисунке 56. Обдувать ее последовательно по направлению первому, второму, третьему. Во всех случаях открытка отклоняется вправо, в сторону выпуклости. Если рассматривать ее как модель крыла, то при горизонтальном потоке воздуха такая модель, расположенная горизонтально и выпуклостью вверх, поднялась бы вверх.

На конце горизонтального стержня подвешивается нить. Сверху на нить вертикально вниз направляется при помощи фена струя воздуха. Нить, конечно, вытягивается вертикально вниз. Продолжая продувать воздух, подносят сбоку к нити небольшую прямоугольную дощечку с округленными краями под небольшим углом атаки (дается определение: угол атаки — угол между направлением ветра и плоскостью пластинки). Нитка отклоняется от дощечки. Объяснение: дощечка отклоняет от прежнего направления поток воздуха, сообщая ему ускорение, и по третьему закону механики сама испытывает со стороны отклоняемого потока силу, направленную в противоположную сторону.

Эта сила могла бы отклонить и пластинку, если бы она не удерживалась рукой. Эта сила — аэродинамическое действие движущегося воздуха. Если бы поток воздуха имел горизонтальное направление, то пластинка, поднесенная под тем же углом, поднялась бы вверх (принцип змея). Можно повторить опыт при разных углах атаки и проследить зависимость подъемной силы от угла атаки.

3) **П о д ъ е м н а я с и л а к р ы л а с а м о л е т а .** Затем проделывают такие же опыты, поднеся под разными углами атаки модель профиля крыла самолета один раз вогнутой стороной (в полете нижней), другой раз — выпуклой (в полете верхней). В первом случае нить отталкивается от профиля так же, как и от пластинки, следовательно, при полете по направлению, близкому к горизонтальному, крыло испытывает силу, действующую вниз. Во втором случае нить притягивается к крылу (при угле атаки около 5° и при некотором определенном расстоянии). Если постепенно начать удалять модель от первоначального положения, то нитка следует за ней на некоторое расстояние.

Притягивание нити к выпуклой стороне крыла, т. е. при полете к верхней стороне крыла, указывает на то, что над этой стороной крыла давление ниже атмосферного, следовательно, верхняя сторона крыла испытывает «подсасывающее» действие, которое было продемонстрировано на предыдущих опытах. Из совокупности опытов делается вывод: давление на нижнюю сторону крыла боль-



Рис. 56

ше давления на верхнюю, отчего и возникает подъемная сила крыла.

Таким образом, возникновение подъемной силы объясняется различием давления вдоль обеих поверхностей крыла. Если сделать деревянную или металлическую полую модель крыла и приделать манометры в разных точках нижней и верхней сторон крыла, то можно было бы измерить, что давления распределяются так, как показано на рисунке 57. При невозможности поставить эту демонстрацию следует на диапозитиве или на таблице показать рисунок распределения давлений.

Разность давлений струй, обтекающих крыло составляет у современных самолетов 1—2% атмосферного давления, что равно $20 \frac{\Gamma}{\text{см}^2}$. На квадратный метр поверхности крыла подъемная сила достигает 200 кг.

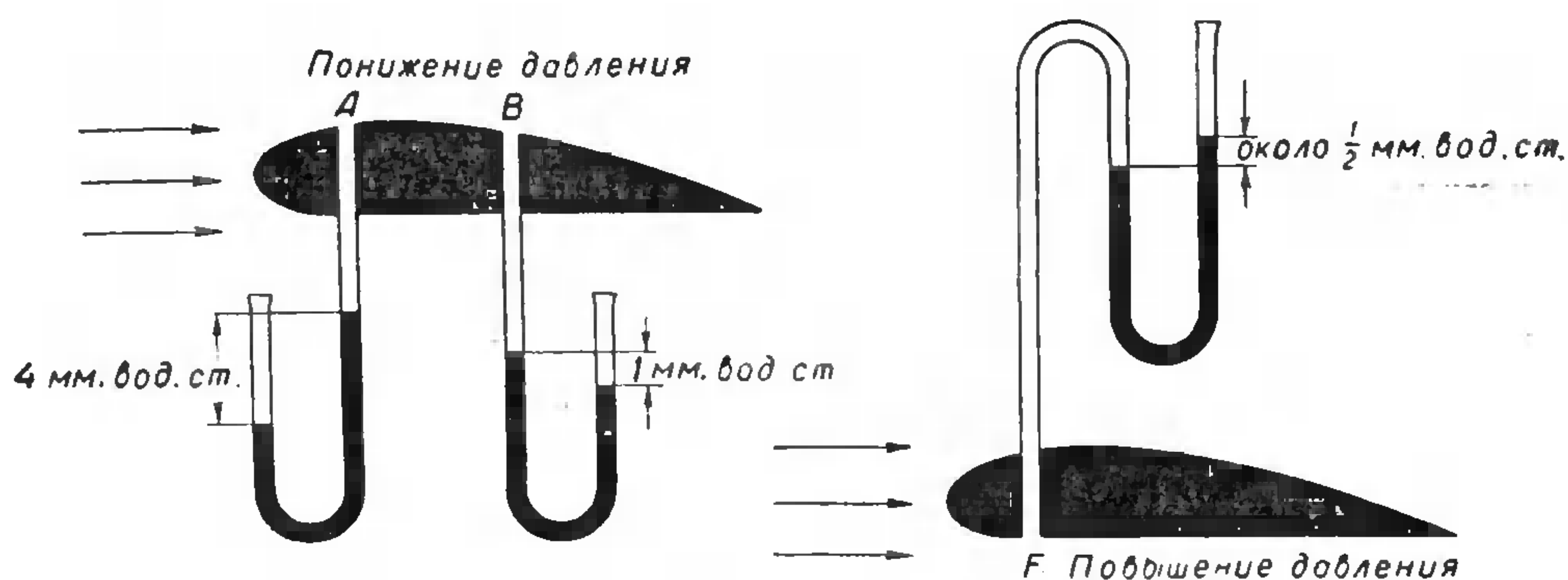


Рис. 57

Чем тоньше крыло, тем меньше его лобовое сопротивление, но меньше и подъемная сила. Тонкие крылья применяются у быстроходных машин, например у истребителей, толстые — у тихоходных, например у транспортных, для которых требуется большая грузоподъемность при небольшой скорости.

Таким образом, при подъеме и полете самолета действуют следующие силы.

Винт самолета (показать его модель), вращаемый двигателем, создает силу тяги и сообщает самолету такую скорость, что подъемная сила крыла самолета может превзойти вес самолета — самолет взлетает.

Когда сила тяги пропеллера становится равной по величине и противоположной по направлению лобовому сопротивлению воздуха и подъемная сила — весу самолета, наступает равномерное прямолинейное движение.

В настоящее время уже разработаны сотни различных профилей крыльев. В связи с ростом потолка, грузоподъемности и скорости самолетов непрерывно разрабатываются новые типы крыльев.

Надо собрать в физическом кабинете модели крыльев и самолетов или рисунки их и продемонстрировать учащимся.

Также надо дать схему действия на самолет сил во время полета (рис. 58): силы тяги P , создаваемой при помощи пропеллера двигателя, силы лобового сопротивления P_1 , силы тяжести F_1 и подъемной силы крыльев F .

Надо, чтобы учащиеся сами пришли к выводу, что равномерный горизонтальный полет возможен только при попарном уравнивании этих сил.

4) Значение отечественных изобретателей в развитии авиации. Учащиеся должны узнать, что законы, определяющие подъемную силу крыла самолета, установил великий русский ученый Николай Егорович Жуковский (1847—1921), названный В. И. Лениным «отцом русской авиации».

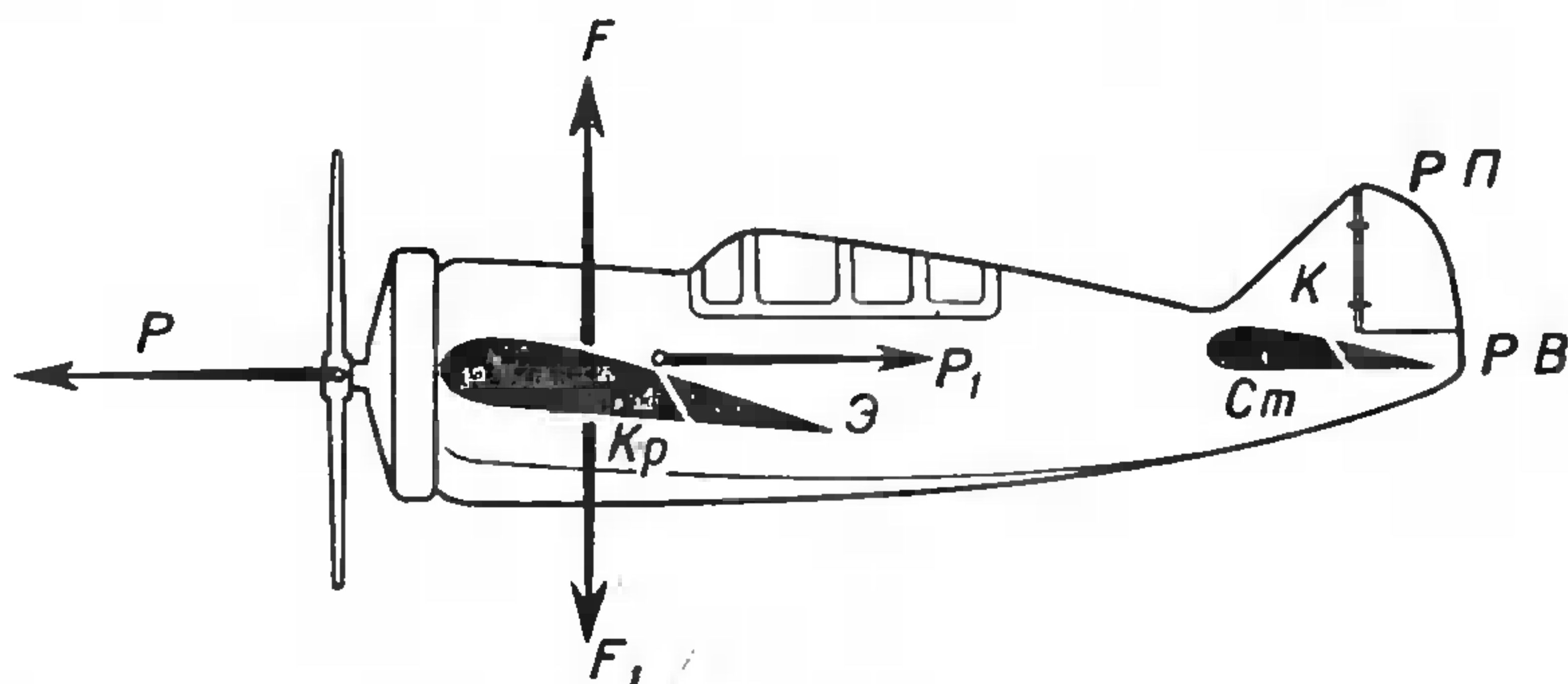


Рис. 58

Н. Е. Жуковский показал, что при теоретических расчетах можно принять такое распределение скоростей в обтекающем крыло потоке, как будто к основному воздушному потоку, движущемуся равномерно и симметрично относительно крыла, присоединяется добавочный циркуляционный поток, обтекающий крыло, как показано на рисунке 59.

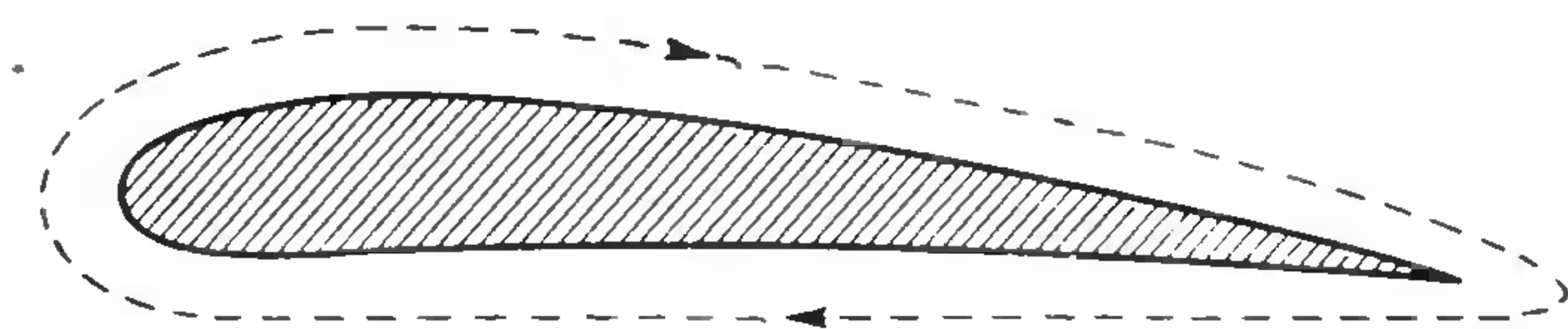


Рис. 59

Складываясь с общим потоком воздуха над крылом, циркуляционный поток увеличивает его скорость; двигаясь навстречу основному потоку под крылом, уменьшает его скорость.

Открытые им наиболее выгодные профили крыльев и спроектированные по его указаниям винты названы его именем и известны инженерам всего мира как профили «НЕЖ» и винты «НЕЖ».

Учеником и продолжателем работ Жуковского был академик, Герой Социалистического Труда Сергей Алексеевич Чаплыгин (1869—1942), создавший основы аэромеханики больших скоростей, имеющей огромное значение для развития сверхзвуковой авиации.

При прохождении этой темы должны быть показаны портреты этих ученых и доведены до сведения учащихся их биографии и труды. Также должно быть рассказано учащимся о работе наших конструкторов — Яковлева, Ильюшина, Лавочкина, Микояна, Туполева, создавших во время войны конструкции самолетов, значительно превосходивших вражеские (в частности, надо рассказать о создании в последнее время академиком А. Н. Туполевым реактивных пассажирских самолетов ТУ-104 и ТУ-114).

Обращаясь к истории авиации, надо отметить, что Россия — родина самолета, что первый самолет был построен в период 1882—1884 гг. морским офицером Александром Федоровичем Можайским.

На внеклассных занятиях можно познакомиться с жизнью и деятельностью выдающихся русских летчиков: Росинского, Уточкина, Нестерова, Громова, Чкалова, Коккинаки, Покрышкина, Кожедуба.

Прохождение гидро- и аэромеханики следует связать с повторением законов динамики и понятия о количестве движения. Применение этого понятия к объяснению гидродинамических явлений можно найти в Элем. учеб., ч. 1. Там же приведены вопросы на соображение, которые можно использовать при опросе учащихся или на кружковых занятиях.

69. Энергия движущейся воды и ветра

Последний урок темы посвящается показу действующих моделей гидравлических и воздушных двигателей, использующих мощность потоков воды и воздуха.

Перед объяснением устройства и действия гидротурбин следует показать реакцию вытекающей струи воды и воздуха из изогнутой гибкой трубки и из так называемого сегнерова колеса. Изложение можно вести в объеме учебника. В качестве домашнего экспериментального задания можно предложить учащимся повторить указанные опыты в связи с изготовлением простейших приборов.

На кружковых занятиях можно наладить изготовление действующих моделей водяных и ветряных двигателей; рассмотреть использование законов гидро- и аэродинамики в различных областях науки и техники:

1. в турбостроении (рабочее колесо гидротурбины, паровой, газовой турбины);
2. в гидротехнических сооружениях (обводнение, водоснабжение, канализация, укрепление берегов);
3. в устройстве нефтепроводов;
4. в устройстве газопроводов;
5. в металлургии (движение по формам расплавленного металла, центробежное литье);
6. в водном транспорте;
7. в воздушном транспорте;

8. в метеорологии;

9. в океанографии.

В настоящее время тонкая струя воды, выбрасываемая из отверстия со скоростью, превосходящей скорость звука в воздухе, применяется как «водяной резец»; она просверливает двухмиллиметровый стальной лист.

Перспективы применения усовершенствованного «водяного резца» обширны: при прорытии тоннелей, при обработке камня, при разрушении ледяных покровов, мешающих продвижению судов в северных широтах, и т. п.

Подобным образом сильный ток воздуха, вдуваемый снизу в сосуд, заполненный смесью сыпучих веществ, превращает эту смесь как бы в жидкость, в которой вещества сортируются и располагаются соответственно плотности. Это открытие находит широкое применение при сортировке материалов, боящихся влаги.

Оба изобретения описаны в журнале «Юный техник» 1957, № 11.

ЛИТЕРАТУРА ПО РАЗДЕЛУ ГИДРО- И АЭРОМЕХАНИКИ.

Люди русской науки, Н. Е. Жуковский, С. А. Чаплыгин, т. I, Огиз — ГИТТЛ, М.—Л., 1948, стр. 153—163; 250—259.

Л. Гумилевский, Николай Егорович Жуковский, «Молодая гвардия», М., 1943, 36 стр. с портрет.

Н. С. Бобров, Чудесные крылья, Детиздат, 1939.

Л. Гумилевский, Крылья родины, изд. 2, Детгиз, М., 1955.

М. А. Исакович, Теория полета, Гостехиздат, М.—Л., 1947.

К. Шютт, Введение в физику полета, ОНТИ, М.—Л., 1938, 207 стр. 189 рис.

М. И. Панков, Работа авиамodelьного кружка, Редиздат Ц. С. Осоавиахима СССР, М., 1947, 124 стр.

Г. Мамаев и Э. Павлов. 10 задач о самолете. Дом занимательной науки, Л., 1940, 16 стр. с иллюстрациями.

Г. Котельников, История одного изобретения (русский парашют), Детиздат, 1938, 88 стр. с рисунками.

Арлазаров, Человек на крыльях, изд. 12, М., изд. ДОСААФ, 1956.

Д. Д. Галанин, Физика и военная техника. Учпедгиз, М., 1945.

Глава XII.

ЗВУК

70. Значение раздела «Звук» в программе средней школы

Изучению звуковых явлений уделено в программе место, совершенно не соответствующее их значению в природе и в особенности в современной технике.

В последнее время получили особое развитие следующие разделы акустики: электроакустика, архитектурная акустика, музыкальная акустика, учение о спектрах звуков речи, о звуковой лока-

ции, запись и воспроизведение звуков, звуковое кино, ультра-и инфразвуки.

Понятно, что современное состояние акустики даже в ее основных частях никак не может быть представлено в пределах тех шести часов, которые отводятся программой. Со многим из этой области учащиеся могут познакомиться путем самостоятельного чтения или на занятиях школьного кружка физики. На занятиях в классе изучаются лишь те вопросы, без знания которых невозможно расширенное изучение темы.

При изложении акустики надо оттенить две тесно связанные между собой стороны: физическую — воспроизведение и распространение звука и психофизиологическую — восприятие звука, человеческий слух.

Основы музыки, строение органа слуха и органа речи не включены в программу и могут составить содержание внеклассного чтения (список литературы приведен ниже).

Звуковые явления — те же упругие колебания, законы которых изучены раньше.

Выделение их в особую главу курса объясняется двумя причинами. Во-первых, звуковые явления ощущаются органом слуха. Раздражение слухового органа производится только колебаниями в узкой области частот и в известных пределах их мощности (например, при мощности колебаний в $10^{-8} \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2 \text{сек}}$ они имеют частоту от 1000 до 3000 гц).

Во-вторых, различные физические свойства колебаний вызывают различные слуховые восприятия. Человеческое ухо различает звук — шум и звук — тон; тон характеризуется громкостью, высотой, тембром.

71. Звуковые волны

1. Источники звука. Надо показать на примере камертона, струны, колокола, стеклянного сосуда, что звучащее тело находится в колебательном движении.

2. Распространение звука. Показав, что звучащее тело находится в колебательном движении, надо установить дальше следующие положения.

а) Распространение звука в воздухе начинается с колебаний плотности воздуха у поверхности колеблющегося тела.

Подобные же, но только прерывистые, периодически следующие друг за другом уплотнения воздуха можно создать при помощи приборов, называемых сиренами.

Надо показать сирену, начиная с простейшей (вращающегося круга с отверстиями, в которые производится вдувание воздуха), и объяснить ее действие.

б) От точечного источника звука звуковые волны распространяются в виде сферических волн.

Показ диапозитива или таблицы.

в) От источника звука до органа слуха звуковое колебание передается через промежуточную среду. Опыт со звоном колокольчика (будильника) под колоколом воздушного насоса подтверждает это.

г) Звуковая волна может распространяться, как и всякая волна, лишь в упругом теле. Опыт: звучащий камертон ставится на доску и затем на войлок, вату или сукно. Понятие о звукопроводности веществ.

д) Величина энергии, отдаваемой звучащим телом окружающей среде, зависит от величины колеблющейся поверхности. Опыт: звучащий камертон в воздухе и он же, поставленный ножкой на стол.

3. С к о р о с т ь з в у к а. Эту тему следует начать с рассказа преподавателя или учащегося, подготовившего заранее доклад, о способах измерения скорости распространения звука в воздухе, в воде, в металле. Приводятся значения скорости звука в различных веществах. Демонстрируются картины с изображением наиболее известных исторических опытов по измерению скорости звука.

4. О т р а ж е н и е з в у к а. Опыт: поместить часы на вату на дно высокого цилиндра, над отверстием его расположить под углом в 45° к горизонту пластинку и слушать тикание часов на расстоянии. Наблюдения: эхо (его объяснение), реверберация (определение термина)¹, влияние мягкой мебели и занавесок на отражение звука.

5. П р е л о м л е н и е з в у к а. Здесь рассказывается о распространении звука через среды различной плотности, через воздух по вертикали и о зонах молчания; дается объяснение зон молчания.

6. И н т е р ф е р е н ц и я з в у к а. Рассматривается наложение звуковых волн при вращении звучащего камертона вокруг оси, проходящей через ножки. Интерференция при вращении звучащего камертона объясняется следующим образом. По направлению пунктирных стрелок рисунка 60 звуковые волны, идущие от обеих ветвей камертона, ослабляют друг друга. По направлениям А, А не происходит интерференции, так как каждая ветвь препятствует распространению волн от другой ветви: по направлениям же В, В колебания распространяются не от ветвей камертона, а от воздушной массы, находящейся между ними. Поэтому при вращении камертона около оси, проходящей через ножку его, слышен то полный звук, то ослабленный.

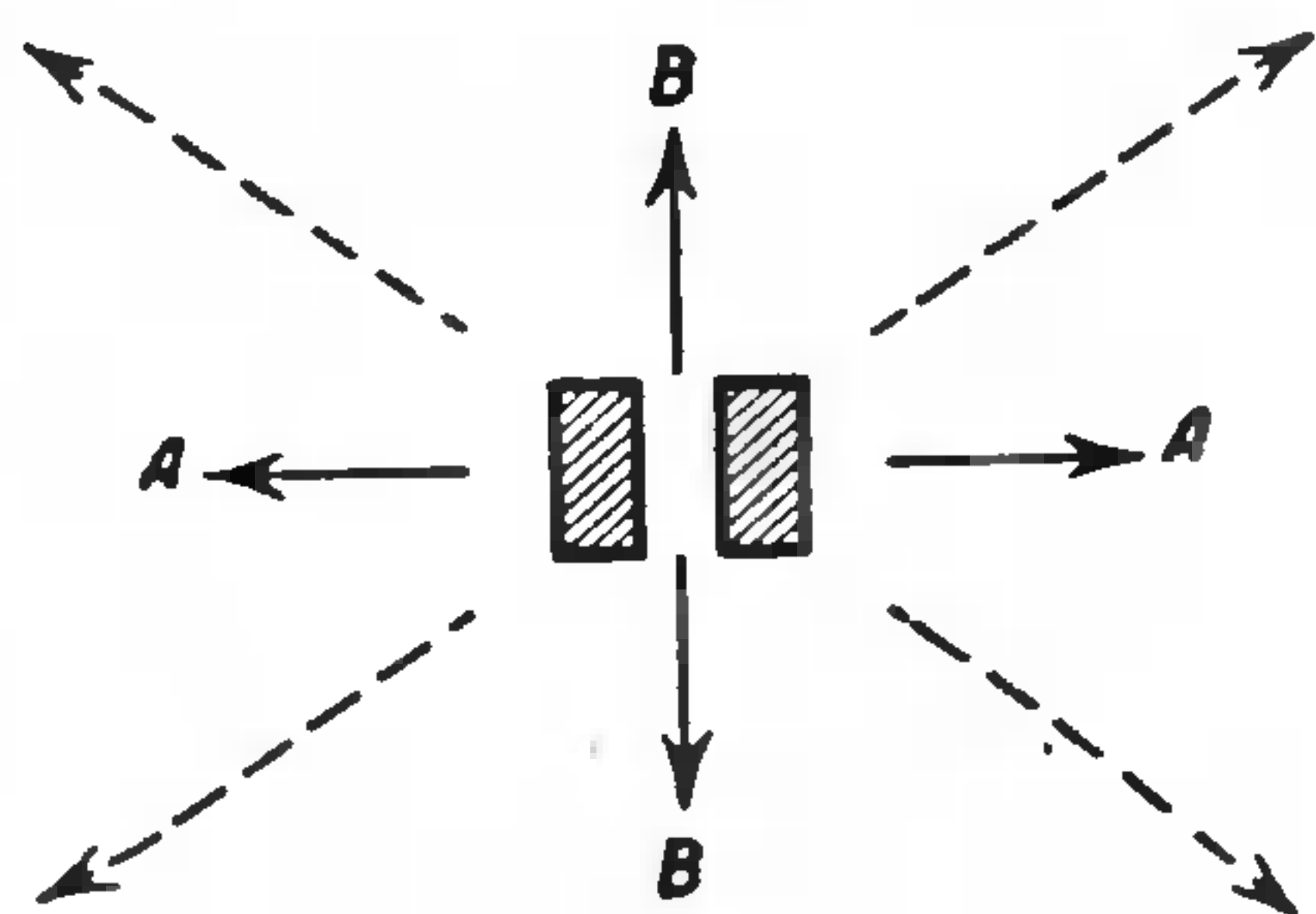


Рис. 60

¹ В учебнике.

7. Б и е н и е з в у к а. Опыт: приведение в одновременное звучание двух камертонов с очень небольшим различием в частоте колебаний. Лучше всего для опыта взять два одинаковых камертона и на ветвь одного из них насадить легкую полоску жести.

8. Д и ф ф р а к ц и я з в у к а. Звук слышен из одной комнаты в другую, за углом здания, через невысокий забор, между деревьями леса. Все эти хорошо известные явления показывают, что большинство земных предметов, кроме больших домов, скал, не образуют звуковой тени, т. е. огибаются звуковыми волнами. Так выявляется диффракция звуковых волн. Объясняется она тем, что большинство предметов не велико по сравнению с длинами звуковых волн.

Можно предложить учащимся рассчитать длины звуковых волн для разных частот.

9. С т о я ч а я в о л н а н а з в у ч а щ е м т е л е. Тема начинается с показа узлов и пучностей на фигурах Хладни или на пылевых фигурах в трубке Кундта. Наличие стоячей волны на звучащем теле объясняет существование собственного тона тела.

10. З в у к о в о й р е з о н а н с . Опыты: резонанс камертонов, поставленных на резонансные ящики; резонанс воздушного столба на колебания камертона; резонанс струны рояля на звук камертона. Демонстрируются резонаторы. Повторяется основное условие резонанса и дается объяснение механизма звукового резонанса.

72. Качества звука

1. Р а з д е л е н и е з в у к о в н а т о н ы и ш у м ы. Тон — звук, издаваемый источником, который совершает гармоническое колебание. Он также называется музыкальным тоном. Примером может служить тон, издаваемый камертоном.

Шум характеризуется непериодичностью формы колебаний; шум может быть вызван длительным колебанием неправильной формы (шипение, скрип) или отдельными звуковыми выбросами (щелчки, стуки).

Примеры шумов: шум леса при ветре, шум уличной езды, шум идущего поезда, гром, шумы при произнесении согласных (шипящие, губные и др). Некоторые музыкальные инструменты — барабаны, литавры — создают шум. Комбинация многих музыкальных звуков может иногда создать шум, но, наоборот, никакая комбинация шумов не может дать тон.

2. Г р о м к о с т ь з в у к а — слуховое ощущение, зависящее от физического качества — силы звука. Сила звука измеряется количеством звуковой энергии, проходящей через 1 см^2 в секунду. Энергия колебания зависит от амплитуды колебания. Опыт: уменьшение громкости звука камертона при уменьшении амплитуды его колебаний; индикатором амплитуды колебаний служит легкий, подвешенный на нити шарик, прикасающийся к ножке камертона. Сле-

дует объяснить уменьшение громкости звука с удалением от звучащего тела вследствие, во-первых, распределения энергии в большем объеме, во-вторых, поглощения энергии средой.

Затем даются понятия о пороге слышимости и о болевом пороге.

3. **В ы с о т а т о н а.** Ощущение высоты тона зависит от частоты колебаний. Опыты: восприятие высоты тона колеблющейся стальной пластинки зависит от ее длины. Изменение длины и, следовательно, жесткости пластинки приводит к изменению частоты колебаний, отмечаемому на слух. Демонстрируется получение звуков разных высот от колеса Савара; звучание камертонов с различным числом колебаний. Границы слышимости звуков, инфразвуки и ультразвуки. Способы измерения частоты колебаний, среди них способ Дюгамеля — вычерчивание синусоид на закопченной равномерно движущейся пластинке посредством острия, прикрепленного к звучащему телу. Важная часть темы — способы измерения частоты при помощи сирены или частотомера. Сообщение о герце — единице для измерений частоты колебаний.

4. **Т е м б р.** Тема начинается с объяснения понятий об основном тоне тела и об обертонах. Обнаружение обертонов: дернув натянутую струну на расстояние четверти ее длины от края, осторожно касаются чем-нибудь мягким ее середины и тем задерживают колебание струны, как целой; в то же время слышится звук, октавой выше, т. е. с двойным числом колебаний; повторяют те же опыты со струной, но прикасаясь к ней на расстоянии трети, четверти, пятой части струны; каждый раз слышатся тоны все более высокие. Тоны с кратным основному тону числом колебаний называются обертонами, или высшими гармоническими тонами.

Можно показать существование обертонов (и одновременно явление резонанса) на рояле. Надо беззвучно нажать одну из средних клавиш и держать ее. В то же время надо сильно нажать клавишу соответствующего тона октавой ниже и сейчас же ее отпустить, заглушая этим вызванное колебание. Слышится тон на октаву выше — это резонирует первая струна, давая первый обертон по отношению к вдвое более длинной струне.

Итак, тембр тона зависит от порядка, числа и силы высших гармонических тонов, сопровождающих основной тон.

Обнаружить различие в тембре звучащей струны можно так: дергают струну в различных точках — каждый раз возникает звук различного тембра. Это изменение происходит потому, что при дергании струны в различных местах изменяется громкость обертонов; например, при дергании за середину возбуждаются основной тон и четные обертоны.

Трудное для учащихся понятие о тембре можно разъяснить им, помимо перечисленных выше опытов, также на показе осциллограмм или их чертежей и спектров.

Световой осциллограф с зеркальной разверткой описан в Элем. учеб., ч. III, § 4. Образцы осциллограмм негармонических колебаний даны там же на рисунке 38.

Гармоническим спектром называется диаграмма, показывающая величины амплитуд, распределенные по различным частотам звуков, входящих в состав сложного звука (рисунок 38 того же учебника).

Исследование таких спектров ощущаемых звуков показало, что для восприятия звука существенным является частота и амплитуда тонов, входящих в состав звука.

Тембр звука определяется его гармоническим спектром. Изменение фаз этих тонов не воспринимается слухом.

Таким образом, один и тот же звук может быть воспринимаем при очень различных формах колебаний; важно только, чтобы был один и тот же спектр, т. е. частоты и амплитуды составляющих тонов.

Преподаватель, при желании, опираясь на проведенный выше разбор, может дать понятие о консонансе — приятном для слуха созвучии, и о диссонансе — созвучии неприятном, режущем слух.

Физической причиной консонанса является наличие звуков, периоды которых находятся в отношениях небольших целых чисел, например $2 : 3$ или $4 : 5$; причиной диссонанса — наличие звуков, периоды которых относятся, как большие числа (например, $19 : 23$).

5. Во время прохождения темы следует поставить не введенную в программу лабораторную работу: определение длины звуковых волн по способу резонанса.

73. Использование звуковых явлений в технике

Из многочисленных технических применений звуковых явлений в программе указана только запись и воспроизведение звуков. Изложение этого вопроса дано в учебнике и не нуждается в особых методических замечаниях.

За пределами программного материала остается много важных вопросов научного и технического характера, которые было бы полезно осветить на внеклассных занятиях.

Не давая подробного изложения их, ограничусь кратким перечислением.

Анализ и синтез звуков; спектры гласных и согласных звуков; органы речи и слуха; эхолот и звуковая локация; ультра- и инфразвуки; звуковая дефектоскопия; музыкальная акустика и другие вопросы, названные в начале главы.

При изучении раздела «Звук» может быть использована следующая литература:

Я. И. П е р е л ь м а н, Физическая хрестоматия, изд. 2, вып III, Звук, Л., Госиздат, 1924—1925.

Я. И. П е р е л ь м а н, Занимательная физика, изд. 15, кн. I, гл. X; кн. 2, гл. X, ГТТИ, 1949.

В. Д. З е р н о в, Колебания и волны. Звук и музыка, изд. МГУ, 1930.

Ф. Н. К р а с и к о в, Ухо, М.—Л., Госиздат, 1928.

- П. Н. Б е л и к о в, Речь и слух, М.—Л., Госиздат, 1937.
С. Н. Р ж е в к и н, Слух и речь в свете современных исследований, изд. 2, ОНТИ, 1936.
В. П. В н у к о в, Физика и оборона страны. Изд. 2, «Наука — массам», ОНТИ, 1935.
У. Б р э г г, Мир звука. «Природа и культура», Гиз, 1927.
А. В у д, Звуковые волны и их применение, ОНТИ, 1934.
Д. А. Ф л е м м и н г, Волны в воде, воздухе, эфире, изд. АН СССР, 1937.
В. Д. О х о т н и к о в, В мире застывших звуков, Воениздат, 1948.

ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ.

- А. Д э в и с, Современная акустика, ГОИТИ, 1938.
Р э л е й, Теория звука, ГИТТЛ, 1940
Б о л т и М о р з, Звуковые волны в помещениях, «Успехи физических наук», 1947, XXXII, стр. 185, 333, 417.

II. ТЕПЛОТА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА.

Глава XIII.

ТЕПЛОТА

74. Общие замечания к отделу

Учение о теплоте должно быть основано на молекулярно-кинетической теории. Поэтому изучение основ этой теории должно быть предпослано изучению разделов учения о теплоте.

Курс физики VII класса дает учащимся следующий объем основных сведений.

Они знают способы передачи теплоты от одного тела к другому; знакомы из качественных опытов с тепловым расширением и с элементами термометрии, основанной на этом свойстве тел; имеют понятие об удельной теплоемкости и о теплотах изменения агрегатного состояния и научились решать соответствующие задачи арифметическим путем; знают законы изменения агрегатного состояния; познакомились с техническим использованием теплоты в тепловых машинах.

В X классе все эти сведения, кроме способов передачи теплоты, даются в более расширенном и углубленном виде.

75. Основы молекулярно-кинетической теории

1. Первой задачей курса физики X класса является доказательство существования предела делимости, дальше которого деление данного вещества с сохранением его свойств невозможно.

В VII классе приводились многочисленные примеры делимости тел на ничтожно малые части, но ни один из этих примеров не завершился выводом о предельности деления.

Надо рассказать об опытах Ленгмюра по растеканию некоторых органических жидкостей по поверхности других жидкостей. Растекающаяся жидкость может раздвигать легкие бумажки, набросанные на первую жидкость. Передвижение бумажек теоретически заканчивается тогда, когда заканчивается растекание, т. е. когда растекающаяся жидкость дошла в вертикальном направлении до предела делимости (до размера молекулы), образовав так называемый мономолекулярный слой.

Зная объем капли и измерив при помощи клетчатой бумаги площадь, занятую растекшейся жидкостью, можно примерно рассчитать толщину мономолекулярного слоя, т. е. вертикальный диаметр молекулы.

В качестве задачи на соображение можно предложить учащимся определить, какие надо измерить величины и какие произвести расчеты, чтобы узнать объем капли.

Дать исчерпывающее определение, что такое молекула, затруднительно. Нет единого определения молекулы, одинаково принятого во всех учебниках. Против каждого конкретного определения выдвигаются те или иные возражения.

Наиболее приемлемым представляется определение, данное в III томе физического словаря: «Молекула — минимальная частица вещества, способная к самостоятельному существованию при данных условиях температуры и давления и обладающая основными химическими свойствами, присущими данному веществу в большом количестве». Можно несколько упростить приведенное определение, не изменяя его смысла, именно: «Молекулой называется наименьшее количество вещества, способное к самостоятельному существованию и обладающее основными химическими свойствами, которые обнаруживает это вещество в больших количествах».

Недостатком этого определения является неопределенность содержания понятия об «основных» химических свойствах.

2. После доказательства существования предела делимости тела — молекулы — ставится вопрос о том, как же молекулы располагаются в теле — сплошь заполняя весь объем его, или они отделены друг от друга промежутками.

Путем анализа механического и теплового расширения и сжатия тел, испарения, распространения пахучего газа по всему объему комнаты и опыта с уменьшением объема при смешении спирта и воды преподаватель убеждает учащихся, что молекулы в каждом теле не сплошь заполняют весь объем тела.

При истолковании уменьшения объема при смешении воды и спирта нельзя давать простое механическое объяснение, что молекулы воды размещаются в промежутках между молекулами спирта, как дети размещаются в толпе между взрослыми.

Дело происходит сложнее и состоит в перегруппировке молекул воды в новые, более плотные группы.

3. Убедив учащихся в существовании промежутков между молекулами тела, надо поставить следующий вопрос: как же держатся в теле молекулы при наличии промежутков между ними?

Ставятся опыты: сцепление двух частей свинцового цилиндра, поверхности которых тщательно очищены; прилипание двух хорошо отшлифованных стеклянных пластинок или стальных плиток Иогансона; слипание кусков глины, воска, пластилина и т. п.; затрата усилия на разрыв слоев воды, один из которых прилип к стеклянной пластинке, приведенной в соприкосновение с поверхностью во-

ды; нависание на проводах или листьях капелек дождя; прилипание ртути к очищенной поверхности цинка.

Все эти опыты указывают на существование сил сцепления между молекулами твердых тел и жидкостей.

Но при наличии только сил притяжения между молекулами невозможно было бы существование промежутков между ними.

Наличие промежутков указывает на возникновение отталкивания между молекулами, когда расстояние между ними становится меньше определенного размера. На это указывает то усилие, которое приходится затрачивать при сжатии твердых и жидких тел.

При расстояниях, меньших предельного, взаимодействие сводится к отталкиванию, при больших — к сцеплению, но тоже до известного расстояния, дальше которого сила сцепления становится исчезающе малой.

На это указывает невозможность восстановления целостности разломанной вещи при простом сближении частей.

При некотором объеме тела силы притяжения и силы отталкивания в среднем равны между собой, тело находится в равновесном, ненапряженном состоянии. При изменении объема это равновесие нарушается. Силы отталкивания изменяются с расстоянием в большей степени, чем силы притяжения. Поэтому при сжатии силы отталкивания становятся больше сил притяжения и препятствуют сжатию.

При растяжении силы отталкивания уменьшаются быстрее сил притяжения, и последние препятствуют растяжению.

Надо также сообщить, что между молекулами газа также существует сцепление, величина которого ничтожно мала сравнительно со сцеплением в твердых и жидких телах.

4. После того как выяснено, какими силами удерживаются молекулы тела на определенных средних расстояниях, на втором уроке может быть поставлен вопрос, в каком состоянии находятся молекулы в телах. Легко осуществимые опыты с диффузией газов и жидкостей дают ответ на этот вопрос.

Надо рассказать об явлении диффузии в природе (в атмосфере) и об увеличении скорости диффузии при повышении температуры.

Непременно надо добиться, чтобы все учащиеся пронаблюдали броуновское движение. Следует предупредить учащихся, что видимые ими в микроскоп частицы вовсе не молекулы; наблюдаемые частицы значительно превосходят по своим размерам молекулы; их дрожание служит только индикатором, указателем толчков со стороны невидимых частиц, какими являются молекулы среды. Следует показать один из фильмов о броуновском движении.

Так проводится экспериментальное обоснование молекулярно-кинетической теории.

5. На третьем уроке на основании наблюдений свойств вещества в твердом, жидком и газовом состояниях и путем логических заключений составляется представление о движении молекул в твердом теле, жидкости и газе.

Постоянство форм и объема твердых тел заставляет принять, что молекулы в твердом теле колеблются около определенных средних положений.

Почти мгновенное заполнение любого пространства газом указывает на поступательное движение молекул.

Газовые молекулы в замкнутом пространстве движутся по ломаным путям, ударяясь и отражаясь от стенок и друг от друга.

Для характеристики движения газовых молекул преподаватель сообщает некоторые числовые данные, конечно, не для заучивания, а только для составления представления о совершенно особом мире этих частиц.

Движение молекул жидкости представляет нечто промежуточное между теми, разобранными выше, видами движения. Отдельные молекулы жидкости находятся в колебании около некоторых средних положений (отсюда сохранение объема жидкости), но эти средние положения или положения равновесия не остаются неизменными, а постепенно и сравнительно медленно перемещаются. Например, каждый атом жидкой ртути, поколебавшись некоторое время около определенного среднего положения, связанного с определенным средним положением соседних атомов, может затем перескочить в некоторое новое положение равновесия, расположенное по соседству на междоатомном расстоянии. Это передвижение сопровождается перераспределением окружающих атомов. (Отсюда большая текучесть жидкостей или легкая изменяемость форм.)

Необходимо отметить, что скорости отдельных молекул могут сильно отличаться друг от друга.

Выяснив на опытах основные черты строения тела, надо напомнить учащимся, что одним из ранних создателей учения о молекулярном строении вещества был Ломоносов¹.

76. Взаимосвязь физических величин: внутренней энергии, теплоты и работы.

1. П о н я т и е о в н у т р е н н е й э н е р г и и т е л а. На основании учения о строении тел из молекул, находящихся в движении, можно уточнить понятие о внутренней энергии тела.

Поступательные и вращательные движения молекул обуславливают кинетическую молекулярную энергию. Силы взаимодействия молекул — притяжение и отталкивание — обуславливают потенциальную молекулярную энергию.

Так как теперь известно, что и атомы, составляющие молекулы, в свою очередь состоят из частей, находящихся также в движении и во взаимосвязи, то существует внутриатомная энергия. Все эти виды энергии вместе с энергией упругих деформаций и химической входят в состав внутренней энергии тела, но не исчерпывают поня-

¹ М. В. Л о м о н о с о в, Физико-химические работы. «Классики естествознания», кн. VIII, ГИЗ, 1923, стр. 20—37.

тия о ней. В дальнейшем развитии курса учащиеся узнают, что существует еще составная часть внутренней энергии — энергия излучения. Впрочем, в составе внутренней энергии тела преобладающее значение имеют кинетическая и потенциальная энергия молекул, от которых зависят тепловые явления.

2. П о н я т и е о т е п л о т е. Понятие о теплоте возникает из ощущения большей или меньшей степени нагретости тел и из показаний измерительных приборов.

Повседневный опыт показывает, что тела более нагретые остывают, менее нагретые, находящиеся вокруг более нагретых, нагреваются.

Таким образом, происходит непрерывная теплопередача. Как же объясняется эта теплопередача на основе строения тел?

Молекулы нагретого тела в своем хаотическом движении сталкиваются с молекулами соприкасающихся тел, сообщают им часть своего количества движения. Вследствие этого уменьшается внутренняя энергия остывающего тела. В то же время увеличивается внутренняя энергия нагревающегося тела. Следовательно, теплопередача состоит в переносе энергии с одного тела на другое.

Итак, теплота — не что иное, как одна из форм передачи энергии от одного тела к другому.

Теплота является величиной, характеризующей процесс, при котором внутренняя энергия одного тела уменьшается, а другого — увеличивается **б е з п р о и з в о д с т в а р а б о т ы**.

Учащиеся должны усвоить, что существуют два способа изменения энергии тела (энергии полной, состоящей из внутренней и механической энергии): **с о в е р ш е н и е р а б о т ы и т е п л о п е р е д а ч а**.

На протяжении изучения всего курса физики преподаватель должен разъяснять учащимся, что теплота есть такая форма передачи энергии, которая представляет собой совокупность микрофизических процессов (обмен энергии при соударении молекул, излучение света и т. п.). Работа же есть макрофизическая форма передачи энергии¹ (механическое движение тела).

Следует отметить, что наш великий ученый М. В. Ломоносов почти на сто лет опередил западноевропейских ученых в правильном толковании тепловых явлений, о чем говорит следующий отрывок из его работы 1750 г. «Размышления о причине тепла и холода»²: «Доказано мной прежде всего, что элементарный огонь Аристотельской или по новых ученых штилю теплотворная особливая материя, которая, из тела в тело переходя и странствуя, скитается без всякой малейшей вероятной причины, есть один только вымысел: и купно утверждаю, что огонь и теплота состоят в коловратном движении частиц, а особливо самой материи, тела составляющих».

¹ К. А. П у т и л о в, Курс физики. Учебник для высших педагогических учебных заведений. изд. 2, Учпедгиз, М., 1936, стр. 286.

² Б. Н. М е н ш у т к и н. Труды М. В. Ломоносова по физике и химии, изд. АН СССР, М.—Л., 1936.

Надо подчеркнуть при этом, что скорость диффузии, т. е. скорость движения частиц, увеличивается с повышением температуры, и отсюда сделать вывод, что температура тела связана с кинетической энергией его молекул.

Попутно надо рассказать, против какой тепловой теории выступал Ломоносов в названной выше работе.

3. С о о т н о ш е н и е м е ж д у р а б о т о й и т е п л о т о й.

Так как работа и теплота — две формы изменения энергии тел, то, естественно, возникает вопрос, какое существует соотношение между ними. Предварительно приходится восстановить в памяти учащихся и дополнить сведения, сообщенные им в VII классе.

а) Бурное развитие учения о теплоте началось в середине XVIII в., когда выяснилась недостаточность обычных для того времени источников механической энергии.

Первоначально учение о теплоте развивалось независимо от изучения других физических явлений, почему и была выбрана особая единица для измерения количества теплоты — калория.

Согласно ОСТ 6259 калория — количество теплоты, которое требуется для нагревания 1 г воды на 1° от $19,5$ до $20,5^\circ$. Указание границ, в которых установлена калория, является дополнением к определению, данному в VII классе. Для объяснения необходимости указания границ сообщается о зависимости удельной теплоемкости от температуры.

Твердо должны быть выдержаны наименования единиц: калория (*кал*) и килокалория (*ккал*).

В настоящее время количеством теплоты называется количество внутренней энергии, передаваемое без совершения работы.

Дополнительно к понятию об удельной теплоемкости вещества вводится понятие о теплоемкости тела. Возможно повторение опытов, указывающих на различие теплоемкостей тел при прочих одинаковых условиях.

б) М е х а н и ч е с к и й э к в и в а л е н т т е п л о т ы. При разборе этой темы путем беседы, обсуждения наблюдений и демонстраций выявляется возможность перехода работы в теплоту и теплоты в работу.

Далее, естественно, возникает вопрос о соотношении между двумя формами передачи энергии — работой и теплотой.

Ответ на этот вопрос дали опыты Джоуля, установившего эквивалентность теплоты и работы.

При описании известного опыта Джоуля надо обратить внимание учащихся на то, что жидкость в калориметре нагревается вследствие трения слоев жидкости друг о друга, а не вследствие трения жидкости о лопасти мешалки, как часто они склонны думать.

Данные многочисленных опытов позволяют установить, что калория эквивалентна 4,2 джоуля.

в) З а к о н п р е в р а щ е н и я и с о х р а н е н и я э н е р г и и. Из разбора всех наблюдений, опытов, разобранных примеров и установленной эквивалентности теплоты и работы можно заклю-

чить о распространении закона превращения и сохранения энергии на явления механические и тепловые.

Важность законов сохранения отчетливо понимал уже М. В. Ломоносов¹.

В письме к члену Петербургской Академии Эйлеру он писал: «Все перемены в натуре случающиеся такого суть состояния, что сколько у одного тела отнимется, столько присовокупится к другому. Так, ежели где убудет несколько материи, то умножится в другом месте; сколько часов положит кто на бдение, столько же сну отнимет. Сей всеобщий закон простирается и в самые правила движения: ибо тело, движущее своею силою другое, столько же оныя у себя теряет, сколько сообщает другому, которое от него движение получает».

Из общего закона сохранения им был выведен закон сохранения вещества в химических реакциях. В работах Ломоносова содержатся идеи, созвучные с законом сохранения энергии. Окончательное формулирование закона сохранения энергии связано с именами Р. Майера и Г. Гельмгольца.

г) В заключение этой части темы надо поставить лабораторную работу, на которой учащиеся могут познакомиться с прибором и с измерением удельной теплоемкости вещества по способу смешения, вычисляя ее на основании закона сохранения энергии.

4. К а л о р и м е т р и ч е с к и е у р а в н е н и я. На протяжении этой и последующих тем производится обучение учащихся составлению и решению калориметрических уравнений, или уравнений теплового баланса.

Основой составления таких уравнений служит закон сохранения энергии для тепловых явлений: количество теплоты, отданное одними телами, равно количеству теплоты, полученному другими телами. Для составления уравнения надо учесть количество всей отданной теплоты, количество всей полученной теплоты и приравнять оба эти количества.

Глава XIV.

СВОЙСТВА ГАЗОВ.

77. Общие замечания по разделу и планирование темы.

Основным методом изложения материала является экспериментальное (демонстрационное и лабораторное) обоснование газовых законов с качественным объяснением их на основе молекулярно-кинетической теории.

Распределение материала по урокам может быть примерно следующим:

¹ С. И. Вавилов, президент АН СССР, Закон Ломоносова. Газета «Правда», 5 января 1949 г.

«Люди русской науки», ОГИЗ, 1948, т. I, стр. 78—79.

- 1-й урок. Объяснение давления газа на основе молекулярно-кинетической теории. Зависимость давления от температуры. Закон Шарля. График закона Шарля.
- 2-й урок. Дополнения и упражнения по закону Шарля.
- 3-й урок. Изменение температуры газа при изменении давления. Адиабатный и изометрический процессы.
- 4-й урок. Лабораторная работа: зависимость между объемом и давлением для данной массы газа.
- 5-й урок. Упражнения на закон Бойля—Мариотта.
- 6-й урок. Изменение объема газа с изменением температуры (закон Гей-Люссака). Лабораторная работа.
- 7-й урок. Абсолютная температура.
- 8-й урок. Уравнение газового состояния.
- 9—10-й уроки. Упражнения и применение газовых законов в технике.

78. Давление газа.

1. Объяснение давления газа на основе молекулярно-кинетической теории. Перед тем как перейти к объяснению причин давления газа, преподаватель вкратце напоминает учащимся (или они сами на его вопрос вспоминают) факты, свидетельствующие о существовании давления газа.

Затем производится подробное и обстоятельное описание движения газовых молекул в замкнутом сосуде и их ударов о стенки сосуда.

Делается вывод, что давление газа на соприкасающиеся с ним тела зависит: а) от числа молекул в единице объема и б) от скорости движения молекул.

Число молекул газа в единице объема зависит от степени сжатия газа. Нагнетая в автомобильную шину больше воздуха, т. е. увеличивая количество молекул в единице объема, мы тем самым увеличиваем давление. Увеличения давления можно добиться также путем уменьшения его объема. Скорость движения молекул зависит от температуры. Поэтому дальнейшая часть урока посвящается разбору зависимости давления газа от одной из перечисленных выше причин, а именно от температуры.

2. Зависимость давления газа от температуры (закон Шарля). Переходя к разбору этой зависимости, преподаватель отмечает, что исследование явления производится при постоянном объеме газа. В этом постоянном объеме давление и температура газа в любой момент времени одинаковы во всех частях объема, но меняются от опыта к опыту. Общеизвестная постановка опыта здесь не описывается. Затем дается понятие о термическом коэффициенте давления и его одинаковости для всех газов ($1/273 \text{ град}^{-1}$). Выводится формула зависимости давления от температуры: $p = p_0(1 + \alpha t)$; приводится график закона Шарля и дается объяснение закона Шарля на основе молекулярно-кинетической тео-

рии: повышение температуры обусловливается увеличением кинетической энергии газовых молекул; увеличение энергии в постоянном объеме свидетельствует об увеличении средней скорости беспорядочного движения молекул, что влечет за собой увеличение числа ударов молекул о стенки, следовательно, и повышение давления.

На разбор последних вопросов на первом уроке может не хватить времени. Тогда этими сведениями дополняется опрос учащихся на втором уроке.

3. Изменение температуры газа при изменении его давления. После того как на втором уроке закон Шарля будет дополнен и закреплен на упражнениях, естественно поставить вопрос: существует ли обратная зависимость, т. е. происходит ли изменение температуры при изменении давления? Разбор этого вопроса будет темой третьего урока. Вопрос решается экспериментально.

1-й опыт преподаватель проводит с так называемым «воздушным огнем». При быстром сжатии смеси пара эфира и воздуха температура смеси резко повышается, происходит взрыв. При сжатии газа внешней силой производится работа, в результате которой внутренняя энергия газа увеличивается, что и обнаруживается в повышении температуры. Явление представляет собой наглядный пример превращения и сохранения энергии.

2-й опыт. Нагнетают в большую бутылку воздух и оставляют остыть до комнатной температуры. Затем открывают кран и предоставляют воздуху расшириться: термометр, помещенный в струе выходящего воздуха, показывает температуру ниже комнатной.

Вариант 2-го опыта. Выкачивают воздух из-под колокола воздушного насоса и затем впускают в него некоторое количество воздуха. В первый момент под колоколом появляется туман. Туман указывает на конденсацию паров в воздухе, что происходит при понижении температуры. Следовательно, когда газ расширяется и совершает при этом работу по перемещению частиц, он охлаждается. Его внутренняя энергия убывает.

Дается объяснение явления на основе молекулярно-кинетической теории. Когда поршень надвигается на молекулу, то при отражении от него скорость и кинетическая энергия молекулы больше, чем до удара; последняя увеличивается за счет энергии поршня. Вследствие этого температура и внутренняя энергия газа возрастают.

При отскакивании от удаляющегося поршня скорость и кинетическая энергия молекул меньше, чем до удара, так как они совершают работу по отталкиванию поршня.

Расширение газа, вызывающее отодвигание слоев окружающего газа, сопровождается совершением работы, понижением температуры и уменьшением внутренней энергии.

4. Адиабатный и изотермический процессы. Разбор предыдущего вопроса заканчивается указанием на то, что быстрое изменение давления и, следовательно, объема га-

за, сопровождаемое изменением температуры, получило название **а д и а б а т н о г о** процесса. Такое название процессу дано в связи с тем, что резкое изменение объема и температуры тела происходит при отсутствии теплообмена между подвергающимся расширению или сжатию телом и окружающей средой (процесс заканчивается значительно скорее, чем тело успеет поглотить или отдать заметное количество теплоты). Обязательным условием адиабатного процесса является **т е п л о и з о л я ц и я** подвергающегося изменению тела.

Возможен процесс, когда изменение состояния газа происходит так, что при сжатии и нагревании тела теплота немедленно и непрерывно передается окружающей среде, а при расширении и охлаждении тела к нему поступает тотчас же теплота из окружающей среды. Если такой процесс идет при постоянной температуре, то он называется **и з о т е р м и ч е с к и м**. Можно найти закон изменения объема газа, при котором температура остается постоянной.

79. Зависимость между объемом и давлением данной массы газа при постоянной температуре (закон Бойля—Мариотта).

На предыдущих уроках при изменении давления газа (или давления на газ, что по величине при равновесном состоянии является одинаковым) одновременно менялся и объем газа. Но при этом не обращалось внимания на то, как связаны между собой два эти изменения, так как цель изучения заключалась в выяснении зависимости между давлением и температурой.

Настоящий урок следует посвятить нахождению зависимости между объемом и давлением взятой массы газа в изотермическом процессе. Этот процесс выбирается для того, чтобы исключить влияние изменения температуры.

Я считаю очень целесообразным провести это исследование в виде самостоятельной лабораторной работы учащихся (с трубкой Мельде). В конце лабораторной работы учащиеся из анализа многочисленных числовых данных выводят словесную формулировку закона Бойля—Мариотта. Если не может быть поставлена фронтальная лабораторная работа, то на этом уроке преподаватель проводит демонстрацию явления и анализ его.

Затем дается формула закона $p_1V_1=p_2V_2$; строится график изотермического процесса и проводятся упражнения — расчеты на закон Бойля—Мариотта.

Необходимо отметить, что закон Бойля—Мариотта выполняется с высокой степенью точности только для разреженных газов. Для газов же сильно сжатых или охлажденных обнаруживаются отступления от этого закона. Надо рассказать, в чем заключаются эти отступления.

Как самый закон, так и отступления от него должны быть объяснены на основании молекулярно-кинетической теории. (Причины отступления от закона были объяснены еще М. В. Ломоносовым на

основе молекулярных представлений.) Таким образом, закон Бойля—Мариотта может служить экспериментальным подтверждением молекулярно-кинетической теории.

80. Зависимость между объемом и температурой данной массы газа при постоянном давлении (закон Гей-Люссака).

Повторив путем опроса учащихся зависимости между объемом и давлением газа при постоянной температуре и между давлением и температурой при постоянном объеме, преподаватель обращает внимание учащихся на то, что осталась не изученной зависимость между объемом и температурой газа при постоянном давлении. Между тем самые простые качественные опыты (расширение газа в колбе от нагревания рукой) указывают на существование такой зависимости.

Урок по данной теме лучше провести эвристическим методом, поставив фронтальную лабораторную работу.

При невозможности поставить лабораторную работу описание опыта и результаты его рассказываются преподавателем.

В результате самостоятельной работы или рассказа преподавателя учащиеся выводят закон Гей-Люссака, найденный им в 1802 году, усваивают понятие о коэффициенте объемного расширения газа, отмечают его совпадение с термическим коэффициентом давления, выводят формулу для объема $V = V_0(1 + \beta t)$ и вычерчивают график зависимости изменения объема от температуры.

От преподавателя они узнают, что закон Гей-Люссака (и, следовательно, выражающая его формула) не имеет места для газа сильно сжатого или настолько охлажденного, что он приближается к состоянию сжижения.

81. Абсолютная температура.

Повторив формулы, выражающие зависимость объема и давления газа от температуры, преподаватель обращает внимание учащихся на то, что ни объем, ни давление не являются пропорциональными температуре газа, отмеряемой по стоградусной шкале (Цельсия), и что расчеты по этим формулам являются довольно громоздкими.

Причиной этого является то обстоятельство, что стоградусная шкала установлена условно, без связи с газовыми законами. Формулы и расчеты, связанные с газовыми законами, можно упростить, если ввести новую шкалу температур. Как же это сделать? Принимая во внимание, что $p_1 = p_0 \frac{273+t_1}{273}$, $p_2 = p_0 \frac{273+t_2}{273}$, откуда $\frac{p_1}{p_2} = \frac{273+t_1}{273+t_2}$; и что подобным же образом $\frac{V_1}{V_2} = \frac{273+t_1}{273+t_2}$, можно видеть, что числа $273+t_1$, $273+t_2$, $273+t_3$ и т. д. можно принять за температуры T_1 , T_2 , T_3 , отсчитываемые от нового нуля, лежащего

на 273 градуса ниже нуля стоградусной шкалы, причем величина градуса сохраняется.

Ноль в новой шкале получил название **абсолютного нуля**, а самая шкала — название шкалы **абсолютных температур**.

Название предложено крупным английским физиком В. Томсоном (Кельвиным), доказавшим, что ни одно тело не может быть охлаждено ниже этой температуры. В честь него шкала абсолютных температур называется также шкалой Кельвина, и абсолютная температура обозначается буквами $T_{абс}$ или T_k .

В дальнейшей части урока учащиеся практикуются в переводе значений температуры из одной шкалы в другую и обратно по формулам: $T = 273 + t$ и $t = T - 273$.

Затем они преобразовывают формулы объема и давления в формулы: $p = p_0 \frac{T}{T_0}$ и $V = V_0 \frac{T}{T_0}$ и производят расчеты по этим формулам.

82. Уравнение газового состояния

При дальнейшем анализе газовых законов подчеркивается, что каждый из них выведен при несколько искусственных условиях, а именно из трех характеристик газа — объема, давления и температуры — каждый раз одна принималась за неизменную. Между тем в природе и в технике в большинстве случаев происходит изменение всех трех величин. Так, при подъеме вверх нагретого у земли слоя воздуха одновременно изменяются его объем, давление и температура. При вспышке смеси в цилиндре двигателя внутреннего сгорания также происходит одновременное изменение всех трех величин.

Поэтому возникает необходимость установить связь всех трех изменяющихся величин, т. е. непосредственно связать величины начального состояния газа: V_0 , p_0 , T_0 , с величинами конечного состояния: V , p , T .

Это соотношение можно вывести теоретически путем следующего рассуждения.

Предлагается учащимся записать начальные и конечные данные в таблицу, оставив между ними свободную строку.

Так как до сих пор были изучены только парные соотношения, то надо свести это искомое соотношение трех величин к двум соотношениям по парам. С этой целью предлагается ввести воображаемое промежуточное состояние, такое, которое получается из начального при изменении объема от V_0 до V и давления от p_0 до $p_{\text{пром}}$ при сохранении температуры T_0 . Затем газ приводится к окончательному состоянию путем изменения температуры от T_0 до T и давления от $p_{\text{пром}}$ до p при сохранении объема V .

Эти промежуточные данные вписываются между двумя предыдущими строками:

Начальное состояние:	V_0, p_0, T_0	] $\left. \begin{array}{l} \frac{p_{\text{пром}}}{p_0} = \frac{V_0}{V} \text{ (закон Бойля—} \\ \text{Мариотта)} \\ \frac{p}{p_{\text{пром}}} = \frac{T}{T_0} \text{ (закон Шарля)} \end{array} \right\}$
Промежуточное »	$: V, p_{\text{пром}}, T_0$	
Конечное »	$: V, p, T$	

Теперь учащиеся отмечают, что между величинами первой и второй строки существует на основании закона Бойля—Мариотта соотношение: $\frac{p_{\text{пром}}}{p_0} = \frac{V_0}{V}$, которое и записывается справа от таблицы.

Обращаясь к величинам второй и третьей строк, они на основании закона Шарля записывают соотношение: $\frac{p}{p_{\text{пром}}} = \frac{T}{T_0}$. Перемножая почленно отношения и произведя сокращения, они получают: $\frac{p}{p_0} = \frac{V_0 T}{V T_0}$, или $\frac{pV}{T} = \frac{p_0 V_0}{T_0}$, т. е. $\frac{pV}{T} = \text{пост.}$ Последнее выражение и представляет собой объединенный закон газового состояния или уравнение состояния газа. Объединенный газовый закон справедлив в тех же пределах давлений и температур, в каких справедливы отдельные газовые законы.

Воображаемый газ, для которого в широких пределах применимы газовые законы, получил название идеального газа.

Урок заканчивается упражнениями на объединенный газовый закон.

83. Применение газовых законов в технике.

Продолжая обучение учащихся решению задач с использованием объединенного газового закона, преподаватель знакомит учащихся с использованием газовых законов в технике.

Программа указывает только на один технический прибор — компрессор. Можно рассказать о других применениях сжатых и расширяющихся газов — в воздушных тормозах, в приспособлениях для открывания и закрывания дверей в вагонах, в воздушном зубиле, в пневматической почте, в отсасывании заводских отбросов и т. д. Часть этих вопросов полезно разобрать на кружковых занятиях, присоединив к ним и доклад об определении скоростей молекул по способу Штерна.

Глава XV.

СВОЙСТВА ЖИДКОСТИ

84. Основное содержание раздела

Из 6 уроков, рекомендуемых программой на изучение этого раздела, один уделяется лабораторной работе; остальные пять отводятся на изложение следующих основных тем раздела: поверхностная энергия и поверхностное натяжение; смачивание и несмачива-

ние и, как следствие, форма поверхности жидкости при соприкосновении с твердым телом или газом; адсорбция; капиллярность; проявление свойств жидкости в природе и использование их в технике.

Несоответствие числа уроков, рекомендуемых на изучение раздела, его содержанию заставляет ограничиться небольшим объемом сведений по каждой отдельной теме.

85. Поверхностная энергия и поверхностное натяжение

Задав учащимся к первому уроку этой темы припомнить изученные ими ранее свойства жидкого состояния и повторив их в начале урока, преподаватель приступает к объяснению самого трудного для понимания учащихся во всем разделе вопроса о поверхностных свойствах жидкости (поверхностная энергия, поверхностное натяжение).

Сначала теоретически доказывается, что притяжения молекулы, находящейся внутри жидкости, другими окружающими ее со всех сторон молекулами взаимно уравниваются; но для молекул, находящихся у поверхности (в пределах слоя толщиной в радиус молекулярного действия), сложение всех сил, действующих на них со стороны других молекул, дает равнодействующую, направленную в н у т р ь жидкости.

Далее преподаватель останавливает внимание учащихся на том, что попадание молекул жидкости в поверхностный слой связано с преодолением этой равнодействующей, подобно тому как поднятие любого тела вверх связано с преодолением силы тяжести.

Подобно тому как поднятое вверх тело обладает избытком потенциальной энергии над ниже лежащими телами, так и весь поверхностный слой имеет избыточную потенциальную энергию, сравнительно с другими частями жидкости.

Всякое тело, ничем не сдерживаемое, перемещается в поле земного притяжения в такое положение, в котором его потенциальная энергия достигает наименьшей возможной величины; такое же стремление в поле притяжения других молекул имеют и молекулы поверхностного слоя.

Но так как все молекулы этого слоя не могут переместиться, в противоположность поднятому и падающему камню, внутрь жидкости, в объем, занятый другими молекулами, то взаимодействие молекул приводит к тому, что частицы жидкости перемещаются так, чтобы поверхностный слой уменьшался.

Действующая при этом сила, отнесенная к единице длины границы поверхности и направленная по поверхности, называется п о в е р х н о с т н ы м н а т я ж е н и е м.

Следует подробно продемонстрировать явление поверхностного натяжения. Порядок опытов может быть следующий.

Мыльную пленку образуют на прямоугольном проволочном каркасе с одной подвижной стороной; под действием пленки подвижная

сторона перемещается, поверхность пленки при этом сокращается. Этот опыт позволит установить связь между поверхностным натяжением и работой при изменении величины поверхности.

Кроме такого каркаса, можно показать прямоугольник с двумя нитяными сторонами сначала в воздухе, а потом с образованной между сторонами мыльной пленкой; нитяные стороны прогибаются внутрь.

Далее показывают прогиб мыльной пленки под давлением пальца, уменьшение поверхности мыльного пузыря, не оторванного от воронки, слияние капель ртути на стекле, капель масла или анилина в опыте Плато и ряд опытов с изменением поверхностного натяжения при растворении различных веществ в жидкости (камферы, мыла, сахара) и от соприкосновения данной жидкости с другими веществами. Надо показать уменьшение поверхностного натяжения при повышении температуры: жидкая пленка лопается при прикосновении к ней нагретой спицы.

86. Смачивание и несмачивание

Урок по теме «Смачивание и несмачивание жидкостью соприкасающихся с нею тел» начинается с повторения опытов по изучению сцепления между слоями жидкости (гл. XIII, § 75, 3).

Дается их объяснение на основании сравнительной величины молекулярных взаимодействий между молекулами самой жидкости и между молекулами жидкости и твердого тела. Вводятся термины: жидкость, смачивающая данное твердое тело (вода, спирт — стекло, ртуть — цинк); жидкость, не смачивающая данное твердое тело (ртуть — стекло; вода — жиры).

87. Форма поверхности жидкости у твердых стенок сосуда

После разбора явления смачивания и несмачивания выводится следствие из него. Демонстрируется вогнутая поверхность жидкости, смачивающей твердое вещество сосуда (вода в стеклянном сосуде) и выпуклая поверхность жидкости, не смачивающей твердое вещество сосуда (ртуть в стеклянном сосуде или вода в стеклянном сосуде, покрытом слоем парафина).

Объяснение явлений дается на основе молекулярной теории.

88. Адсорбция газов

Вторая часть урока или начало следующего посвящается изучению адсорбции газов твердыми телами.

Учащимся объясняется, что подобно тому как молекулы жидкости прилипают к смачиваемому ими твердому телу и надолго удерживаются на нем, точно так же и молекулы газа прилипают под действием молекулярных сил к твердому телу, соприкасающемуся с газом.

Явление это получило название **а д с о р б ц и и**.

Количество адсорбированного газа зависит от величины адсорбирующей поверхности, от качества поверхности, структуры твердого тела и от природы газа. Адсорбирующая поверхность особенно велика у пористых веществ, т. е. веществ, пронизанных множеством мелких каналов. Одним из таких тел является активированный уголь, т. е. уголь, освобожденный от смолистых примесей прокаливанием.

Для демонстрации адсорбции рекомендуется опыт, описанный в «Элементарном учебнике физики» (ч. I, 1956 г., стр. 415).

При разборе адсорбции надо отметить широкое использование ее в технике: для улавливания ценных газообразных веществ, получающихся при химических производствах; для извлечения вредных газов из организмов при отравлениях; для ускорения химических реакций между газами. В особенности важно использование адсорбции газов в противогазах, предложенное известным химиком, академиком Н. Д. Зелинским.

89. Влияние кривизны поверхности жидкости на давление в ней

Перед переходом к последней теме — капиллярности — надо разобрать влияние кривизны поверхности на давление жидкости. Кривые поверхности у жидкости встречаются очень часто. Учащиеся приводят пример: капли росы, любые нависшие капли жидкости, поверхность воды на намокших волосах; жидкость, облегающая пузырек газа внутри нее и т. п.

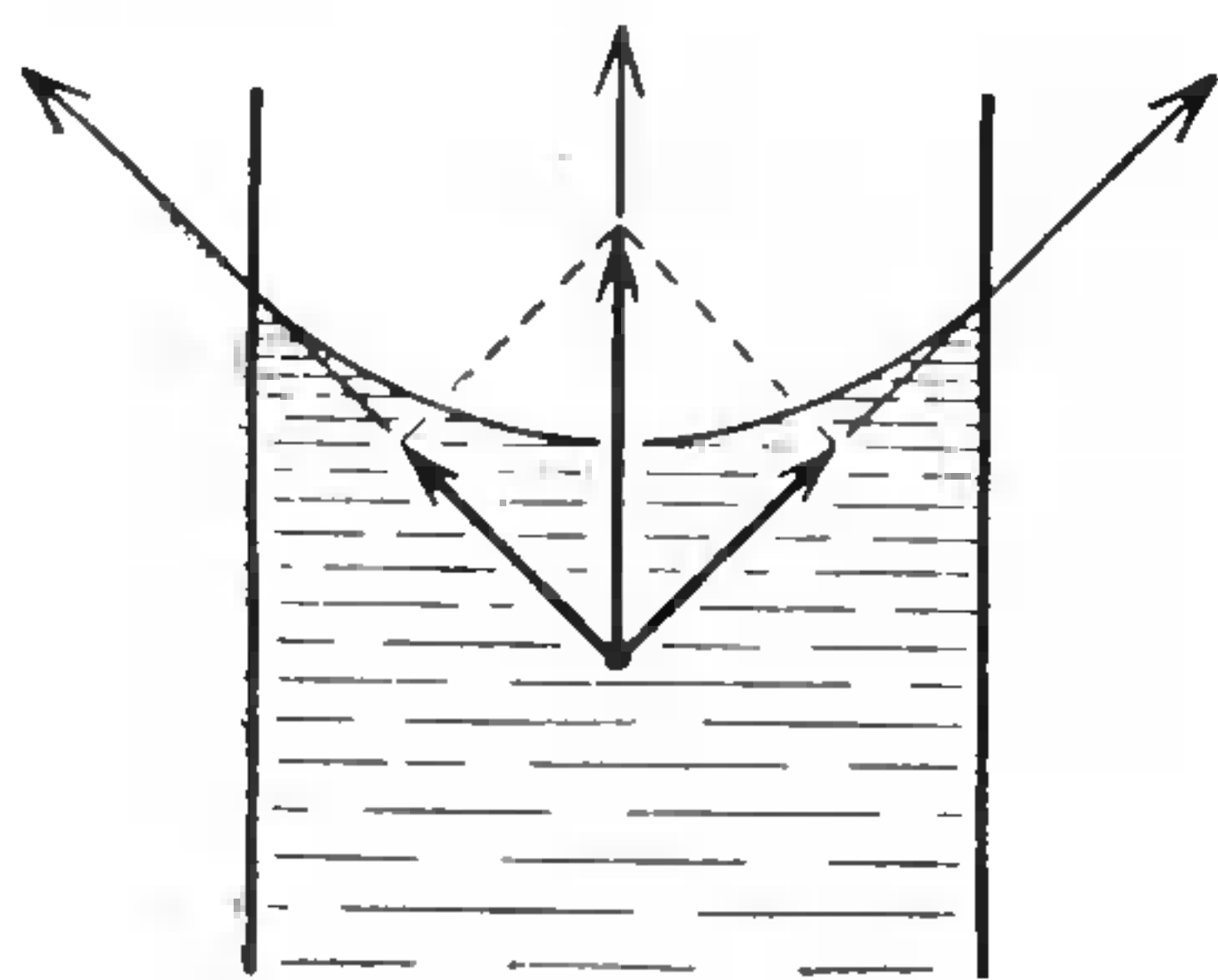


Рис. 61

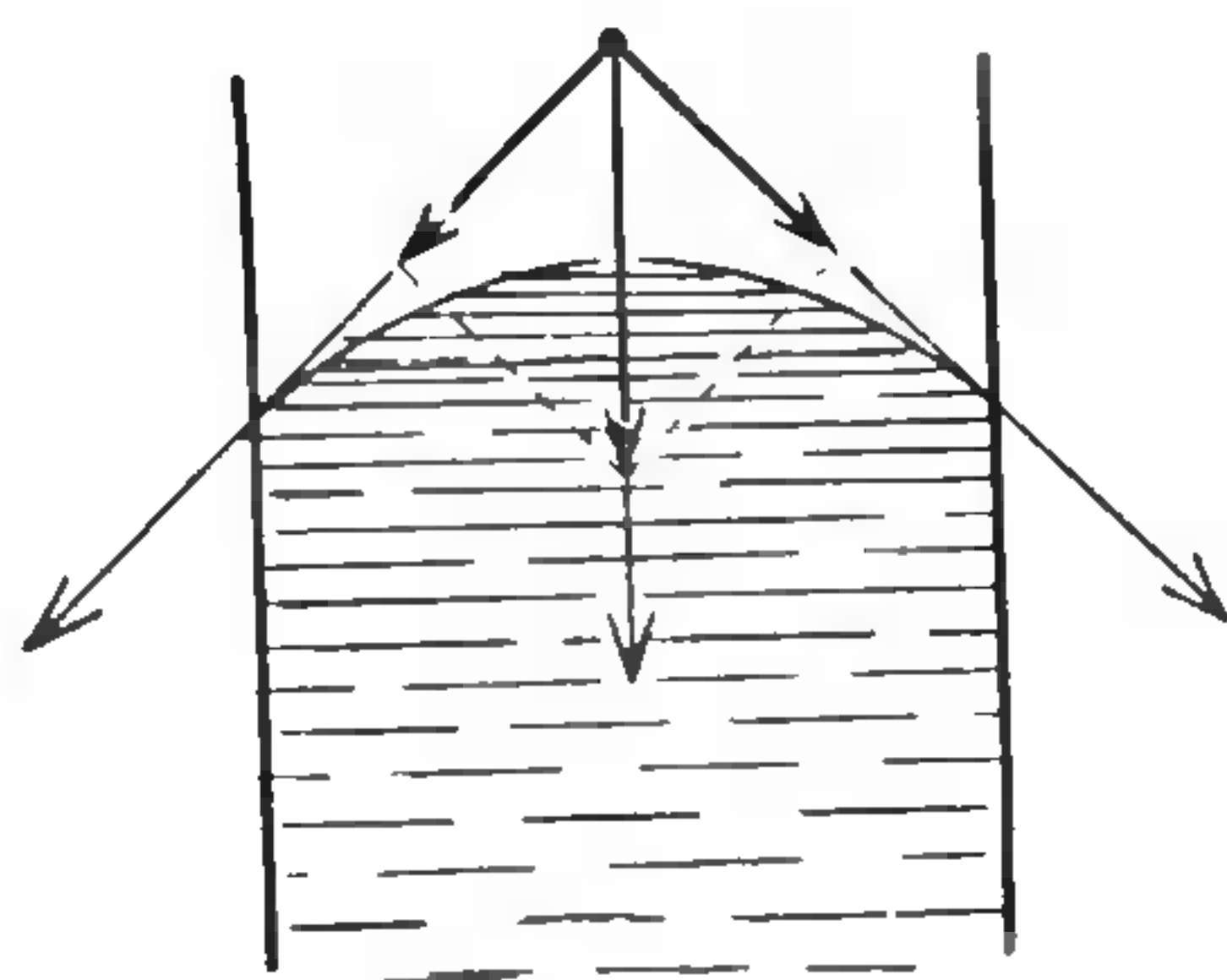


Рис. 62

Поверхностное натяжение во всех случаях направлено по касательной к поверхности. Но равнодействующая поверхностных натяжений в одной точке кривой поверхности будут иметь различные направления в случае смачивания и в случае несмачивания.

На чертеже (рис. 61) показывается, что в случае смачивания равнодействующая направлена в н е жидкости, внутрь газа, соприкасающегося с жидкостью; поэтому давление жидкости, огра-

ниченной вогнутой поверхностью, м е н ь ш е давления окружающего газа.

Чертеж (рис. 62) показывает, что в случае несмачивания равнодействующая направлена в н у т р ь выпуклой поверхности жидкости; поэтому давление жидкости, ограниченной выпуклой поверхностью, б о л ь ш е давления окружающего газа.

Это изменение давления при изменении формы поверхности можно показать (в проекции) в стеклянных сообщающихся сосудах, из которых один ниже и значительно уже другого.

При постепенном подливании подкрашенной воды в широкий сосуд уровень (вогнутый) в узкой трубке выше, чем в широкой. При дальнейшем подливании воды в широкий сосуд уровень воды в узкой трубке постепенно приближается к краю ее и вогнутость уменьшается. Затем поверхность воды в узкой трубке становится плоской, и уровни воды в обеих трубках устанавливаются на одной горизонтали. При дальнейшем подливании воды в широкий сосуд поверхность воды в узком становится выпуклой, жидкость под ней становится более сжатой, испытывающей добавочное давление, уравнивающее гидростатическое давление столба жидкости в широком сосуде, приподнятом над уровнем ее в узком.

90. Капиллярность

Продолжая разбор явлений, связанных со смачиванием и несмачиванием, преподаватель сообщает учащимся, что это различие свойств влияет на положение уровня жидкости в узких трубках.

Узкие трубки, в которых уровень жидкости не имеет плоской части, называются к а п и л л я р н ы м и. Кривая поверхность жидкости называется м е н и с к о м.

Надо отметить, что многие природные и искусственные вещества содержат внутри себя каналы, представляющие собой капиллярные трубки. Таковы: бумага, ткани, кожа, некоторые строительные материалы, почва, сосуды растений и животных. Преподаватель демонстрирует капиллярные трубки различных диаметров, поднятие смачивающей жидкости и опускание несмачивающей на разные расстояния в зависимости от диаметра.

Явление объясняется на основе молекулярных представлений, затем формулируется закон Жюрена.

91. Использование свойств жидкостей в быту и технике

О проявлении свойств жидкостей в быту и технике и об использовании этих свойств следует рассказать в соответствующих местах темы и обобщить материал в конце ее.

Желательно познакомить учащихся с выделением металла из руды посредством флотации.

СВОЙСТВА ТВЕРДОГО ТЕЛА

92. Содержание и планирование раздела

Раздел программы состоит из трех крупных тем с рядом подтем: кристаллические и аморфные тела; виды упругих деформаций; тепловые и механические свойства тел в зависимости от их структуры.

Уже краткое перечисление основных тем указывает на большое значение этого раздела физики для понимания самых разнообразных технических процессов в металлургии, строительстве, обработке металлов. Таким образом, освоение этого материала имеет большое политехническое значение.

Учебный материал можно распределить по урокам примерно следующим образом:

1-й урок. Кристаллические и аморфные тела.

2-й урок. Внутреннее строение твердых тел. Пространственная решетка.

3—6-й уроки. Виды упругих деформаций. Закон Гука. Упражнения.

7—10-й уроки. Тепловое расширение твердых тел. Механические свойства их в зависимости от структуры и термической обработки.

93. Строение твердого тела

1. Кристаллические и аморфные тела. Ознакомление учащихся со свойствами кристаллического и аморфного состояния тел целесообразно вести одновременно, сопоставляя и противопоставляя их друг другу.

Изложение нового материала, посвященного теме урока, начинается с противопоставления твердого состояния изученному ранее жидкому состоянию вещества: в то время как в жидкостях изменения формы не сопровождаются возникновением упругих сил, в твердых телах даже при небольших изменениях объема (сжатие и растяжение) или формы (сдвиг) возникают значительные упругие силы.

Далее сообщается, что твердыми обычно считают тела кристаллические и аморфные. Можно привести здесь и третью разновидность твердых тел — полимеры, т. е. тела, молекулы которых состоят из многих тысяч атомов, что обуславливает их особые свойства.

Затем устанавливается, что называется кристаллическим твердым телом.

Кристалл характеризуется как своеобразной огранкой, свойственной кристаллам данного вещества, так и различием свойств —

механических, тепловых, электрических и световых — по разным направлениям внутри кристалла.

В этом месте курса придется ограничиться показом только механических и тепловых особенностей кристаллического строения вещества.

Сначала показываются образцы разлома кристаллического тела (например, слюды) по определенным плоскостям и его разлом сопоставляется с разломом раковистым, характерным для аморфного тела, например вара, сургуча, столярного клея, толстого куска стекла.

Неодинаковая теплопроводность кристалла в разных направлениях показывается на кристаллической¹ пластинке, покрытой тонким слоем воска.

К какой-либо точке поверхности кристалла прикасаются раскаленной проволокой: площадь растаявшего воска ограничена эллипсом. Этот опыт с аморфным телом, например со стеклом, дает круг.

Надо противопоставить плавление кристаллического и аморфного тел.

Из курса VII класса учащиеся знают о существовании определенной точки плавления кристаллического тела. На плавлении любого аморфного тела показывается существование не точки, а «интервала размягчения».

В особенности надо остановиться на опытах, сближающих аморфные тела с жидкими (о чем говорится также в разделе изменения агрегатного состояния). Одним из таких опытов может быть опыт с вытеканием из воронки вара, набросанного в нее в виде отдельных кусков.

Вторым подходящим для этой цели опытом может быть всплытие со дна стакана пробки из-под набросанных на нее сверху кусков вара и погружение через них кусков свинца. Далее можно показать прогиб с течением времени палочки сургуча или стеклянной трубки, положенных своими концами на подставки.

О различии теплового расширения, электрических и оптических свойств кристаллов в зависимости от направления в этом месте курса только сообщается без дальнейшего объяснения.

Далее вводится понятие о поликристаллах и сообщается, что в них не наблюдается различия в свойствах по разным направлениям потому, что по любому направлению внутри тела встречается множество кристалликов, повернутых самым различным образом.

Совокупность опытов и примеров должна привести учащихся к убеждению, что аморфное состояние есть состояние переохлажденной жидкости и что истинно твердым состоянием является лишь состояние кристаллическое.

В заключение сообщается, что большинство природных тел — все металлы, минералы, растительные волокна, белковые вещества — состоит из кристаллов.

¹ Кристалла, не принадлежащего к кубической системе.

Аморфные тела: смолы, канифоль, стекло, пластмассы, сахарный леденец и др.

2. П р о с т р а н с т в е н н а я р е ш е т к а. Для объяснения своеобразия формы кристаллов дается описание пространственной решетки. Следует иметь набор моделей или диапозитивов, или таблиц различных видов решеток и, в частности, решеток различных разновидностей одного и того же вещества, чтобы, исходя из формы решетки, дать понятие о различных механических свойствах форм данного вещества.

Сопоставляя в этом отношении аморфное и кристаллическое состояния, надо отметить, что в первом расположении молекул в среднем лишено какой-либо правильности. Различие между аморфным телом с его произвольным расположением молекул и кристаллом с его правильным расположением атомов (или ионов) можно сравнить с различием расположения людей в толпе и в определенных физкультурных группах.

Надо позаботиться, чтобы учащиеся не смешивали изотропное тело с аморфным, и сообщить, что изотропным может быть и кристаллическое тело, если оно представляет собой хаотическое наложение мелких кристаллов.

94. Деформация твердого тела

Вторая задача, с которой сталкивается преподаватель в этом разделе, заключается в общей характеристике деформаций, испытываемых твердыми телами при их взаимодействиях, в классификации тел по отношению к деформациям и в изучении закона упругих деформаций.

Изложение темы может быть распределено на 4 (или 5) уроков в зависимости от количества демонстраций, которые поставит преподаватель.

1. У п р у г и е и п л а с т и ч н ы е д е ф о р м а ц и и. Повторив в начале изложения темы известное учащимся определение деформации, преподаватель отмечает, что существуют два вида деформации: упругая и пластичная, и демонстрирует каждую из них.

2. П р е д е л у п р у г о с т и. Увеличивая деформацию упругого вещества, можно довести ее до такой величины, при которой произойдет переход от упругой деформации к пластичной. Величина напряжения, вызывающего такую деформацию, получила название предела упругости.

Вводится обобщение: у упругих веществ предел упругости велик; у пластичных — мал.

3. З а к о н Г у к а. В отличие от программы, которая относит проверку закона Гука в практикум, можно считать более целесообразным его изучение эвристическим методом на фронтальной лабораторной работе. Такая работа будет содействовать повышению самостоятельности в работе учащихся, развитию их мышления и приобретению навыков в пользовании приборами (политехнических навыков).

При анализе результатов опыта надо дать понятие о напряжении и предложить учащимся вычертить график зависимости относительной деформации от напряжения.

Формулу закона Гука следует дать в виде: $p = E\varepsilon$ и остановить внимание учащихся на том, что модуль Юнга есть число именованное и привести его наименование. Учащиеся очень часто делают ошибки, считая модуль упругости отвлеченным числом. На уроках проводятся упражнения — расчеты на закон Гука.

4. В и д ы д е ф о р м а ц и й. На последующих уроках разбираются подробно отдельные виды деформаций: растяжение, сжатие, сдвиг, кручение, изгиб.

Отмечается, что вид деформации зависит от направления вызывающих деформацию сил (Пер. II, § 102).

При изложении этой темы подчеркивается, что любую деформацию можно свести к двум наиболее простым: растяжению (или сжатию) и сдвигу.

В этой же теме устанавливаются понятия о пределе прочности, о разрушающей нагрузке и о запасе прочности.

Заканчивается изложение темы сообщением о твердости материалов.

Занятие по теме сопровождается упражнениями.

ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ УЧАЩИХСЯ

Я. И. П е р е л ь м а н, Занимательная физика, изд. 15-ое, ГТТИ, 1949, ч. I, гл. V.

Г. В. В у л ь ф, Симметрия и ее проявления в природе, Лит. изд. отд. НКП, М., 1919 г.

Ю. В. Х о д а к о в, Архитектура кристаллов, ГТТИ, М.—Л., 1932.

А. И. К и т а й г о р о д с к и й, Кристаллы, изд. 2. Гостехиздат, 1955.

Ю. М. Б о г д а н о в, Наука о прочности (н. п. библиотека, выпуск 77), М., 1955.

М. П. Ш а с к о л ь с к а я, Кристаллы, Гостехиздат, М., 1956, 228 стр.

95. Тепловое расширение твердых тел

Перед началом новой темы преподаватель должен повторить с учащимися относящийся к этой теме материал VII класса.

Но вновь проделывать опыты, показывающие расширение тел от нагревания и сжатие их при охлаждении, самому преподавателю не следует. От учащихся нужно требовать, чтобы они не только поясняли свой рассказ о тепловом расширении тел бытовыми и техническими примерами, но и воспроизводили опыты на выставленных для этой цели приборах с пояснением явлений.

Остановив внимание учащихся на том факте, что расширение различных веществ в одних и тех же условиях различно, преподаватель отмечает, что тепловая расширяемость может быть характеристикой вещества и что для сравнения этой характеристики у

различных веществ вводится особая величина, называемая коэффициентом теплового расширения.

Выяснив, почему для твердых тел можно говорить о линейном расширении, преподаватель показывает прибор, предназначенный для измерения коэффициента линейного расширения, разбирает совместно с учащимися, какие надо измерить величины для определения коэффициента линейного расширения. Самое же измерение коэффициента учащиеся производят на практических занятиях.

После изучения темы учащиеся должны хорошо знать следующие положения.

1. Коэффициент расширения имеет наименование *град*⁻¹; следовательно, коэффициенты расширения являются именованными числами.

2. Длина (а также и объем) тела при любой температуре может быть выражен не только через длину (или объем) при нуле по формуле $l_t = l_0 (1 + \alpha t)$, но и через длину (объем) при любой температуре t_1 по формуле $l_t = l_{t_1} [1 + \alpha(t - t_1)]$; следовательно, при расчетах можно принимать за первоначальную длину (или объем) при комнатной температуре.

3. Надо предложить учащимся продумать, какое физическое значение имеют отдельные части общей формулы: α , αt , $1 + \alpha t$, $l_0(1 + \alpha t)$; β , βt , $1 + \beta t$, $V_0(1 + \beta t)$.

4. Надо предупредить учащихся, что коэффициенты расширения различны в разных температурных границах, т. е. являются функцией температуры; поэтому табличные значения коэффициентов являются средними для некоторой ограниченной области температур. Но ввиду ничтожного отличия истинного коэффициента расширения для какой-либо температуры в пределах некоторой области от среднего можно без заметной погрешности пользоваться при расчетах средним значением коэффициента.

5. Установив соотношение (приближенное) между коэффициентами объемного и линейного расширения твердых тел ($\beta = 3\alpha$), можно пояснить, почему нет необходимости в измерении на опыте коэффициента объемного расширения твердых тел.

6. При обзоре таблицы коэффициентов линейного расширения следует обратить внимание учащихся на: а) вещества с малым коэффициентом — инвар, применяемый для изготовления точных приборов, показания которых не должны зависеть от температуры, или плавленый кварц, из которого готовится посуда, не лопающаяся при резких изменениях температуры; б) вещества с близкими коэффициентами — стекло и платина, допускающие впайку металла в стекло, не нарушающую цельности тела при изменении температуры; в) вещества с сильно различными коэффициентами, из которых изготавливаются биметаллические пластинки, применяемые в терморегуляторах, сигнализаторах и в ряде других технических приспособлений.

7. Следует отметить, что у кристаллов различают три коэффициента линейного расширения в зависимости от направления.

96. Зависимость механических свойств твердых тел от их структуры и термической обработки

Изложение этой темы должно быть тесно связано с вопросом о практическом использовании этих свойств, рассматриваемом в курсе основ производства.

На уроках физики надо дать объяснение тех изменений структуры твердых тел, которые учитываются в технике.

Так, возрастание прочности при прокатке или ковке металлов объясняется возникновением при этом мелкокристаллического, волокнистого строения.

Возникновение хрупкости прочного металлического изделия после длительного участия его в работе (например, у оси вагона или у рельса) объясняется превращением первоначального мелкокристаллического строения в крупнокристаллическое.

Такое же изменение может происходить с кристаллическим веществом и без внешних механических воздействий, так как образующие его кристаллики вследствие молекулярных сил изменяют свою величину и расположение. Росту кристаллов в теле могут содействовать также колебания температуры.

Влияние температуры на кристаллическое вещество выражается иногда в том, что у ряда веществ кристаллическая решетка имеет при разных температурах различное строение.

Пример — железо, имеющее четыре кристаллические формы. Постоянно применяемые в технике закалка и отжиг стали имеют физическое основание.

При закалке охлаждение происходит настолько быстро, что перекристаллизация, приводящая к низкотемпературной структуре, не успевает произойти; строение закаленной стали и при низкой температуре остается таким же, какое соответствует высокой температуре (твердость и хрупкость).

При отжиге, т. е. медленном охлаждении после нагревания, времени оказывается достаточно для полной перекристаллизации. Строение кристаллической решетки в этом случае соответствует низкотемпературному состоянию.

Глава XVII.

ИЗМЕНЕНИЕ АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА

97. Содержание раздела

Раздел включает следующие крупные темы: плавление и отвердевание; парообразование и конденсация; свойства паров; сжижение газов; водяные пары в атмосфере; тепловая машина.

При изложении первых тем должны быть использованы знания учащихся, приобретенные ими на уроках в VII классе.

Дальнейшее изложение в методике дается в конспективном виде без разделения на уроки, с указанием только узловых моментов тем. В основном упор сделан на школьный учебник.

98. Плавление и отвердевание

Оба процесса для кристаллического вещества учащиеся могут изучить путем самостоятельного выполнения фронтальной лабораторной работы (только в случае крайней невозможности поставить ее — на демонстрации).

Особенного внимания заслуживает та часть процесса, которая характеризуется постоянством температуры при плавлении или отвердевании (отрезок графика, параллельный оси времен).

Сообщаемая телу во время плавления теплота, не поднимающая температуры тела, превращается в работу по преодолению межмолекулярных сил сцепления. Молекулы или ионы покидают свои места в кристаллической решетке и приобретают иные относительные положения и иную форму движения сравнительно с тем, что было им свойственно в твердом состоянии. Вследствие этого увеличивается потенциальная энергия и, следовательно, вся внутренняя энергия расплавляемого тела (за счет уменьшения внутренней энергии того тела, которое в данном случае служит «источником» теплоты).

Полученная при плавлении жидкость, нагреваемая выше температуры плавления, вновь увеличивает свою кинетическую и потенциальную энергию, т. е. жидкое состояние обладает иной внутренней энергией, чем твердое.

Так как при плавлении сообщалась телу теплота, то из этого можно заключить, что внутренняя энергия расплава больше, чем внутренняя энергия кристалла того же вещества в той же массе при той же температуре.

Надо сопоставить плавление и отвердевание кристаллических и аморфных тел (смолы, воска, парафина, стекла и др.), отметив, что аморфные тела не плавятся и не отвердевают при какой-либо определенной температуре, но размягчаются и отвердевают постепенно, в определенном температурном интервале. (Показ графика, изображенного на рисунке 175 учебника.)

Так как в аморфных телах молекулы расположены не в определенном порядке, а хаотически, то при нагревании таких тел не наступает момента перегруппировки молекул. С нагреванием увеличивается лишь скорость движения молекул; расплавляющееся тело становится более текучим.

Надо сопоставить аморфное тело с жидкостью (в частности, с переохлажденной жидкостью), с которой оно имеет принципиальное сходство, отличаясь от большинства жидкостей очень большой вязкостью, вследствие чего при небольших силах, на него действующих, сохраняет свою форму.

С точки зрения изменения внутренней энергии надо будет объяснить выделение теплоты при кристаллизации, повышение температуры при отвердевании переохлажденной жидкости (показ явления), большую внутреннюю энергию аморфного состояния сравнительно с кристаллическим состоянием того же вещества и происходящую вследствие этого кристаллизацию некоторых аморфных тел (стекла, леденца).

Наконец, на этом же основании должно быть уточнено понятие об удельной теплоте плавления (измерение удельной теплоты плавления льда производится на фронтальной лабораторной работе).

Значительное место должно быть уделено составлению калориметрических уравнений для тепловых процессов с включением плавления и отвердевания.

Остальные вопросы основной темы: изменение объема при плавлении и отвердевании (парафина или стеарина в пробирке), влияние давления на температуру плавления — не нуждаются в особых методических указаниях.

При изложении темы надо сообщить учащимся, что некоторые твердые тела (бумага, шерсть, дерево и др.) при нагревании подвергаются химическому изменению, обугливаются, выделяют газы, поэтому и не могут быть расплавлены в своем цельном состоянии. Все же твердые тела, не подвергающиеся химическому разложению при нагревании, могут быть расплавлены. Обратно, всякая жидкость при охлаждении может затвердеть.

Следует познакомить учащихся с плавлением сплавов, с отвердеванием растворов и выяснить техническое использование этих явлений.

99. Парообразование и конденсация

1. И с п а р е н и е. Начинается тема с повторения процесса испарения, известного из курса VII класса, при этом дается объяснение теплоты испарения. Надо связать теплоту испарения с изменением внутренней энергии жидкости. Внутренняя энергия жидкости не изменяется лишь тогда, когда теплота, расходуемая на испарение, поступает извне. При этом, несмотря на испарение, температура жидкости не изменяется.

Надо предложить учащимся собрать бытовые наблюдения или поставить дома простые опыты, которые выяснили бы основные условия быстроты испарения: зависимость быстроты испарения от величины свободной поверхности, температуры испаряющейся жидкости и скорости удаления паров из пространства над жидкостью.

Надо продемонстрировать перед классом увеличение скорости испарения при уменьшении внешнего давления.

Учащиеся должны узнать, что испарение происходит у всех жидкостей и притом только с поверхности¹ и что испарение проис-

¹ А также и в воздушные пузырьки, находящиеся на стенках сосуда внутри жидкости.

ходит с поверхности и твердых тел (опыт с парами йода; запах твердых пахучих тел).

2. С в о й с т в а п а р о в. Следующий вопрос, требующий особо тщательного разъяснения,— это насыщение пространства парами. Необходимо выяснить, что насыщение состоит в подвижном или динамическом¹ равновесии между паром и жидкостью.

Далее ставятся для исследования три вопроса: зависимость давления ненасыщающих паров от объема и температуры, независимость давления насыщающих паров от объема, зависимость давления насыщающих паров от температуры.

Для демонстрации свойств насыщающих паров можно рекомендовать следующую установку. В пробку круглодонной колбы вставлены термометр и изогнутая трубка, вертикальное колено которой опущено вниз. В колбе доводится до кипения вода. После этого вертикальная трубка опускается в ртуть и отнимается горелка. Пар начинает охлаждаться и ртуть поднимается по вертикальной трубке (рис. 63). Делая через некоторые промежутки времени отсчеты температуры и измерение длины ртутного столба h , можно для каждой температуры вычислить значение давления паров и вычертить график.

В результате исследования этих вопросов получаются известные выводы относительно свойств паров.

3. К и п е н и е. Кипение начинается в тот момент, когда давление насыщающего пара сравнялось с внешним давлением на те слои жидкости, где начинается кипение. Вследствие этого пар, выделившийся внутри пузырьков воздуха, прилипших к стенкам сосуда, начинает вырываться наружу при ничтожном превышении его давления над внешним. Возникает кипение: бурное выделение паров из всего объема жидкости.

Следует рассмотреть ряд вопросов: зависимость температуры кипения от давления, значение пузырьков воздуха для возникновения кипения, перегревание жидкости при отсутствии их; объяснение действия гейзеров; вопрос о необходимости расположения термометра в парах над кипящей жидкостью для измерения температуры кипения.

Объяснение той части хода нагревания и кипячения жидкости, в течение которой температура жидкости остается постоянной, надо провести подобно тому, как это было сделано для случая плав-

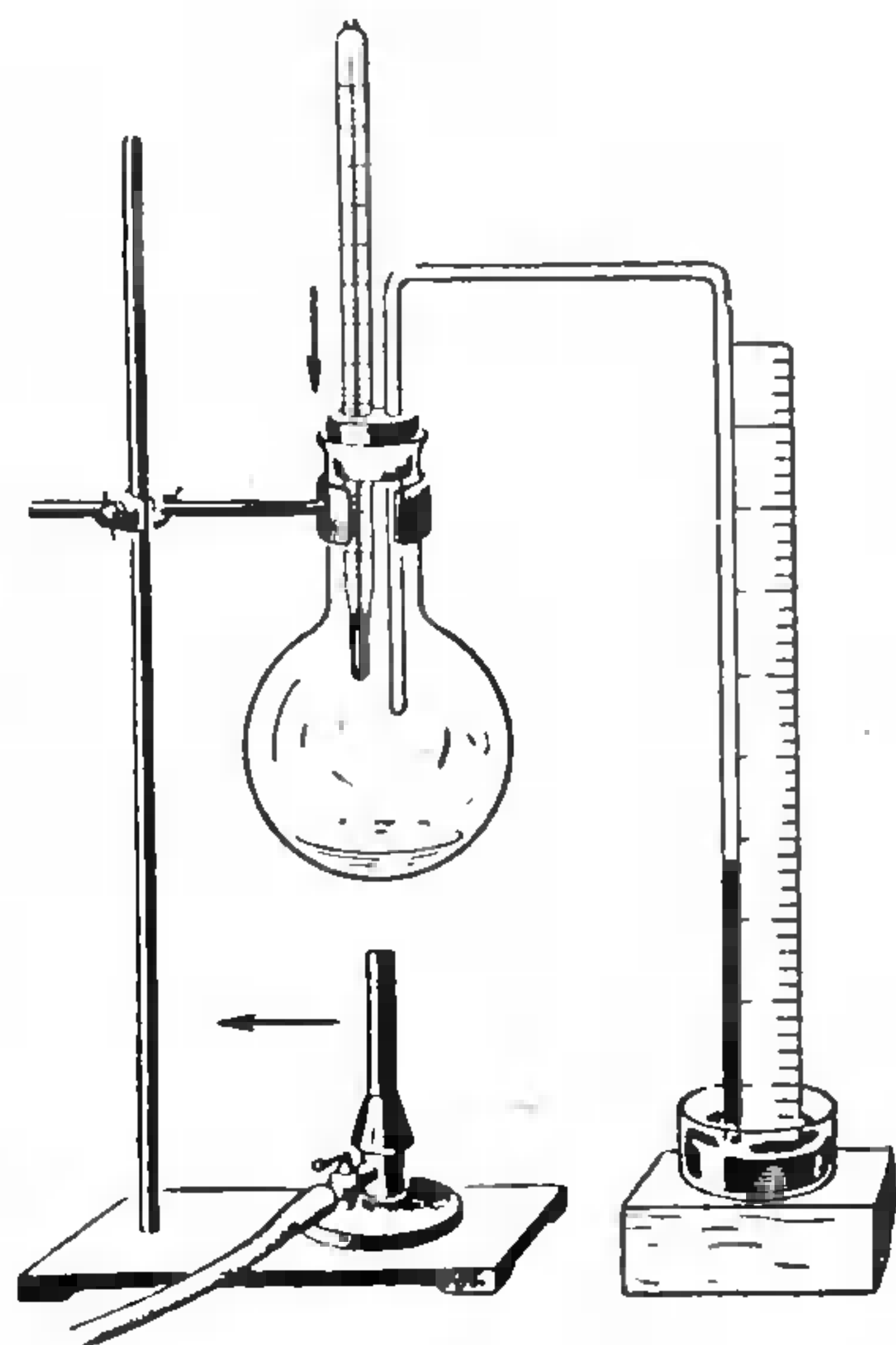


Рис. 63

¹ Объяснение динамического равновесия дано в учебнике.

ления и отвердевания твердого тела. В частности, следует остановить внимание учащихся на изменении внутренней энергии тела при переходе из жидкого состояния в пар.

Объяснение влияния пузырьков воздуха на ход кипения позволяет затронуть ряд физических законов. Его следует провести подробнее, воспользовавшись изложением этого материала в Элем. учеб.

Лабораторная работа по измерению теплоты конденсации пара и решение задач на процесс парообразования позволяют научить учащихся составлению калориметрических уравнений.

На занятиях кружка можно познакомить учащихся с кипением растворов, с использованием выпаривания для технических целей, с зависимостью температуры кипения от концентрации раствора и с законом Дальтона.

4. С ж и ж е н и е г а з о в. Вопрос о сжижении газов и о критической температуре может быть изложен описательно. Можно разобрать его также, используя таблицу или диапозитив с изображением изотерм Эндрюса для углекислого газа. Тогда понятие о критической температуре и вместе с тем и о критическом давлении окажется более обоснованным.

Но как бы ни подходить к изложению этого вопроса, непременно надо показать критическое состояние эфира в приборе Авенариуса.

При возможности достать жидкий воздух, необходимо показать опыты с ним. При отсутствии дьюаровских сосудов можно воспользоваться термосом.

Из опыта устанавливается, что критическим состоянием является такое состояние вещества, в котором плотность жидкости и плотность насыщающего ее пара становятся равными.

При изложении этой темы надо отметить работы Д. И. Менделеева, установление им понятия о критическом состоянии и экспериментальные исследования в этой области русских ученых — Авенариуса, Надеждина, Столетова.

Историю исследования по сжижению газов надо закончить сообщением о работах русского академика П. Л. Капицы¹, который создал новые установки для сжижения газов, ускоряющие и удешевляющие процесс сжижения, и исследовал особые свойства жидкого гелия.

Можно предложить учащимся дома самостоятельно познакомиться с техническим использованием сжиженных газов по учебнику и по популярной литературе.

5. В л а ж н о с т ь в о з д у х а — тема, достаточно разработанная в учебниках и не нуждающаяся в дополнительных методических указаниях.

¹ П. Л. Капица, Адиабатический метод сжижения гелия. журн. «Успехи физических наук», 1936, т. XVI, вып. II.

П. Л. Капица, Сжижение газов, журн. «Вестник знания», 1939, № 6.

Можно рекомендовать расширить эту тему, рассматривая круговорот воды в атмосфере в связи с изложением сведений о притоке энергии от Солнца на Землю и о расходе ее.

100. Тепловые двигатели

Этот раздел программы также очень тесно связан с вопросами курса машиноведения (устройство и работа двигателя внутреннего сгорания). В курсе физики более глубоко должны быть рассмотрены физические принципы работы тепловых двигателей.

Для этого следует:

во-первых, обосновать измерение работы по графику состояния газа или пара;

во-вторых, показать, что никогда количество теплоты, заимствованное из любого источника, не может быть целиком обращено в работу; всегда часть теплоты должна быть передана телу с меньшей температурой, чем она имеется у источника. Надо подчеркнуть неравноценность в этом отношении теплоты и работы;

в-третьих, проследить характер усовершенствований, вносимых в конструкции тепловых двигателей с целью повышения коэффициента полезного действия машин.

Расчет работы газа или пара производится сначала для случая изобарного процесса.

По графику изобарного процесса доказывается, что работа при расширении газа численно равна площади прямоугольника, ограниченного осью абсцисс, изобарой и ординатами, соответствующими началу и концу расширения.

Затем эта теорема распространяется путем применения метода пределов на случай изменения состояния по любому процессу, графически изображаемой кривой в координатах p и V .

После этого доказательства описывается один из индикаторных приборов, приводятся индикаторные диаграммы и дается пояснение, как по ним можно было бы вычислить работу теплового двигателя за один цикл.

Надо воспользоваться знакомством учащихся с адиабатным процессом.

При рассмотренном плане изложения темы, конечно, не может быть и речи о выводе формулы для коэффициента полезного действия машины, работающей по идеальному циклу.

Но надо затратить достаточно времени и труда, чтобы разъяснить, что этот коэффициент по самой природе процесса должен быть меньше единицы даже для идеального цикла, а во всех реальных случаях оказывается очень небольшим. Необходимо противопоставить переход работы в теплоту, происходящий полностью, и переход теплоты в работу, совершающийся только частично.

Никогда никакое количество теплоты, подвергающееся преобразованию в машине, не может быть полностью преобразовано в работу.

Было бы желательно дать объяснение этого явления с точки зрения перехода упорядоченного движения в беспорядочное.

Объем материала по истории развития тепловых машин зависит от того времени, которое остается на изучение этого вопроса. Можно заранее указать учащимся литературу для чтения (приведенную ниже) и сочетать краткие доклады учащихся с демонстрациями моделей, таблиц, диапозитивов. Демонстрации учащиеся готовят совместно с преподавателем.

При изложении истории изобретения и усовершенствования тепловых машин необходимо ярко показать вклад русских изобретателей и инженеров в теорию и практику машиностроения.

Изобретателем первой паровой машины, примененной в качестве промышленного двигателя, был Иван Иванович П о л з у н о в.

Первый русский паровоз построили отец и сын Ч е р е п а н о в ы на Нижнетагильском заводе на Урале.

Конструкцию водотрубного котла создал Владимир Григорьевич Ш у х о в.

Л. К. Р а м з и н изобрел конструкцию прямоточного котла.

Компаунд-паровозы первыми строили А. П. Б о р о д и н и другие русские инженеры.

Теорию ракетного двигателя разработал К. Э. Ц и о л к о в с к и й.

Сведения о русских изобретателях читатель может почерпнуть из следующих книг:

В. В. Д а н и л е в с к и й. Творец паровой машины Ползунов, «Молодая гвардия», 1947.

В. В. Д а н и л е в с к и й, Русская техника, изд. 2, изд. АН СССР, 1948.

«Люди русской науки», т. II, ОГИЗ, 1948, (Ползунов, Черепановы, Шухов).

А. К а р ц е в, Паровоз Черепановых, Транжелдориздат, М., 1939, 69 стр.

Е. З е н г е р, Техника ракетного полета, Оборонгиз, М., 1947, 300 стр. 117 рис.

ЛИТЕРАТУРА ПО РАКЕТНЫМ ДВИГАТЕЛЯМ.

1. Н. А. Р ы н и н, Завоевание стратосферы, «Молодая гвардия», М.—Л., 1933.

2. С. М. И л ь я ш е н к о, Быстрее звука (о ракетных двигателях), Воениздат, М., 1948.

3. Б. В. Л я п у н о в, От ракеты до ракетного двигателя, Госкультпросветиздат, М., 1948.

4. В. Я. Р ы ж к и н, Современные мощные тепловые электростанции, «Знание», М., 1956, 48 стр.

5. Б. С. С т е ч к и н, Газотурбинные установки, изд. АН СССР, М., 1956, 34 стр.

III. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО.

101. Общие замечания к программе

Преподавание в последних классах средней школы является наиболее ответственной задачей. В этих классах должны быть расширены и окончательно закреплены все приобретенные в школе знания и умения.

Основные физические теории — молекулярно-кинетическая и электронная — должны получить экспериментальное основание и должны служить орудием объяснения обширных областей физических явлений.

Великие законы природы — законы сохранения энергии, количества движения, количества электричества — должны быть показаны учащимся в их всеобъемлющем значении.

Три отдела программы X—XI классов — электричество, оптика, строение атома — должны быть представлены в их внутренней взаимосвязи и единстве.

Такое же единство в многообразии явлений природы можно показать на примере шкалы электромагнитных колебаний, проявляющихся в самых разнообразных видах. Хотя учащиеся на протяжении всего школьного курса знакомились с применением и использованием физических законов в технике, изучаемые в X—XI классах закономерности позволят им понять новый качественный скачок социалистической техники: использование вновь открытого источника энергии—атомной энергии—в мирных целях. Это еще больше расширит их политехническое образование.

В развитии учения об электричестве, оптике и строении атома особенно отчетливо обнаруживается связь между исследованиями и открытиями ученых различных стран, и может быть показан громадный вклад в физику русских и других советских ученых, начиная с разностороннего русского гения М. В. Ломоносова и кончая нашими современниками.

Изучение истории научных исследований может содействовать, с одной стороны, развитию чувства интернациональной солидарности, с другой,— вполне законному чувству гордости за свой народ.

Осуществление всего вместе взятого поможет заложить у учащихся основы диалектико-материалистического мировоззрения.

102. Предварительные замечания по отделу «Электричество».

Приступая к изложению отдела «Электричество», преподаватель может опираться на те знания и умения, которые учащиеся приобрели на первой ступени изучения электричества.

На первом уроке достаточно вкратце напомнить учащимся о грандиозном использовании электрической энергии в самых разнообразных областях социалистического строительства, так как учащиеся уже сами хорошо осведомлены об этом из предыдущего изучения школьных предметов, на основании чтения периодической литературы и практики на производствах. Но надо подчеркнуть те причины, вследствие которых использование электрической энергии в современной технике получило такой небывалый размах: а) легкость превращения электрической энергии в другие виды (в механическую, химическую энергию, в теплоту, в энергию света); б) сравнительная легкость передачи электроэнергии на далекие расстояния; в) сравнительно высокий коэффициент полезного действия электрических машин и других электрических приборов; г) высокая чувствительность электроизмерительных и регистрирующих приборов.

Надо отметить также, что, кроме технического значения, учение об электричестве имеет и большое научное значение. Отдел «Электричество» охватывает теперь ряд областей науки, раньше исследовавшихся независимо от него, такие, как оптика, молекулярное строение вещества, строение атома и ядра. Электрические закономерности служат основанием для объяснения магнитных, оптических, молекулярных и атомных явлений.

Основная задача первых уроков по электричеству состоит в усвоении и использовании понятий «заряд» и его «поле» в их диалектическом единстве как понятий о нераздельно связанных между собой реальных величинах. Слово «заряд» учащиеся употребляют еще в VII классе. В X классе надо выяснить, что «электрический заряд» есть неотъемлемое свойство материи, свойство реально существующих мельчайших частиц вещества, так называемых микрочастиц. Электричество — свойство материи, подобно тому как инерция является другим свойством ее. Как мера инерции названа массой, так мера электрического свойства названа была зарядом. На этом основании признается, что электричество материально; точнее было бы определить, что материя, так сказать, «электрична»

Глава XVIII.

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ.

103. Экспериментальные основы электронной теории.

Так как в X классе изучаемым явлениям следует давать четкое теоретическое объяснение, то сначала останавливаются на экспериментальном обосновании электронной теории. Первые один, два

урока следует посвятить показам опытов и рассказам об опытах, которые подтверждают существование элементарных частиц вещества, обнаруживающих свойства отрицательно заряженных тел.

Трудность изложения названной выше темы в начале курса электричества заключается в том, что обнаружение существования таких частиц может быть выполнено при помощи приборов, устройство которых само основано на электрических явлениях.

Такое нарушение системы изложения может быть до некоторой степени оправдано тем, что учащиеся частично уже владеют знаниями по электричеству; между тем раннее экспериментальное изучение основ электронной теории поможет более сознательному усвоению дальнейшего материала.

На первых уроках учащимся показываются явления термоэмиссии и фотоэмиссии на установке, описанной в § 30, 31, 180, 182 (Пер. III) или в § 68, 69, 2-й части и в § 178 3-й части Элем. учеб. Затем рассказывается об опытах Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси (Элем. учеб., ч. II, § 86, рис. 149). Из совокупности показанных опытов и рассказа можно сделать вывод. Опыты Мандельштама и Папалекси показывают, что воспринимаемый приборами и наблюдателями электрический ток есть направленное движение мельчайших частиц вещества, обладающих инерцией, обнаруживающих свойства отрицательного электричества и перемещающихся между атомами металлов.

Термоэмиссия указывает на выделение из накаливаемого металла каких-то отрицательно заряженных частиц. То же подтверждает фотоэмиссия. Опыт А. Ф. Иоффе, о котором надо обязательно рассказать, показал, что заряд этих частиц имеет определенную величину, наименьшую из где-либо встречающихся в явлениях природы. Частица с таким отрицательным зарядом рассматривается как элементарная частица вещества. Она является носителем свойств отрицательного электричества в наименьшем возможном его количестве. Эту частицу называли «электрон».

Нужно привести численное значение величины заряда электрона ($1,6 \cdot 10^{-19}$ кулона или $4,8 \cdot 10^{-10}$ ед. зар. CGSE).

Опыты Иоффе и термоэмиссия, хотя и недостаточно объясненные на этом этапе изучения, все же покажут реальное существование частиц — носителей электрического заряда, о которых говорилось уже в VIII классе, и облегчат учащимся понимание ряда электрических явлений.

104. Способы электризации тел.

На третьем уроке рассматриваются различные способы электризации — трение, соприкосновение, удар, разрыв, раскалывание. Делается предупреждение, что этими случаями не исчерпываются все способы электризации.

Опыты по электризации трением описаны ранее в § 21,1. Для демонстрации электризации прикосновением выбирается наиболее

чувствительный электрометр, наружная оправа которого соединена с землей, а шарик заменен металлической пластинкой, один раз медной, другой раз цинковой. На одну пластинку накладывается другая, укрепленная на изолирующей ручке. Быстрым движением снимается верхняя пластинка так, чтобы сразу освободилась вся поверхность. Проектируя листочек электрометра на экран, можно обнаружить небольшое отклонение листочка при снятии пластинки. Исследуя знак электризации, можно показать, что на медной и цинковой пластинках получаются разнородные электризации (Cu^- , Zn^+). Электризация ударом показывается на ударе сухим и чистым куском ткани по сухому полену, помещенному на изолирующую подставку и соединенному проволокой с электроскопом, или по гире, присоединенной к электроскопу. Электризацию разрывом можно показать, разрывая высушенный и прогретый лист газетной бумаги на мелкие кусочки, бросаемые на пластинку электроскопа.

Учащиеся вспоминают также электризацию путем термоэмиссии и фотоэмиссии, показанную на первом уроке.

В результате разбора закрепляется мысль, что электризация состоит в перераспределении электронов между телами в результате тех действий над ними, которые вызывают электризацию: тело, получившее избыток электронов сравнительно с его нормальным или так называемым нейтральным состоянием, обнаруживает свойства отрицательно заряженного тела или имеет отрицательный заряд; тело же, на котором получился недостаток электронов сравнительно с нейтральным состоянием, обнаруживает свойства положительно заряженного тела, оно имеет положительный заряд.

У учащихся может возникнуть вопрос: не изменится ли вес тел при электризации вследствие перехода заряженных частиц с одного тела на другое? Можно предупредить их, что в дальнейшем они узнают, как можно измерить массу электрона; поскольку масса электрона составляет $9,1 \cdot 10^{-28} \text{ г}$, переход даже очень значительного числа электронов с одного тела на другое не изменит заметно массы электризуемых тел.

105. Электрическое поле.

1. Ф о р м и р о в а н и е п о н я т и я о б э л е к т р и ч е с к о м п о л е. Непосредственно за показом различных способов электризации тел, т. е. перераспределения между ними электронов, надо перейти к выяснению и обоснованию понятия «электрическое поле» наэлектризованного тела.

Предыдущие опыты по электростатике показали учащимся, что наэлектризованные тела, или, как было принято говорить, тела, получившие электрический заряд, обнаруживают присутствие этого заряда по ряду действий, выражающихся в притяжении заряженным телом легких тел, в притяжении или отталкивании других наэлектризованных тел, в явлении электризации через влияние со стороны наэлектризованного тела.

Особое состояние материи, связанное с электризацией тела и выражающееся в силовых проявлениях также и вне его, названо «электрическим полем». Электрическое поле является более широкой характеристикой наэлектризованного тела, чем его заряд. Заряд и поле неразрывно связаны между собой, потому что по существу являются характеристиками одного и того же состояния. Поле связано с любым зарядом, с элементарным зарядом электрона так же, как и с суммарным зарядом заряженных тел больших размеров. Поле существует в природе независимо от сознания человека и действует через свои проявления на органы чувств человека, следовательно, оно материально. Но материя поля иного вида, чем известный учащимся ранее вид материи — вещество; поле не сводится ни к механическим, ни к тепловым явлениям.

Преподаватель сообщает, что электрические взаимодействия обнаруживаются и в вакууме, где остаются ничтожные следы того вида материи, который рассматривается как вещество. С некоторыми из этих явлений учащиеся также уже познакомились. Отсюда следует, что электрическое поле представляет собой иной вид материи, отличный от вещества.

На основании всего изложенного вводится определение: электрическое (электростатическое) поле представляет особый вид материи, отличный от вещества, обнаруживающийся в его электрических действиях на тела, в нем находящиеся.

Дальнейшее изучение отдела «Электричество» должно идти по двум направлениям, связанным между собой: во-первых, по линии изучения свойств зарядов; во-вторых, — изучения свойств полей различных наэлектризованных тел и их комбинаций.

Изучение поля распадается на две части: а) изучается поле неподвижных «зарядов» на проводнике (хотя носители этих «зарядов» — электроны — подобно атомам находятся в тепловом хаотическом движении) и б) поле зарядов, имеющих направленное движение по проводнику. Первую часть изучает электростатика, вторую — электродинамика.

Примечание к изучению электростатики.

При изложении учения об электростатике необходимо добиваться полной успешности электростатических демонстраций: приборы и электризуемые предметы надо хорошо просушить и даже слегка подогреть перед самым проведением урока; стеклянные части протереть спиртом, другие детали промыть теплой мыльной водой и высушить; проветрить классное помещение, чтобы устранить следы влаги и дыма.

2. Закон Кулона. После повторения изученного с качественной стороны явления взаимодействия зарядов исследуется количественная зависимость между силой взаимодействия, величиной зарядов и их расстоянием, т. е. закон Кулона. В школе нет возможности экспериментально вывести закон Кулона. Поэтому придется ограничиться описанием опыта Кулона на крутильных весах, словесной формулировкой его и сообщением математи-

ческой формулы закона, причем возможно сразу привести оба вида этой формулы: для вакуума и для любой среды. При изложении закона надо подчеркнуть, что он справедлив для точечных зарядов.

Так как при изложении закона Кулона вводится термин «вакуум», то надо дать определение этого понятия. Вакуумом в сосуде называется пространство, наполненное газом при таком давлении, при котором длина свободного пробега частиц газа становится не меньше размеров сосуда, содержащего их.

При объяснении опыта Кулона недоумение учащихся возбуждает вопрос, как же во время опыта измерялась величина зарядов, пока не была установлена единица для измерения и способ измерения.

Надо дать понять учащимся, что через прикосновение заряженного шарика с другим таким же или одновременно с двумя, тремя и т. д. такими же шариками можно оставить на первом половину, треть, четверть и т. д. начального заряда, хотя и не известна абсолютная величина его.

На основании формулы закона Кулона устанавливается электростатическая единица *CGSE*, ее наименование и практическая единица — к у л о н.

3. **Н а п р я ж е н н о с т ь п о л я.** После изучения закона Кулона для взаимодействия электрических зарядов, после сравнения закона Кулона с законом Ньютона для взаимодействия тяготеющих друг к другу тел и достаточного количества упражнений на применение закона Кулона к различным конкретным случаям переходят к изучению свойств электростатического поля.

Чтобы характеризовать поле в различных точках его и чтобы можно было сравнивать различные электрические поля, вводится особая величина, называемая **н а п р я ж е н н о с т ь ю** поля и измеряемая силой, с которой поле действует на единицу положительного заряда в данной точке поля.

Необходимо обратить внимание на то, что напряженность поля есть **в е к т о р**, затем установить единицу напряженности и ее наименование.

Изучить электрическое поле — значит изучить величину и направление напряженности в каждой точке поля.

Величина напряженности поля в вакууме определяется величиной $E = \frac{F}{q_1}$, поля вокруг точечного заряда в любой среде: $E = \frac{q}{\epsilon r^2}$.

Надо остановить внимание учащихся на том, что в первой формуле напряженности q_1 означает величину заряда, на который действует поле другого заряда; во второй же формуле q означает величину самого заряда, образующего поле.

4. **С и л о в ы е л и н и и п о л я.** Рассматривая поле одного или двух каких-либо зарядов, можно показать на чертеже (рис. 10, Пер. III), что вектор напряженности меняется от точки к точке. Поэтому возникает потребность графически запечатлеть располо-

жение векторов, чтобы представить общую картину поля. Это можно осуществить путем вычерчивания кривых, в каждой точке которых вектор напряженности направлен по касательной.

Такие линии называются линиями напряженности, или, по более раннему и более распространенному названию, силовыми линиями поля.

Надо с самого начала показа этих линий отметить, что они являются только вспомогательным графическим образом и не имеют реального существования. При этом показывается, как можно реализовать наглядную картину силовых линий в полях различного происхождения.

Получить картину расположения силовых линий можно при помощи бумажных султанов, прикрепленных к металлическим шарикам. Шарики присоединены проводниками к полюсам электростатической машины. При работе машины бумажки изгибаются примерно по силовым линиям.

Второй опыт. Получают во взвешенном состоянии мелкие кристаллики сернокислого хинина в вазелиновом масле или манную крупу в касторовом масле. Опустив в жидкости две металлические пластинки, соединенные каждая с полюсом машины, и приведя машину в действие, можно показать на расположении кристаллов или крупинок примерное направление силовых линий (рис. 29, Элем. учеб., ч. II).

Можно также взять волокна из высушенного початка болотного растения «рогоза» или волокна ваты и бросать их между двумя недалеко друг от друга расположенными наэлектризованными шарами. Легкие волокна перемещаются между шарами по силовым линиям¹, также надо показать расположение силовых линий между двумя большими параллельными разнородно заряженными пластинами и дать понятие об однородном поле (рис. 16, а; 16, б, Пер. III).

Далее обращают внимание учащихся на то, что при известном условии силовые линии могут показать не только направление вектора напряженности, но и величину его.

Опыты показывают, что там, где напряженность больше, силовые линии располагаются гуще; следовательно, густоту силовых линий можно выбрать за меру величины напряженности.

Чтобы картина силовых линий давала не только представление о направлении напряженности поля, но и ее величину, надо установить определенное соглашение относительно связи между густотой линий, изображающих поле, и величиной напряженности в выбранной точке. Условились проводить через площадку в 1 см^2 , расположенную около данной точки поля, перпендикулярно к вектору напряженности в этой точке столько силовых линий, скольким единицам равна напряженность в этой точке для вакуума.

¹ Надо иметь в виду, что движение в точности по силовой линии могло бы быть осуществлено только при наличии двух условий: начальной скорости, равной нулю, и безинертности тела.

Таким образом, величина напряженности изображается длиной вектора, соответствующей числу силовых линий, проходящих через перпендикулярную к ним площадку в 1 см^2 .

Учащиеся должны понимать, что на чертежах изображается не распределение в пространстве силовых линий, а их сечение плоскостью чертежа. Картину такого сечения можно назвать «электрической картой».

Учащиеся должны научиться вычерчивать и читать такие «электрические карты». При пользовании такими картами надо помнить следующее:

а) через любую точку поля всегда можно провести силовую линию;

б) силовые линии не пересекаются;

в) силовые линии не обрываются: они начинаются на положительном заряде и оканчиваются на отрицательном, проходя через диэлектрик; за направление силовой линии принимается направление от положительного заряда к отрицательному.

В дальнейшем эти положения могут быть дополнены следующими:

г) внутри проводника нет электрического поля, и, следовательно, в проводнике при равновесии зарядов нет силовых линий;

д) силовые линии направлены перпендикулярно к поверхности заряженного изолированного проводника, иначе силы электрического поля перемещали бы заряды по проводнику, а равновесие не смогло бы установиться.

Пользуясь силовыми линиями, можно просто решать многие задачи электростатики, примеры чего можно видеть в Элем. учеб., ч. II, 1957, § 19.

5. Р а с п р е д е л е н и е з а р я д а н а п р о в о д н и к е.

Наличие свободных электронов в проводнике и легкая подвижность их в электрическом поле ставит вопрос о распределении заряда на проводнике. Ответ на него надо дать на основе опытов. Наиболее подходящим прибором для этого служит цилиндр или параллелепипед из металлической сетки с малыми отверстиями, к наружной и внутренней поверхностям которых приклеены легкие бумажки (рис. 64). Сетку ставят на изолирующую подставку и сообщают ей значительный заряд. Отклонение наружных листочков и отсутствие какого бы то ни было отклонения внутренних листочков доказывает распределение заряда только по внешней поверхности проводника и на отсутствие его внутри проводника.

Продолжить исследование можно на заряженном полем шаре. Полый металлический шар, помещенный на изолирующую подстав-

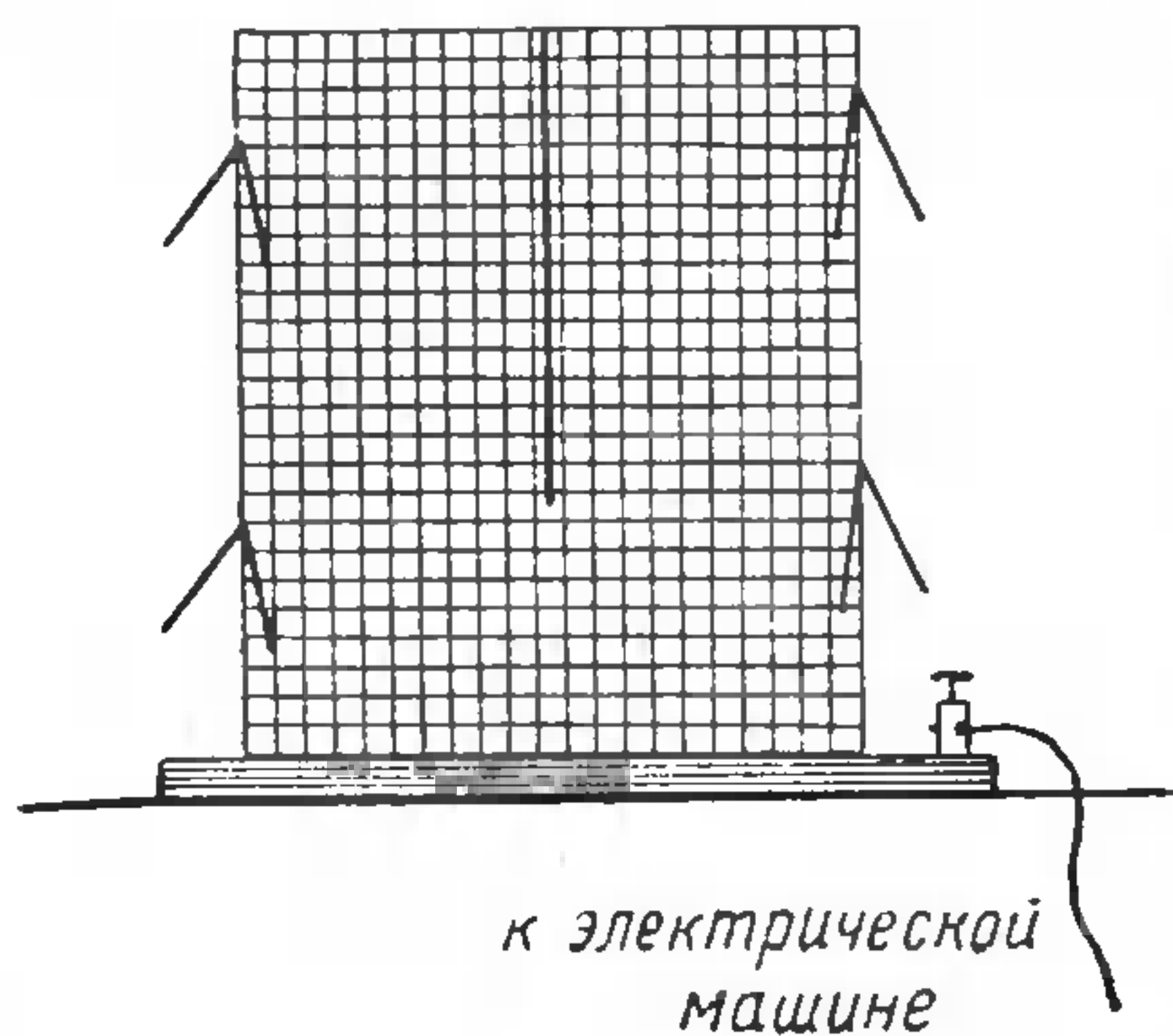


Рис. 64

жу, заряжают от какого-либо источника. Затем при помощи «пробной пластинки» переносят с разных мест наружной поверхности шара заряды на электроскоп. (Пробную пластинку и электроскоп после каждого прикосновения разряжают рукой.) Электроскоп обнаруживает наличие заряда на внешней поверхности и отсутствие его на внутренней.

Следующим вопросом ставится вопрос о том, как распределяется заряд на проводнике в зависимости от его формы. При этом вводится понятие о поверхностной плотности заряда. Исследование ведется на приборе, состоящем из цилиндра и конуса, соединенных основаниями (см. Элем. учеб., ч. II). Выводы делаются на основе результатов исследования. Затем с распределением заряда на проводнике сопоставляется расположение заряда на диэлектрике.

При разборе этой темы надо дать понятие учащимся об электростатической защите и о принципе действия машины Ван-дер-Граафа (рис. 57, Элем. учеб., ч. II).

6. П о н я т и е о п о т е н ц и а л е. После тщательного разбора вопроса о напряженности надо сообщить учащимся, что существует еще другая характеристика поля, связанная с понятием работы и во многих случаях более удобная, чем первая характеристика (напряженность), так как она является скалярной величиной.

Напоминается учащимся или вновь демонстрируется, что в электрическом поле всякое заряженное тело испытывает со стороны поля действие силы. Если тело под действием силы перемещается, то сила вдоль пути тела совершает работу. Не предлагая учащимся математического вывода, надо путем аналогии с движением тела в поле тяготения прийти к следующим положениям: а) при перемещении заряда в электрическом поле по замкнутому контуру работа равна нулю; б) следовательно, работа при перемещении заряда между двумя точками электрического поля не зависит от формы пути; она определяется только положением начальной и конечной точек пути. Но эта работа зависит как от заряда, образующего поле, так и от заряда, перемещаемого в поле.

Чтобы внести единообразие в оценку работы между разными точками поля и облегчить сравнение различных полей между собой на основе совершаемой работы, надо условиться относить работу к перемещению заряда определенной величины. С этой целью вводится особая величина, измеряемая работой при перемещении единичного положительного заряда и называемая **р а з н о с т ь ю п о т е н ц и а л о в** тех точек поля, между которыми совершается работа.

Надо напомнить учащимся, что в этом случае используется тот же прием, какой применялся раньше при введении других физических величин, таких, как удельный вес, теплоемкость, напряженность и многие другие. Здесь, как и раньше, единица новой величины определяется через единичные значения ранее известных величин.

Разность потенциалов получает второе название: **н а п р я ж е н и е** между точками поля. Надо подчеркнуть, что разность по-

тенциалов есть величина, отличная от работы, и надо предупредить учащихся против смешения понятий: напряжение и напряженность. Надо добиться у учащихся осознанного понимания того, что для характеристики явлений в электрическом поле физический смысл имеет именно разность потенциалов, а не самый потенциал. Разность потенциалов не зависит от начала отсчета потенциалов, подобно тому как разность высот гор Эльбруса и Казбека не зависит от того, измерялась ли высота их от уровня моря или от какой-либо случайной точки долины.

Надо приучить учеников к тому, что когда они употребляют термин «напряжение», они всегда должны иметь в виду две точки, между которыми рассматривается напряжение.

Вводится обозначение для потенциала φ . С введением этого обозначения работа по перемещению в поле любого заряда q может быть вычислена по формуле $A = q(\varphi_A - \varphi_B)$. На основании этой формулы устанавливается единица разности потенциалов в системе CGSE и в практической. Надо отметить причину использования термина «потенциал» для обозначения рассмотренной характеристики поля. Следует подчеркнуть, что разность потенциалов между точками поля существует независимо от того, происходит ли в поле между ними передвижение единичного заряда или нет.

7. Э к в и п о т е н ц и а л ь н ы е п о в е р х н о с т и. Рассматривая графическое изображение векторов напряженности в поле точечного электрического заряда, можно показать, что в таком поле существует множество концентрических шаровых поверхностей, вдоль каждой из которых перемещение заряда происходило бы без совершения работы полем, так как в каждой точке такой поверхности направление вектора силы (радиальное) перпендикулярно направлению пути (по шаровой поверхности). Если равна нулю работа, то равна нулю и разность потенциалов любых точек на рассматриваемой шаровой поверхности. Поэтому такие поверхности получили название поверхностей равного потенциала или эквипотенциальных (рис. 23, Пер. III). Основным признаком эквипотенциальной поверхности: в любой ее точке вектор напряженности поля направлен по нормали к ней. Основываясь на этом признаке, можно для поля, образованного любыми зарядами (а не только точечным), представить себе расположение эквипотенциальных поверхностей по заданным направлениям векторов напряженностей. На чертеже изображаются не самые эквипотенциальные поверхности, а сечения их с плоскостью чертежа — эквипотенциальные линии. Следует показать учащимся на чертежах ход эквипотенциальных линий для различных полей.

Затем рассматривается вопрос: не является ли поверхность заряженного проводника одной из его эквипотенциальных поверхностей? При решении вопроса следует исходить из равновесного расположения зарядов на проводнике. При равновесии зарядов на проводнике электрические силы в каждой точке его поверхности должны быть нормальны к ней (иначе происходило бы перемещение за-

рядов). Следовательно, поверхность проводника удовлетворяет признаку эквипотенциальной поверхности.

Так как Земля является проводником, то ее поверхность оказывается одной из эквипотенциальных поверхностей. В физике условно принята поверхность Земли за нулевую поверхность, подобно тому как за нулевой уровень для отсчета высот на земной поверхности принят уровень моря. При таком выборе начала отсчета разность потенциалов между любой точкой поля и поверхностью Земли будет давать потенциал рассматриваемой точки. Поэтому можно употреблять термин «потенциал в точке поля», не прибавляя каждый раз слов «по отношению к нулевому потенциалу Земли», хотя они и подразумеваются при этом. Разность потенциалов и, следовательно, потенциал точки поля по отношению к Земле можно измерять при помощи особого прибора — электрометра.

8. Э л е к т р о м е т р. Электрометр представляет собой градуированный электроскоп с металлическим корпусом. При заряджении стержня электроскопа заряжается по индукции (вспомнить из курса VIII класса) и корпус электрометра; каждый из этих тел как проводник представляет собой эквипотенциальную поверхность; от разности их потенциалов зависит величина отклонения листочков или стрелки прибора.

Если корпус электрометра при измерении соединен с Землей, т. е. с поверхностью нулевого потенциала, то прибор покажет потенциал того тела, с которым соединен его стержень.

Следует показать постоянство потенциала на заряженном проводнике при помощи приема, изображенного¹ на рисунке 25 (Пер. III).

Вводятся понятия нулевого, положительного, отрицательного потенциалов. При помощи электрического щупа можно измерить потенциал поля в любой точке воздуха, как это описано в Элем. учеб., ч. II, § 28.

9. Соотношение между напряженностью и напряжением в одном и том же месте поля. Поскольку существуют две характеристики поля, необходимо выяснить связь между ними. Выяснение вопроса можно провести так, как это сделано в § 23, Элем. учеб., ч. II.

Устанавливается соотношение: $E = \frac{U}{l}$, где U — разность потенциалов (напряжение), l — расстояние вдоль силовой линии.

Может быть введено новое понятие: падение напряжения на 1 см длины; оно определяется из отношения $\frac{U}{l}$, представляющего разность потенциалов между концами отрезка силовой линии длиной в 1 см. Таким образом, напряженность в какой-либо точке

¹ В описанном опыте оправа электрометра соединяется с Землей. Преподаватель, заряжая электрометр, изолированный от стола, и его оправу, показывает, что электрометр отмечает разность потенциалов стержня и оправы. Различие показаний электрометра и электроскопа хорошо выяснено в Элем. учеб., ч. II, § 24, 25.

поля равна падению напряжения на 1 см длины силовой линии, проводимой через рассматриваемую точку. Отсюда практическая единица напряженности: вольт на сантиметр ($\frac{в}{см}$). Зная разность потенциалов, можно определить напряженность электрического поля и вычислить силы, действующие в этом поле на заряженные тела. Это понятие позволит легче разобраться в некоторых явлениях электрического тока.

10. Э л е к т р и ч е с к а я и н д у к ц и я. После ознакомления учащихся со свойствами электрического поля надо перейти к более подробному изложению действия поля на вносимые в него тела и рассмотреть явление электростатической индукции в проводнике и явление электрической поляризации в диэлектрике. Электростатическую индукцию удобнее всего рассматривать на двух цилиндрических проводниках, помещенных на изолирующих подставках и сближаемых своими основаниями (рис. 13). К ним прикреплены листочки электроскопов. К проводнику то с одной стороны, то с другой подносят сначала положительно, затем отрицательно заряженные тела. Раздвижение половинок прибора позволяет сохранить индуктированные заряды и исследовать их знаки в различных условиях опыта.

Из этих опытов выводится основное правило электростатической индукции. Затем преподаватель показывает, как отвести в землю один из индуктированных зарядов и как зарядить проводник через индукцию. Учащиеся после этих опытов должны твердо знать два способа зарядения электроскопа и вообще любого проводника и должны уметь применять каждый из них. На основании индукции дается объяснение притяжения тел к наэлектризованному телу, а также и других случаев проявления индукции. В заключение объясняется устройство и действие электрофора. При этом надо подчеркнуть, что при помощи него можно было бы получить любое количество электричества, если бы не было рассеяния заряда с нижнего круга. Надо заставить учащихся продумать, за счет какой энергии получают электрические заряды на электрофоре.

Далее рассматривается действие поля на диэлектрик — поляризация диэлектрика. Поднесение диэлектрика — куска парафина — к заряженному электроскопу вызывает опускание его листочков. Опускание листочков объясняется перераспределением заряда на проводнике электроскопа, уходом части заряда с листочков к шарiku.

Переход части заряда в верхнюю часть электроскопа может быть вызван притяжением противоположного заряда диэлектрика, следовательно, и в диэлектрике под влиянием заряда электроскопа произошло перераспределение зарядов.

Невозможность раздельного получения свободных разноименных зарядов на разъединенных половинах диэлектрика заставляет предположить разделение положительного и отрицательного зарядов в пределах молекулы.

Дается объяснение поляризации диэлектрика; затем поляризацией объясняется причина ослабления взаимодействия двух зарядов в каком-либо диэлектрике по сравнению с вакуумом.

Не останавливаясь подробно на последовательности опытов по индукции и на применении ее к объяснению как ранее наблюдаемых явлений, так и новых, отмечу, что при показе опытов по индукции надо объяснять явления на основе электронной теории.

Разбирая явление индукции, преподаватель должен закрепить у учащихся ясное понимание того, что силовая линия электрического поля начинается от положительного заряда и оканчивается на отрицательном.

Учащиеся могут спросить, где же оканчивались силовые линии в опыте с положительным точечным зарядом. В связи с этим надо указать на индукцию зарядов на телах, окружающих наэлектризованное тело. При изложении явления электрической индукции так же, как при описании электризации при соприкосновении или трении, надо тщательно следить за правильностью выражений учащихся и устранять такие выражения, как движение положительных зарядов, поскольку электропроводность в металлических проводниках объясняется движением только электронов. По существу дела выражение «движение зарядов» неправильно. Нет зарядов, как чего-то отличного от вещества; существуют только элементарные частицы вещества с их электрическими свойствами. Вот к такой элементарной частице с ее электрическими свойствами и можно было бы применять исторически возникший термин «заряд», в данном случае элементарный. Заряд любого тела — совокупность элементарных зарядов.

106. Емкость проводника.

Познакомив учащихся с понятием потенциала проводника, далее надо показать, что потенциал проводника не определяется только его зарядом. Для этого надо взять два разных полых проводника и соединить каждый из них длинной проволокой с отдельным электрометром (рис. 26, Пер. III).

Если в их полости вводить одинаковые заряды, то электрометры тем не менее покажут разные потенциалы.

Необходимые для опыта равные заряды можно получить, соединив два одинаковых металлических шара, заряженных одноименным электричеством. Заряды между ними распределятся поровну. После этого каждый шар вводится во внутреннюю полость одного из проводников и при соприкосновении со стенкой полости отдает проводнику весь свой заряд. Заряжение можно повторить несколько раз.

Эти и подобные опыты показывают, что проводники отличаются друг от друга каким-то качеством, вследствие которого разные проводники требуют различного количества электричества для доведения их до одинакового потенциала или от одинаковых зарядов получают различные потенциалы. Это особое качество получает на-

звание: э л е к т р о е м к о с т ь. Надо отметить, что это название относится к тому периоду науки, когда электричество рассматривалось как особая невесомая жидкость, и что оно было введено по аналогии с емкостью сосудов и теплоемкостью тела.

Судить об этой величине можно по тому заряду, который должен быть сообщен данному проводнику, чтобы поднять его потенциал на единицу. Даются словесное определение электроемкости и ее формула, устанавливаются единицы электроемкости — электростатическая и практическая и их соотношение.

При введении понятия об электроемкости надо подчеркнуть, что это понятие рассматривается пока только по отношению к уединенному проводнику, т. е. к такому, который значительно удален от всех окружающих тел. В этом случае емкость проводника зависит только лишь от его размеров и формы. При несоблюдении этого условия емкость проводника меняется в зависимости от изменения его расстояния от других тел. Вследствие этого возникает понятие об общей емкости совокупности тел. Так подготавливается введение понятия о конденсаторе.

107. Конденсатор

После указания сходства между электроемкостью, с одной стороны, теплоемкостью и емкостью сосудов, с другой стороны, демонстрируется и их отличие, а именно: зависимость емкости данного проводника от близости других проводников. Шарик электроскопа заменяется металлическим кругом; электроскоп заряжается; при приближении к нему другого проводника потенциал электроскопа уменьшается; уменьшение становится значительнее, если приближаемый проводник отведен к земле. Так как заряд электроскопа не изменился, то единственное объяснение уменьшения потенциала заключается в признании увеличения емкости электроскопа под влиянием приближенного проводника. Демонстрируется влияние промежуточной среды на электроемкость двух сближенных проводников. Для этого между металлическими кругами вставляются поочередно парафиновая, эбонитовая, слюдяная и стеклянная пластинки.

Уточняется, что под емкостью проводника надо подразумевать емкость его при условии удаления всех остальных проводников.

Из предыдущего опыта выводится идея устройства и действия конденсатора. Подробно с демонстрациями объясняется устройство различных конденсаторов (в том числе и конденсаторов с переменной емкостью), их зарядка и разряд, дается формула их емкости (без вывода) и устанавливается назначение конденсатора.

При объяснении формулы плоского конденсатора надо остановить внимание учащихся на том, что в формулу входит площадь одной пластинки.

Из анализа формулы плоского конденсатора можно выяснить значение диэлектрической проницаемости, входящей в формулу за-

кона Кулона. Она показывает, во сколько раз изменяется емкость проводника, окруженного данным веществом, сравнительно с его емкостью в вакууме.

Желательно было бы дать понятие учащимся, как при помощи абсолютного электрометра (рис. 65) на основании формулы $q=CU$ можно градуировать электрометр в вольтах; тогда в дальнейшем можно было бы сразу пользоваться электрометром как вольтметром для абсолютных измерений потенциалов.

Глава XIX.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК (ПОСТОЯННЫЙ)

108. Условия для создания и поддержания движения электричества по проводникам

Изучая электростатику, учащиеся могли убедиться в том, что на заряженном электричеством проводнике, помещенном на хорошо изолирующей подставке в совершенно чистом, лишенном влаги, пыли и расщепленных молекул воздухе, электричество может сохраняться как угодно долго, внешне не обнаруживая никакого движения. В таком заряженном проводнике нет направленного движения электрических зарядов от одних мест к другим; но тепловое движение атомов, электронов, отделившихся от атомов, и ионов неизменно существует. Тепловое движение микрочастиц, как известно, хаотическое; вследствие этого в проводнике не обнаруживается каких-либо явлений, связанных с групповыми направленными перемещениями зарядов. Однако учащимся уже в электростатике приходилось иметь дело с направленным движением электрических зарядов, например в случае заряжения и разряжения проводника через соприкосновение.

При переходе от электростатики к электродинамике естественно поставить вопрос о причинах, обуславливающих передвижение электричества с одного проводника на другой или с одного места проводника на другое. Еще при прохождении электростатики должны быть введены термины: нулевой, положительный, отрицательный потенциалы.

На уроке, предназначенном для решения поставленного вопроса, ставится ряд простых опытов.

Два одинаковых электроскопа заряжаются до разных потенциалов сначала положительным электричеством, затем отрицательным

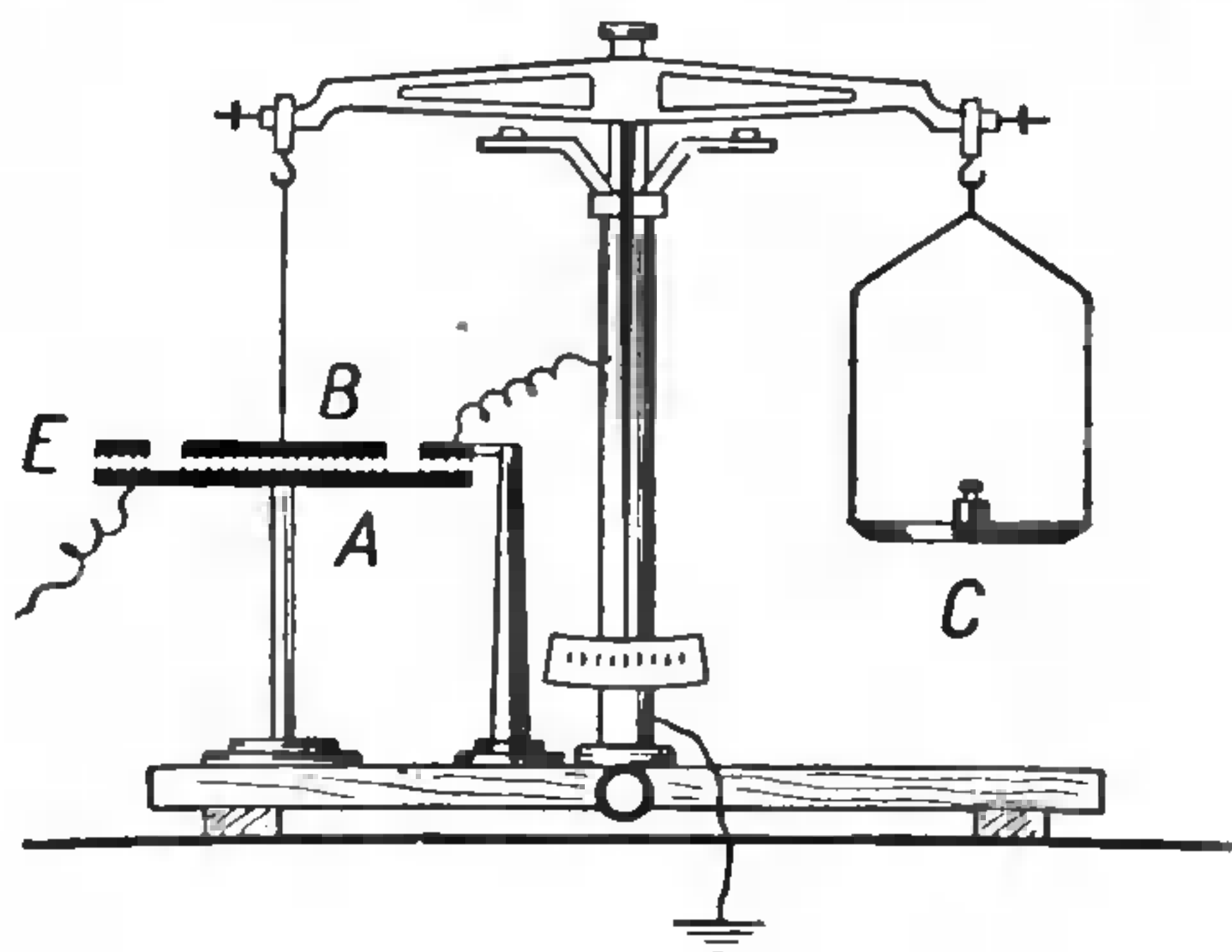


Рис. 65

(или наоборот), и каждый раз соединяются проводником. После этого листочки обоих электроскопов расходятся на одинаковые углы.

Один из электроскопов заряжается до какого-либо положительного потенциала, другой—до отрицательного и затем соединяются проводником. Листочки электроскопов после перемещения устанавливаются под одинаковыми углами.

Затем ставятся два контрольных опыта. Оба электроскопа или электрометра заряжаются положительным или отрицательным электричеством до одинаковых потенциалов и соединяются проводником. Не наблюдается никакого изменения.

Стеклянная палочка натирается на одном конце и прикасается натертым концом к шарiku электроскопа. Электроскоп обнаруживает заряд. Испытывается ненатертый конец — заряда на нем нет, хотя разность потенциалов между концами палочки существует. В диэлектрике нет свободных электронов.

Из совокупности опытов делается вывод: для движения электричества необходимо наличие двух условий: присутствие в теле свободных частиц — носителей электрических зарядов; наличие разности потенциалов—напряжения—между теми частями проводника, между которыми происходит передвижение; в свою очередь существование напряжения указывает на наличие напряженности, т. е. электрического (электростатического) поля.

Полученные в опытах перемещения зарядов были мгновенными. Как добиться более продолжительного движения зарядов? Надо между частями проводника поддерживать постоянное напряжение и заменить соединяющий металлический проводник плохим проводником.

С этой целью проводники электростатической машины соединяются длинной мокрой бечевкой или сырым деревянным стержнем, к разным местам которых присоединены листочки электроскопов. При работе машины листочки электроскопов покажут постепенное изменение потенциала вдоль проводника от наибольшего положительного значения до наименьшего отрицательного. Разность потенциалов вдоль проводника можно было бы измерять также посредством электрометра.

Из опытов делается вывод: для длительного перемещения электричества между двумя точками проводника надо непрерывно возобновлять разность потенциалов между ними; вдоль проводника устанавливается электростатическое поле как на поверхности проводника, так и внутри его, подтверждением чего могут явиться наблюдаемые явления. Эти явления (о них будет сказано дальше) подтверждают отличие поля покоящихся на проводнике зарядов от поля зарядов, движущихся вдоль проводника.

Устанавливается определение тока, как упорядоченного в определенном направлении движения электронов, при сохранении их теплового, хаотического движения. Указанным путем осуществляется переход от изучения электростатических явлений к изучению свойств постоянного тока.

109. Предварительные замечания к теме «Постоянный электрический ток»

Содержание и порядок частей темы «Постоянный ток» неоднократно менялись в ряде следовавших друг за другом программ.

Расположение вопросов в одном из вариантов программы имеет, по-видимому, задачей доказать сначала опытным путем факт существования в металле свободных электронов (термоэмиссия), а затем дать общий обзор особенностей тока в металле, вакууме, электролитах и газах. После этого осуществляется переход к изучению законов тока последовательно для металлических проводников, электролитов и газов. Но при этом все-таки природа тока в металлах, состоящая в движении свободных электронов, поставлена раньше вопроса об испускании электронов нагретыми телами, являющимся одним из доказательств существования свободных электронов в металле; сама же термоионная эмиссия включена в подтему «Работа электрического тока».

Ввиду большой неустойчивости во взглядах методистов на порядок тем и подтем по разделу «Постоянный ток» и ввиду трудности предвидеть, какой будет установлен порядок в будущей программе, изложение этого раздела в методике не может содержать поурочного развития темы. Оно будет содержать только разбор узловых вопросов темы; этот разбор может быть использован применительно к действующей и будущей программам.

Некоторые авторы предлагают вводить понятие о токе в вакууме перед изучением электрического тока в металлах, потому что при таком порядке можно исследовать ток без учета влияния вещества на движение частиц, составляющих ток, а также и потому, что выделение частиц в вакуум послужит доказательством существования их в свободном состоянии внутри металла. Последнее обстоятельство позволит учащимся лучше понять явления и законы тока в металлических проводниках.

При разборе темы «Ток в вакууме» надо использовать все те знания, которые учащиеся приобрели по электричеству в VIII классе.

110. Ток в вакууме

1. С о д е р ж а н и е и з н а ч е н и е т е м ы. Возможен следующий порядок изучения темы. Явления термоэлектронной эмиссии. Двухэлектродная лампа как выпрямитель. Трехэлектродная лампа как усилитель. Электронно-лучевая трубка. Холодная эмиссия. Электронные лучи и их свойства. Движение электрона в электрическом и магнитном полях.

Можно несколько изменить содержание темы и разбить ее на такие подтемы: термоэлектронная эмиссия, фотоэмиссия, вторичная электронная эмиссия и техническое использование электронных явлений в вакууме.

Наряду с большим научным значением темы очень велико и ее политехническое значение. На явлении термоэлектронной эмиссии основано устройство электронных ламп, фотоэлектронная эмиссия используется для изготовления фотореле.

Электронные лампы составляют основу современной автоматики, телемеханики, вычислительных машин, устройств, применяемых в качестве выпрямителей и усилителей переменных токов. Основанные на фотоэлектронной эмиссии фотореле применяются для автоматического управления различными установками.

2. Т е р м о э л е к т р о н н а я э м и с с и я. В качестве вступления к теме может служить напоминание, что изученные электростатические явления получали объяснение на основании электронной теории. В связи с этим интересно было бы изучить свойства отдельного электрона. Но как и где его можно выделить? По-видимому, проще всего это можно сделать в вакууме, где воздействие на электрон со стороны частиц вещества сведено до минимума. Какими средствами можно отделить электроны от металла, если они действительно находятся в нем в свободном состоянии, а именно в состоянии теплового хаотического движения, образуя электронное облако, окружающее атомы металла?

Никакие явления не указывают на возможность отделения электронов механическими средствами.

Нельзя ли воздействовать на них, усиливая скорость их хаотического движения и имея в виду, что при хаотическом движении встречаются различные скорости, бóльшие и меньшие средних?

Для ответа на поставленный вопрос ставится опыт, описанный в учебнике (Пер. III, § 30, рисунок 42).

Из опыта делается вывод, что из раскаленных металлов выделяются только носители отрицательного электричества, но не носители положительного электричества, которые прочно связаны в кристаллической решетке металла. Явление так называемой термоэмиссии похоже на переход быстрееших молекул из жидкости в пар при испарении. Дальнейшее изучение свойств выделенных частиц позволит показать, что они являются теми самыми электронами, о которых шла речь в электростатике.

3. Ф о т о э л е к т р о н н а я э м и с с и я. Далее переходят к показу второго способа выделения электронов в вакуум — фотоэлектронной эмиссии. Показ явления и описание его возможно провести в объеме школьного учебника физики (Пер. III, § 183) без вывода законов для фототока, разбор которых будет проведен в другом месте курса.

4. В т о р и ч н а я э м и с с и я. Дополнительно к показанным способам получения тока в вакууме следует рассказать и о третьем источнике его — так называемой вторичной эмиссии. Под вторичной эмиссией понимается вырывание электронов внешним электрическим полем.

5. Э к с п е р и м е н т а л ь н о е д о к а з а т е л ь с т в о с у щ е с т в о в а н и я э л е м е н т а р н о г о з а р я д а. Второй

урок можно посвятить более детальному изучению свойств электрона — электрических и механических. С этой целью следует рассказать прежде всего об опытах А. Ф. Иоффе. Так как ни в школьном, ни в элементарном учебнике нет описания этого опыта, то придется его привести здесь¹.

Основную часть прибора составляет плоский конденсатор с горизонтально расположенными пластинками, следовательно, с вертикальным электрическим (электростатическим) полем (рис. 66). Пластинки конденсатора заряжались при помощи потенциометра P , питаемого батареей аккумуляторов E . Напряжение измерялось вольтметром V , направление поля изменялось при помощи переключателя T . Наблюдение за тем, что происходило в поле, производилось при помощи микроскопа, труба

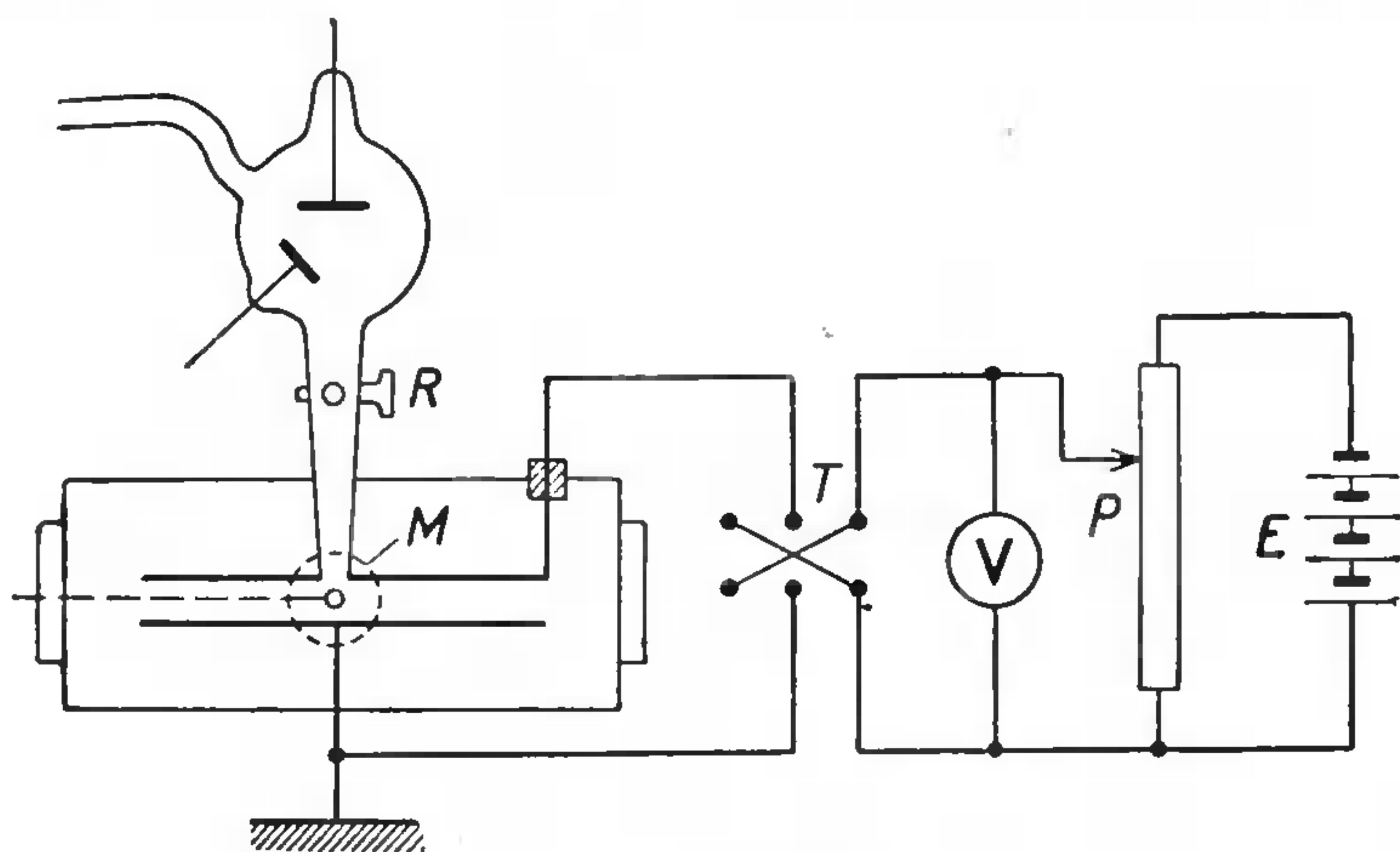


Рис. 66

которого перпендикулярна к чертежу и дает в сечении пунктирную окружность M . В газоразрядной трубке, соединенной через кран R с внутренней полостью конденсатора, происходило при прохождении разряда распыление металлического катода. Отдельные металлические пылинки через кран могли попадать в воздушный промежуток конденсатора. В незаряженном конденсаторе пылинки падали равномерно подобно пушинке или снежинке под действием собственного веса. Подачей напряжения на конденсатор можно было изменять скорость движения пылинки. Поэтому, что пылинки при этом начинала перемещаться в сторону положительно заряженной пластинки, можно было заключить, что при распылении катода она становилась отрицательно заряженной.

Подбором соответствующей величины разности потенциалов на обкладках конденсатора и направления поля можно было уравновесить электрической силой вес пылинки и заставить ее десятки минут оставаться неподвижной внутри конденсатора.

¹ На основании курса Е. А. Штрауфа, «Электричество и магнетизм», ГТТИ, М.—Л., 1950, гл. VI, § 2, рис. 62.

Пользуясь фотоэлектронной эмиссией, а именно освещая пылинку ультрафиолетовым светом малой интенсивности, можно было вывести пылинку скачком из ее уравновешенного состояния. Это изменение состояния пылинки указывало на изменение ее электрического состояния. Изменение напряжения на пластинках конденсатора позволяло восстановить уравновешенное состояние.

Фотоэлектронную эмиссию с пылинкой можно производить многократно, измеряя каждый раз новые разности потенциалов, при которых равновесие восстанавливалось. В разных опытах можно было получать различные металлические пылинки. Элементарная математическая обработка данных измерения показала, что отрицательный заряд меняется под действием света всегда на величину, кратную наименьшей строго определенной величине. Далее можно было заключить, что отрицательные заряды, появляющиеся на пылинках при их образовании, также имеют определенные значения, всегда кратные одной и той же величине. Эту последнюю естественно принять за элементарный заряд.

Но опыты Иоффе не дали материала для измерения этого элементарного заряда. Эту задачу решили опыты Милликена, описанные в Элем. учеб., ч. III, § 193, рисунок 342. Выводы из них: заряды, полученные при трении, заряды газовых ионов кратны одному и тому же элементарному заряду; все встречающиеся в природе положительные и отрицательные заряды состоят из целого числа элементарных зарядов; размер элементарного заряда $e_0 = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{к}$; электрон обнаруживает свойства отрицательного элементарного заряда, или, иными словами, электрон имеет отрицательный элементарный заряд.

Следующие три урока уделяются показу в действии и объяснению устройства двухэлектродной и трехэлектродной ламп и электронно-лучевой трубки и использования первой в качестве выпрямителя и второй в качестве усилителя.

Движение электрона в электрическом и магнитном полях мне представляется возможным отнести к теме «Ток в газах».

111. Ток в металлических проводниках

1. **С о д е р ж а н и е т е м ы.** Многие части темы «Постоянный ток в металлических проводниках» давно и обстоятельно разработаны в учебниках. Таковы, например, вопросы о соединении проводников и источников тока, о законе Джоуля — Ленца. Поэтому в дальнейшем изложении внимание будет уделено лишь разъяснению отдельных явлений и характеризующих их величин.

2. *Электрический ток в металлических проводниках представляет направленное движение электронов.* На первом уроке по этой теме преподаватель собирает в одно целое все наблюдения и сведения о существовании свободных электронов в металле: явления термо-и фотоэлектронной эмиссии, опыты Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси в 1912 году, повторенные через 4 года Толманом

и Стюартом, из которых следует, что существующие в металлах свободные электроны обладают инерцией.

Эти сведения надо дополнить рассказом об опытах Рике, доказавших, что атомы и ионы металла не участвуют в создании электрического тока в металлах. Как известно, Рике пропускал в течение длительного времени ток в $10a$ через стык разнородных металлических цилиндров и по прошествии этого времени не обнаружил никакого переноса вещества одного металла в другой.

Пока кусок или стержень металла не включен в цепь электрического тока, свободные электроны движутся в нем хаотически, подобно газовым молекулам. При включении металла в цепь и после замыкания ее в цепи распространяется со скоростью света электрическое поле, которое и приводит в движение свободные электроны через все сечения цепи. По сравнению академика А. Ф. Иоффе, в замкнутой цепи движущиеся электроны уподобляются рою беспорядочно летающих мошек, гонимому ветром в одном определенном направлении.

Надо сравнить также электрический ток с током воды по трубам водяного отопления в здании.

На вопрос учащихся, с какой скоростью распространяется ток по цепи, надо указать, что следует различать две стороны вопроса: 1) возникновение тока по всей замкнутой цепи происходит со скоростью света; 2) передвижение определенных электронов происходит с ничтожными скоростями, различными для различных веществ, например в металле со скоростью в $100 \frac{см}{сек}$ при падении напряжения в $1 \frac{в}{см}$.

3. Э л е к т р о д в и ж у щ а я с и л а. Один из уроков должен быть посвящен выяснению понятия об э. д. с. в цепи тока. Так как в школьном учебнике выяснению этого понятия уделено всего полстраницы и немного более об этом сказано в «Элементарном учебнике физики», то необходимо подробнее изложить этот вопрос. Ниже дается дополнительный материал к теме, заимствованный преимущественно из курса Е. А. Штрауфа¹.

Подвести учащихся к пониманию э. д. с. можно, вернувшись к анализу показанного раньше опыта по соединению проводником двух других проводников, заряженных до разных потенциалов (§ 108). Под действием электростатического поля заряды перемещаются так, что разность потенциалов проводников уменьшается, потенциалы выравниваются, напряженность поля обращается в нуль, и движение прекращается. Чтобы поддерживать движение зарядов, надо возобновлять разность потенциалов, что можно было бы сделать, перенося заряды в противоположном направлении (от В к А, см. рис. 67,а). Но такой перенос в направлении, противоположном направлению напряженности электростатического поля,

¹ «Электричество и магнетизм», ГТТИ, М.—Л., 1950, стр. 146.

не может быть выполнен самим электростатическим полем. Если он выполняется, а он действительно выполняется во всякой замкнутой цепи, то для этого должны быть привлечены силы уже не данного электростатического поля, а так называемые *сторонние* силы. Какие это именно сторонние силы, зависит от вида энергии, расходуемой на перенос зарядов. Учащиеся отчасти уже знакомы с этими сторонними силами. Так, в электростатических машинах наравне с электростатическими силами (явление индукции) участвуют и другие силы, определяющие так называемую электризацию трением. В изученных учащимися в VIII классе гальванических элементах и аккумуляторах используется химическая энергия, в других известных им из того же курса генераторах — механическая энергия; в дальнейшем они познакомятся с другими источниками.

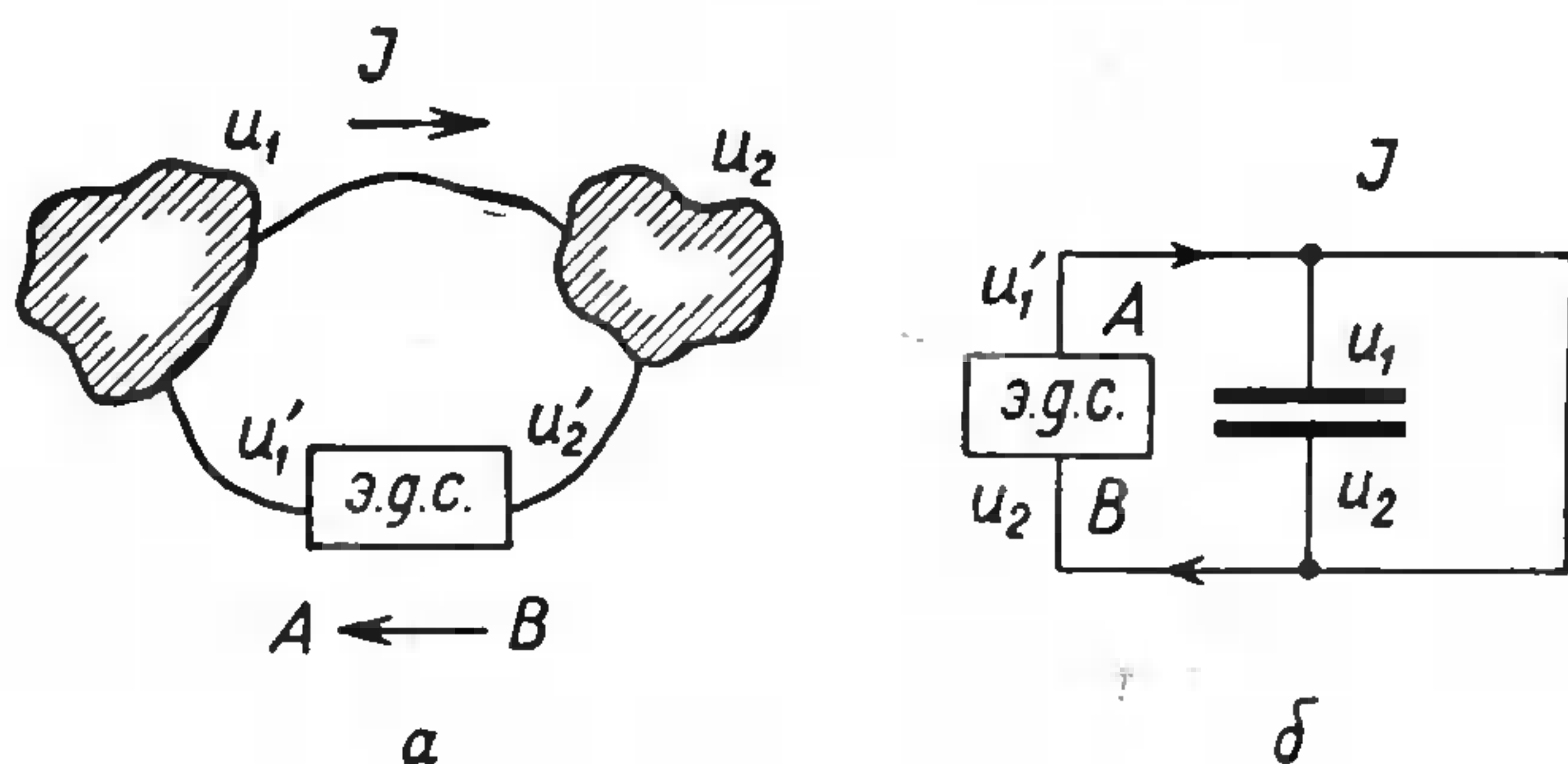


Рис. 67

Назначение сторонних сил — совершать работу по перемещению зарядов против электростатических сил, за счет которой восстанавливается энергия электростатического поля (за вычетом той части, которая превращается в теплоту). Определение э. д. с.: величина работы, совершаемой сторонними силами при перемещении единицы положительного электричества при полном обходе замкнутой цепи, измеряет электродвижущую силу, действующую в этой цепи.

Э. д. с. в полной цепи равна алгебраической сумме э. д. с. на отдельных участках.

Из определения следует, что э. д. с. измеряется теми же единицами, что и разность потенциалов.

Сравним работу э. д. с. с работой электростатического поля. Для этого представим себе, что цепь разомкнута на участке однородного проводника¹.

Тогда по мере продвижения зарядов сторонними силами и накопления их на обеих ветвях разомкнутой цепи разность потенциалов между ними будет возрастать, а вместе с тем будет возрастать и напряженность электрического поля и величина электри-

¹ Если цепь разомкнута так, что оба конца ее состоят из однородного проводника при одной и той же температуре и, следовательно, не заключают между собой источника э. д. с., то такая цепь называется «правильно» разомкнутой цепью.

ческих сил, препятствующих происходящему передвижению зарядов. Процесс прекратится лишь тогда, когда возрастающие электрические силы сравняются по величине со сторонними силами не электростатического характера.

Если при этом условии равновесия сил заряд был перенесен вдоль всей цепи от одного конца ее до другого, то работа силы электростатической и работа силы сторонней оказались бы равными по величине и противоположными по знаку.

Остановимся на способе измерения э. д. с. Так как работа электростатической силы при перемещении единицы количества электричества равна разности потенциалов между концами разомкнутой цепи, то той же разностью потенциалов между концами правильно разомкнутой цепи измеряется и величина э. д. с. Прибором для ее измерения может служить вольтметр.

Рассмотрим направление э. д. с. Во внутренней части цепи, внутри источника, сторонние силы движут электрические заряды против электростатических сил; во внешней части цепи, вне источника, сторонние силы действуют в направлении электростатических сил.

В науке принято условие считать за направление э. д. с. то направление, в котором перемещаются положительные заряды, следовательно, э. д. с. внутри источника направлена от отрицательного полюса к положительному. При этом полюсами называются места, разграничивающие внешнюю и внутреннюю части цепи. Полюс с большим потенциалом получил название положительного, с меньшим — отрицательного.

4. Т о к. В современной физике слово «ток» применяется в двух смыслах: для обозначения самого явления и для обозначения величины одной из характеристик явления, которая до последнего времени носила название «сила тока». Но слово «сила» здесь применено так же неудачно, как и в некоторых других случаях, например «сила света», «лошадиная сила», так как в этих случаях под словом «сила» понимается совсем не та величина, которая принята в механике.

Учащиеся знают определение тока (силы тока) еще из курса VIII класса. Теперь надо связать это определение с понятием о токе, как об упорядоченном движении элементарных зарядов. Для установления этой связи целесообразно показать учащимся, что количество электричества, проходящее через поперечное сечение проводника в 1 секунду, переносится электронами с элементарным зарядом e , перемещающимися в электрическом поле со скоростью v собственного поступательного движения вдоль проводника. В таком случае через сечение проводника S за 1 секунду пройдут частицы, заключенные в объеме цилиндра (или призмы) с основанием S и высотой, равной пути, проходимому в 1 секунду, т. е. числу v . Все частицы, находящиеся от рассматриваемого сечения дальше, чем путь v , не успевают дойти до него за одну секунду (рис. 68).

Если обозначить через n «концентрацию» электронов, т. е. число свободных электронов в единице объема (1 см^3), то все число электронов, проходящих через сечение S в 1 сек., будет $n v S$, а их электрический заряд, движение которого составляет ток, будет $I = en v S$.

Не усложняя формулы, можно отметить, что величина e для всех проводников одна и та же (как элементарный заряд); концентрация n меняется от металла к металлу в зависимости от строения атома и кристаллической решетки.

Скорость v зависит от напряженности поля E и, следовательно, от падения напряжения на единице длины ($E = \frac{U}{l}$).

Таким образом, можно дать понять, что токи в различных проводниках при одинаковых их размерах, температурах и при одном и том же напряжении на них будут различными.

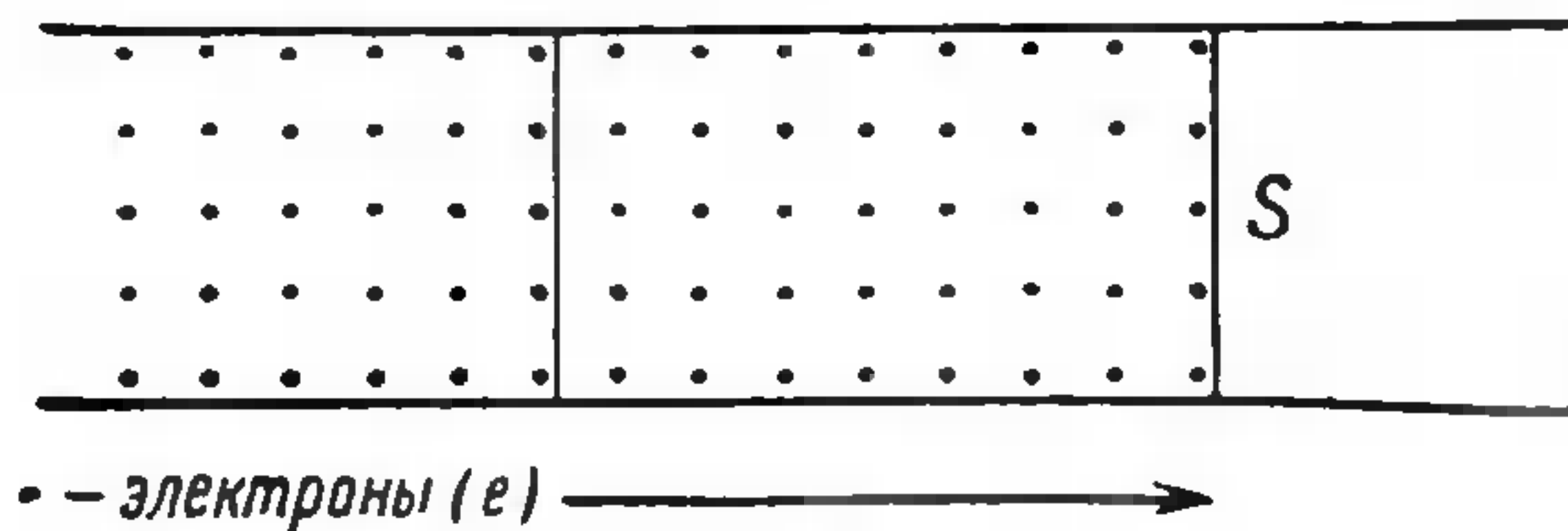


Рис. 68

Это различие, о котором учащиеся знали уже в VIII классе, приписывалось тому, что различные вещества, из которых составлены проводники, оказывают току различное сопротивление, или обладают различной электропроводностью. Термин выбран по аналогии с сопротивлением току воды или газа в трубах. Но природа сопротивления электрическому току иная, чем водяному или газовому. Она должна быть тщательно разъяснена на основе электронной теории.

5. Э л е к т р о п р о в о д н о с т ь. Оба учебника — школьный и элементарный — подводят учащихся к понятию об электропроводности проводника через экспериментальный вывод закона Ома для участка цепи. Далее рассматриваются вопросы о зависимости сопротивления (величины, обратной электропроводности) от вещества, размеров, температуры, о последовательном и параллельном соединении проводников, о шунтировании измерительных приборов, об устройстве и включении в цепь вольтметра и, наконец, приводятся примерные расчеты для цепей и задачи для таких расчетов.

Методика изложения всех этих вопросов на классных демонстрациях или изучения их на лабораторных занятиях достаточно хорошо разработана в учебниках и в руководствах для лабораторных работ, поэтому в курсе методики они могут быть оставлены без особых указаний. Но в школьном учебнике не дано объяснения сопротивления с электронной точки зрения, чему должно быть уделено внимание в этом месте курса.

Если бы атомы металла были расположены строго в узлах кристаллической решетки, то они не оказывали бы заметного сопротивления прохождению тока. Всякая неоднородность или непра-

Если бы атомы металла были расположены строго в узлах кристаллической решетки, то они не оказывали бы заметного сопротивления прохождению тока. Всякая неоднородность или непра-

вильность в расположении атомов отклоняет электроны от первоначального направления, рассеивает их по всем направлениям, причем электроны отдают свою энергию атомам металла или получают ее от них. Таким образом, сопротивление проводника обусловлено взаимодействием электронов с атомами проводника.

Каковы же причины неоднородности? 1) Тепловое движение атомов. Здесь скрывается причина уменьшения электропроводности металлических проводников с возрастанием температуры. 2) Наличие примесей; всякий посторонний атом, внедренный в металл, создает в нем неоднородность, рассеивающую потоки электронов. Отсюда сопротивление сплавов больше сопротивления чистых металлов. Так как рассеяние, вызываемое примесями, не зависит от температуры и при низких температурах оказывает большее влияние на рассеяние электронов, чем неоднородности вследствие хаотического теплового движения, то сопротивление сплавов значительно меньше зависит от температуры, чем сопротивление чистых металлов.

К сказанному выше можно присоединить еще объяснение, данное в Элем. учеб. (ч. II, стр. 190). Учащимся надо объяснить, почему сопротивление проводника увеличивается с его длиной.

Если длину проводника l увеличить до l_1 , то при одинаковом напряжении U на том и другом проводнике напряженность поля внутри второго проводника

$E_1 = \frac{U}{l_1}$ будет меньше напряженности

внутри первого $E = \frac{U}{l}$. От напряженности же поля зависит скорость поступательного движения электронов v . С уменьшением скорости v уменьшается ток $I = envS$. Уменьшение тока воспринимается как увеличение сопротивления.

Увеличение сечения проводника, как видно из той же формулы для тока, при том же напряжении приведет к увеличению тока, что воспринимается как уменьшение сопротивления.

Отдельно следует остановиться на выяснении вопроса о внутреннем сопротивлении источника тока на примере какого-либо гальванического элемента.

Это понятие вводится на основании качественной демонстрации существования внутреннего сопротивления элемента и зависимости его от длины и площади сечения электродов. Для этой демонстрации удобно взять сосуд элемента в форме, изображенной на рисунке 69.

Передвигая полюсные пластинки или вынимая их из жидкости на разные высоты, можно качественно продемонстрировать все стороны зависимости сопротивления от размеров жидкого проводника между погруженными в жидкость пластинками.

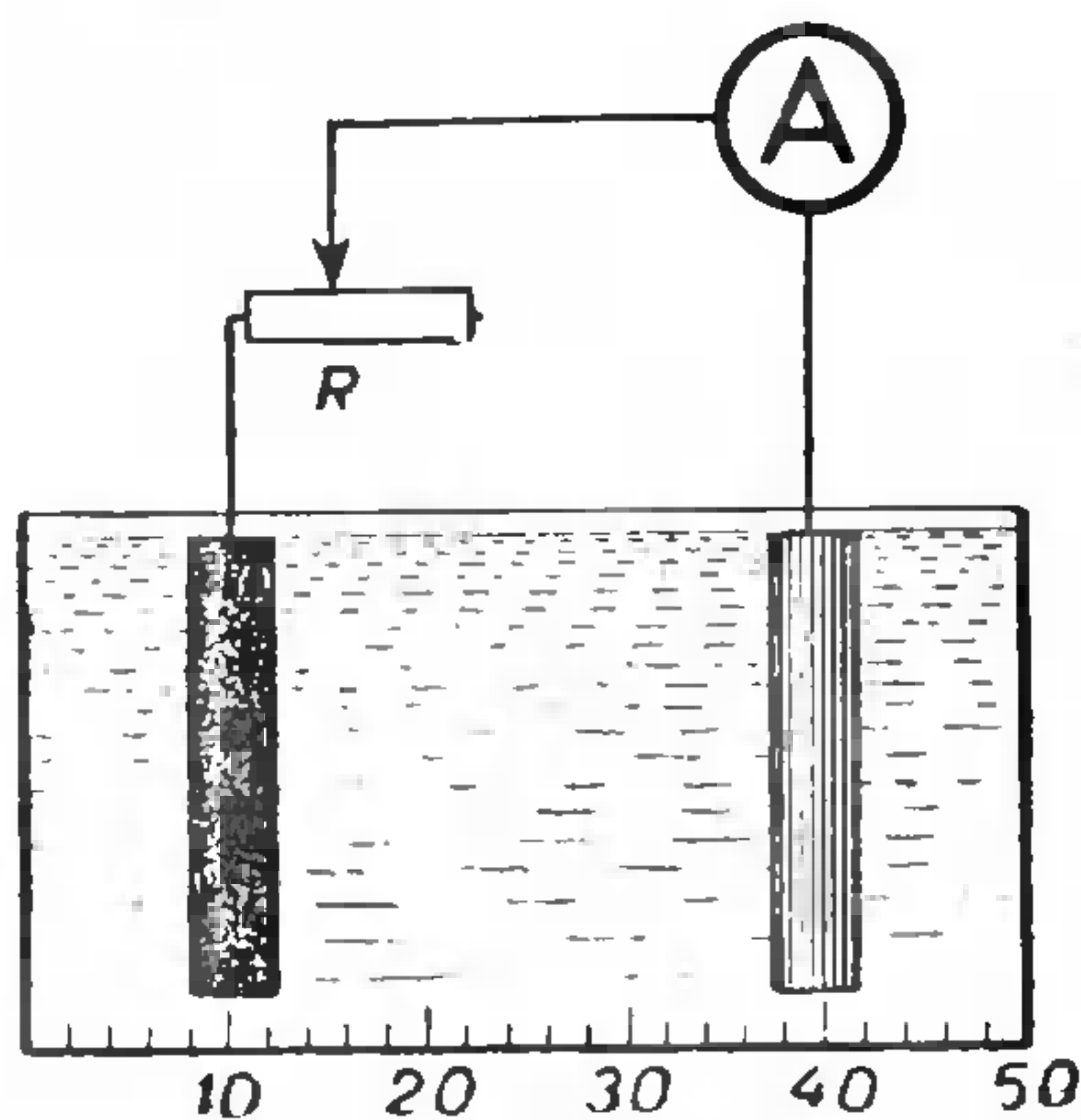


Рис. 69

Понятие об экспериментальном измерении внутреннего сопротивления можно получить на основании следующих соображений. Если взять два совершенно одинаковых гальванических элемента и включить их последовательно в общую цепь тока так, чтобы они были соединены одинаковыми полюсами, то они не изменят э.д.с. в цепи, но сопротивление цепи увеличится на величину, равную удвоенному сопротивлению отдельного элемента. Измерив общее сопротивление двух элементов путем замещения (известно из курса VIII класса) и разделив его пополам, можно определить сопротивление одного гальванического элемента.

6. П о л у п р о в о д н и к и. В последнее время все чаще раздаются голоса преподавателей, настаивающих на необходимости включения в программу средней школы темы об электрических свойствах полупроводников ввиду того значения, которое получили полупроводники в современной науке и в особенности в современной технике. Действительно, применение полупроводников стало основой прогресса в ряде областей техники: в радиотехнике, автоматике, телемеханике, холодильной технике и в др.

В ожидании, что эта тема войдет со временем в программу средней школы или по крайней мере составит содержание внеклассных занятий, я считаю необходимым включить методику ее изложения¹ в настоящее руководство за счет сокращения других тем раздела «Постоянный ток», обстоятельно разработанных в существующих учебниках.

В начале рассказа о полупроводниках и их свойствах учащимся сообщается, что твердые тела в зависимости от величины удельного сопротивления делятся на три класса: металлы, полупроводники и диэлектрики (см. таблицу, в ней удельное сопротивление выражено в $\frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$).

Металлы	Полупроводники	Диэлектрики
$10^2 - 10^{-1}$	$10^{-1} - 10^{10}$	$10^{10} - 10^{15}$

Затем подчеркивается, что полупроводники отличаются от металлов не только величиной удельного сопротивления. Их главное качественное различие заключается в иной, чем у металлов, зависимости электрических свойств от внешних условий.

К полупроводникам относится большинство тел на земле: ряд элементов (германий, кремний, селен, теллур и др.), почти все окислы металлов и различные металлические соединения, многие минералы.

¹ Изложение этой темы написано аспиранткой кафедры методики физики Моск. гос. пед. ин-та им. В. И. Ленина Э. Г. Храмовой (Дубицкой).

Как влияют внешние условия — температура и освещение — на проводимость полупроводников? Ответ на этот вопрос дают два опыта:

1-й опыт. Составляем цепь из гальванометра, источника тока в 3—5 в и термистора¹. Нагреваем термистор рукой, затем спичкой². Из этого опыта учащиеся делают вывод, что проводимость полупроводников сильно увеличивается с увеличением температуры. Сравниваем в этом отношении полупроводники с металлами.

2-й опыт. Используя фотосопротивления ФС-К1 или ФС-К2, показываем влияние освещения на сопротивление полупроводников.

Общий вывод: в отличие от металлов, сопротивление некоторых полупроводников сильно зависит от внешних условий: нагревания и освещения.

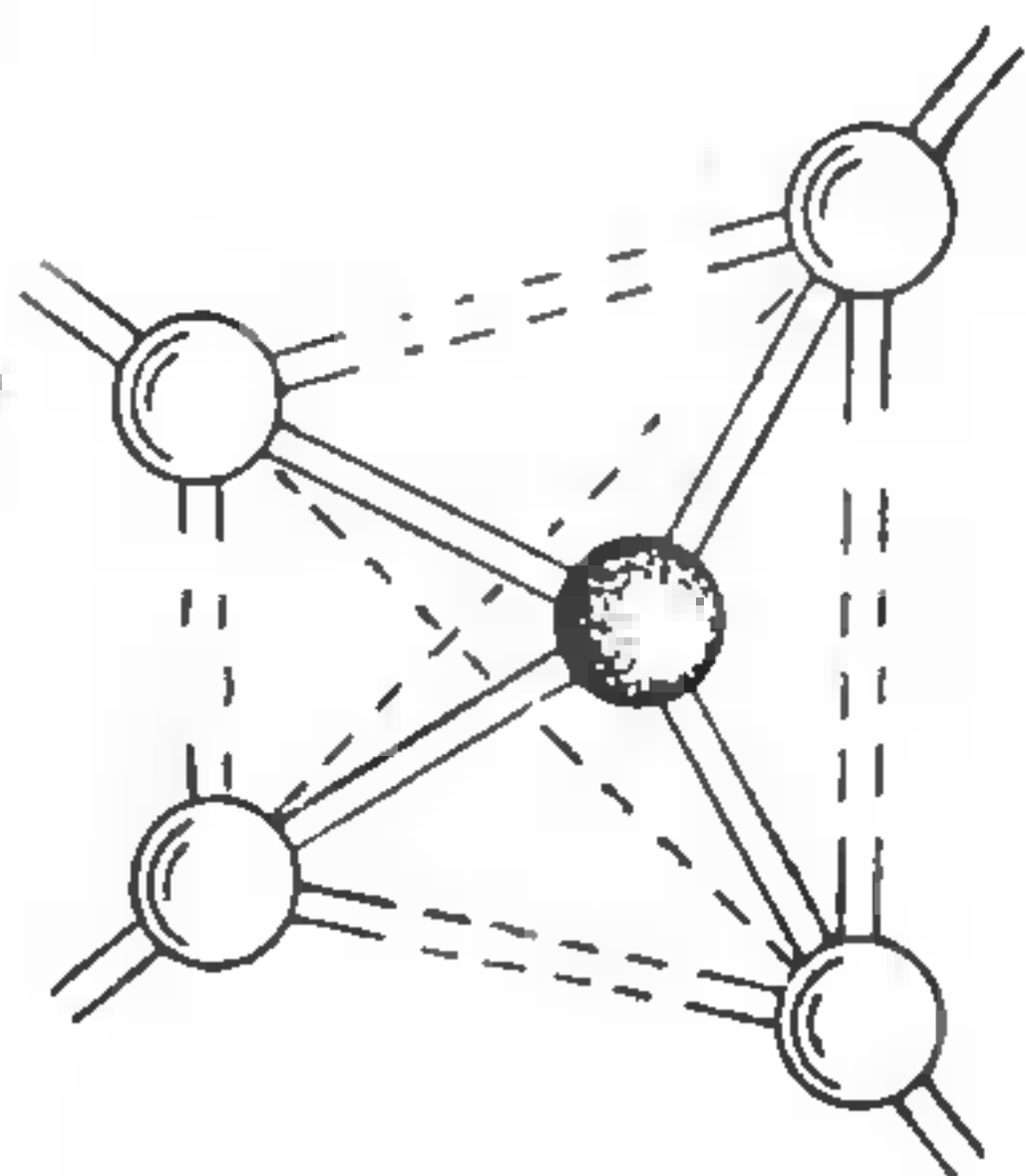


Рис. 70а

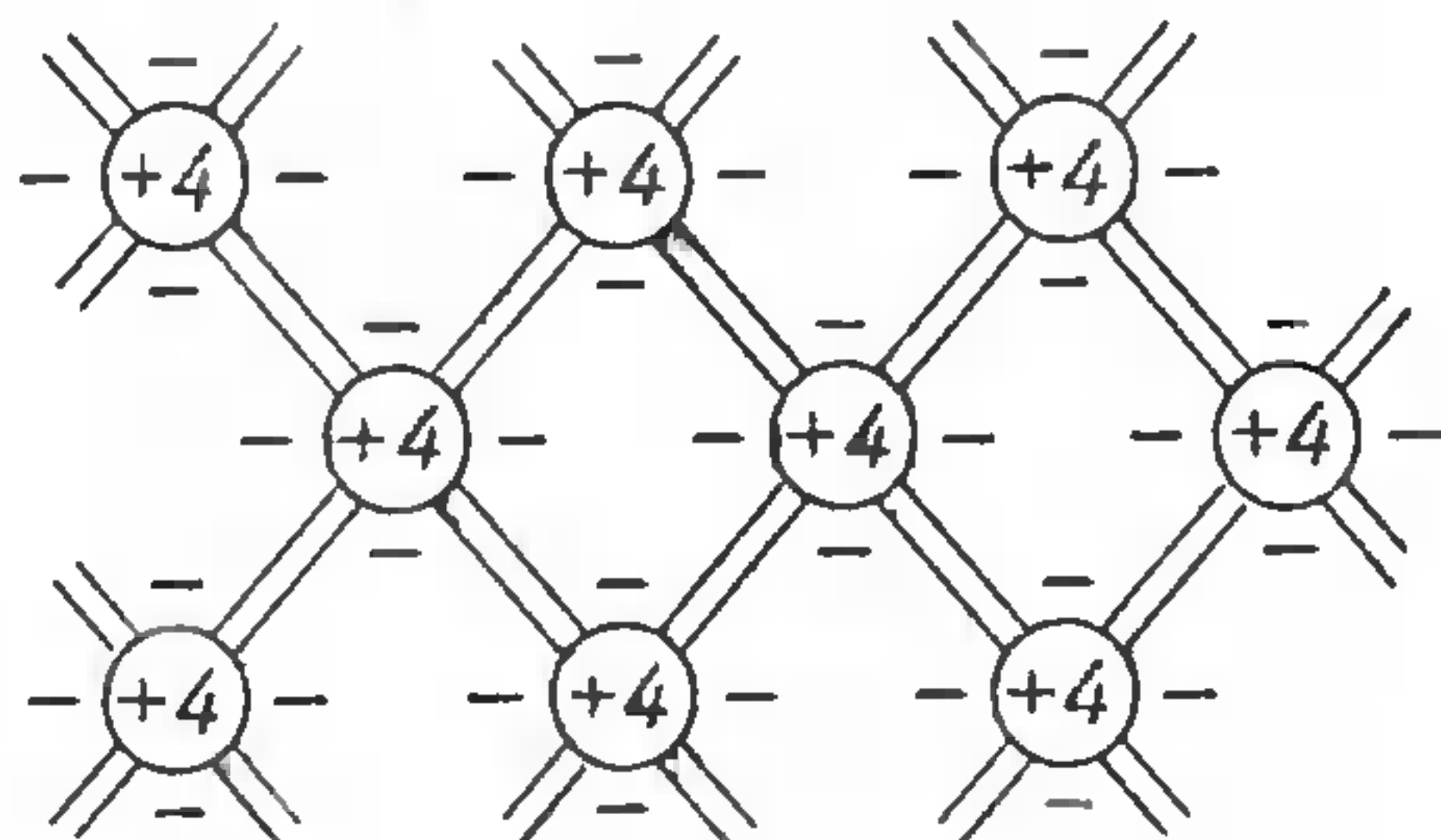


Рис. 70б

Для понимания свойств полупроводников следует рассмотреть их внутреннюю структуру. Удобнее всего это сделать на примере германия или кремния, наиболее употребляемых в технике полупроводников. Германий (и кремний) четырехвалентен, решетка его атомная, имеет форму правильного тетраэдра, так что каждый атом, находящийся в центре тетраэдра, окружен четырьмя соседними, расположенными на одинаковых расстояниях в его вершинах (рис. 70 а). В одной плоскости решетка германия изображена на рисунке 70 б; четыре валентных электрона в такой решетке попарно связаны между собой атомными (или ковалентными) связями. Попарно связанные электроны изображены на рисунке в виде двух линий со знаками минус.

В идеальной решетке все четыре валентных электрона устойчиво связаны, свободных нет, и, следовательно, электрического тока проводимости быть не может. Чтобы стать свободным, электрон должен преодолеть силу связи, для этого необходима дополнительная энергия. Такую энергию электрон может получить при нагревании, облучении светом, рентгеновскими лучами.

¹ Термистором называется сопротивление из полупроводника; он представляет собой бусинку величиной с булавочную головку, к которой припаяна пара тончайших металлических усиков.

² Близко подносить спичку нельзя, так как термисторы допускают нагревание только до 120° С.

Ставший «свободным» электрон будет хаотически передвигаться внутри решетки — «дрейфовать». При этом он может вновь закрепиться, заняв одно из свободных мест. Поскольку причиной освобождения электронов является тепловое движение, то число их зависит от температуры.

(Напоминаем, что у металлов число свободных электронов постоянно и от температуры не зависит.)

Очевидно, что при температуре, близкой к абсолютному нулю, любой полупроводник будет идеальным диэлектриком. С повышением температуры число свободных электронов растет, а вместе с тем растет и электропроводность вещества.

Аналогично действует и освещение, облучение рентгеновскими лучами, потоком элементарных частиц¹.

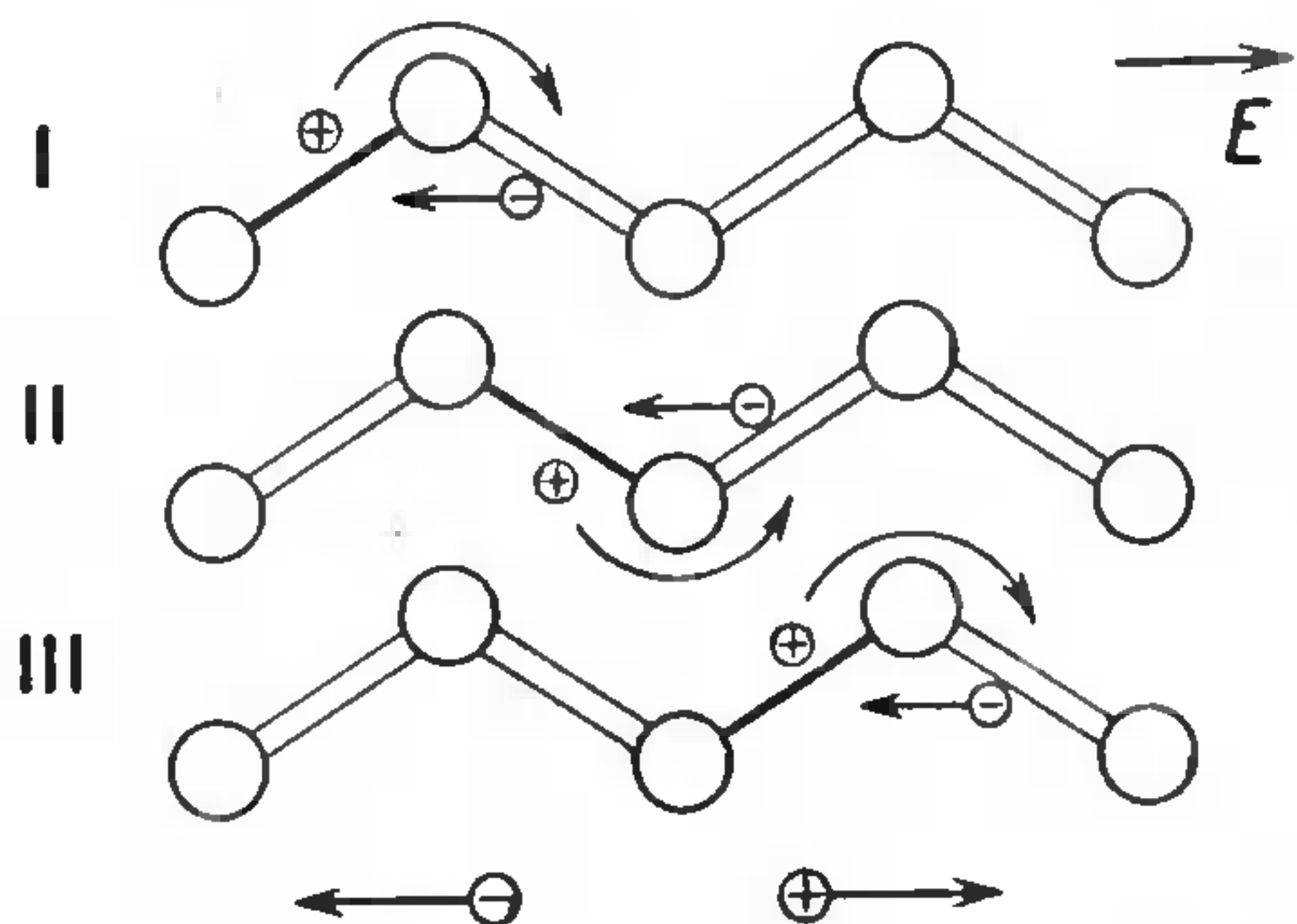


Рис. 71

Диэлектрики отличаются от полупроводников тем, что энергия, необходимая для освобождения электронов, в них очень велика.

Существуют два типа проводимости полупроводников: электронная проводимость и «дырочная». «Дырочная» проводимость — явление очень сложное и объяснить его можно лишь весьма приближенно.

На том месте, с которого ушел электрон, остался положительный ион, т. е. образовалась пустая, незаполненная связь. На это свободное место — пустую связь — может случайно, в результате тепловых колебаний, перескочить электрон с соседней связи, тогда последняя останется свободной. Эта свободная, незаполненная связь довольно неудачно была названа «дыркой».

Значит, в результате движения электронов одни «дырки» заполняются, а другие освобождаются. При наличии огромного большинства заполненных электронами связей в полупроводнике и небольшого числа «дырок» удобно при рассмотрении электрических процессов говорить не о движении электронов, происходящем в действительности, а о движении редких «дырок».

Если полупроводник, в котором имеются такие незаполненные связи — «дырки», поместить в электрическое поле, то движение «дырок» станет направленным, так как под действием силы поля электроны будут занимать места преимущественно против поля, а «дырки» благодаря этому перемещаться по полю (это поясняется схематическим рисунком 71). Перемещение «дырок» происходит так же, как происходило бы перемещение положительных зарядов.

¹ Подробнее эти вопросы могут быть рассмотрены в конце курса при изучении фотоэффекта, рентгеновских лучей, строения атома.

Поэтому «дырку» можно считать эквивалентной положительному заряду. Нужно еще раз напомнить учащимся, что «дырки» обязаны своим перемещением движению электронов, но формально можно считать, что происходит как бы движение «дырок». Такое представление процесса проводимости позволяет использовать математический аппарат для количественного описания явления.

В чистом полупроводнике каждому освобожденному электрону соответствует «дырка». Общий ток будет равен сумме электронного и «дырочного» токов. Такая проводимость называется собственной.

Большое влияние на проводимость полупроводников оказывают примеси. Их введение в кристалл может создать условия, при которых число «дырок» не будет равно числу свободных электронов.

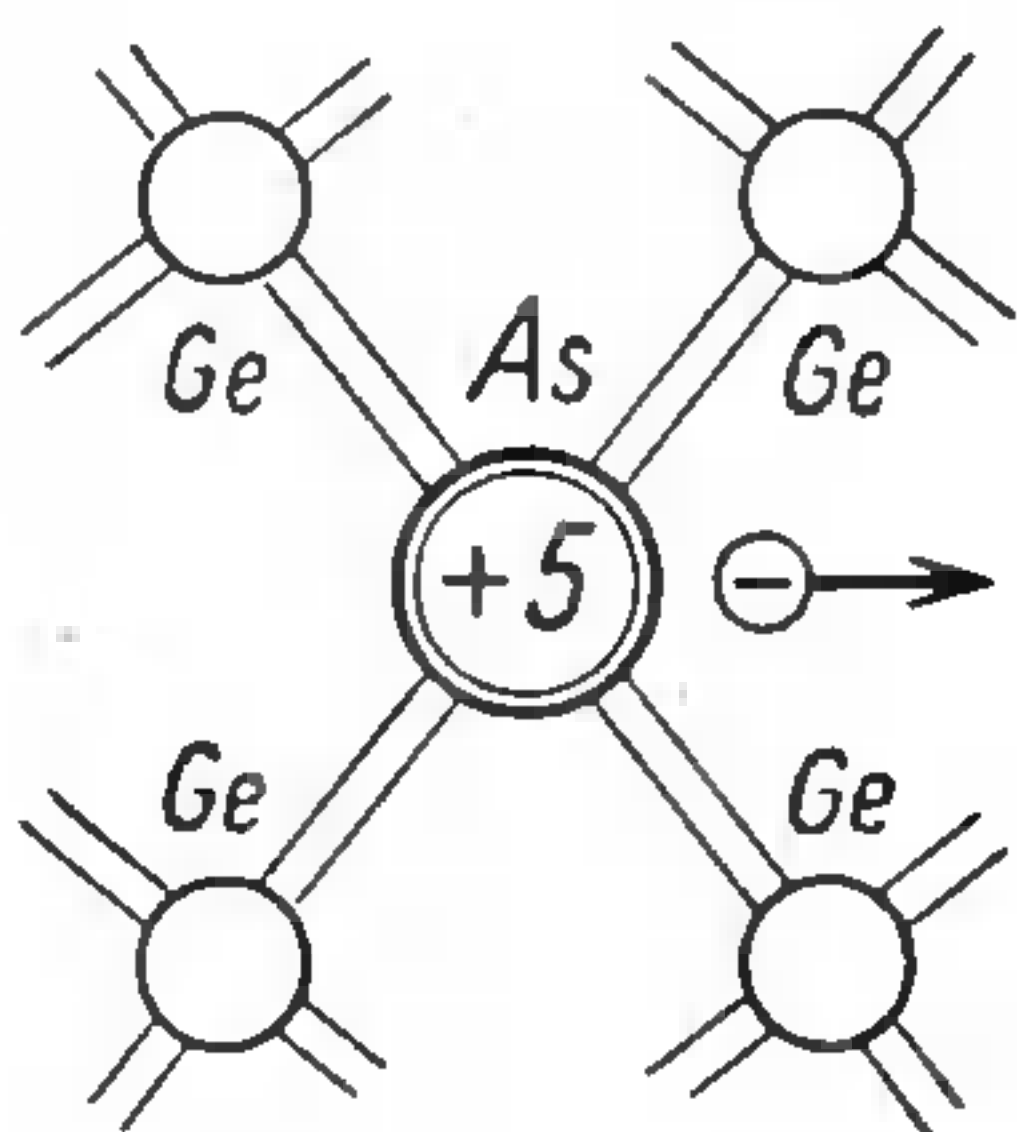


Рис. 72

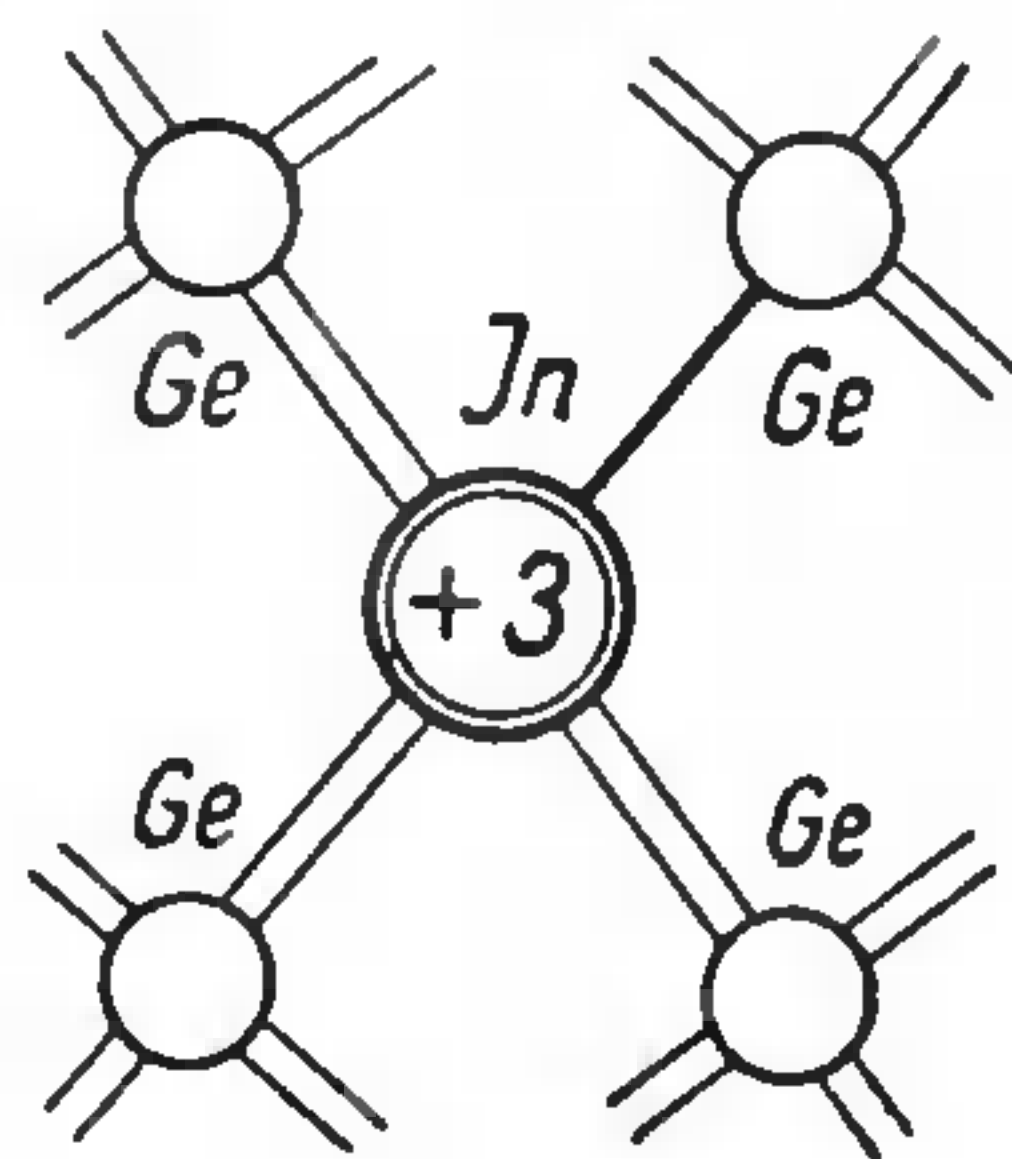


Рис. 73

Объяснить это учащимся можно на примере влияния

примеси пятивалентного элемента в германии (например, мышьяка). Атом мышьяка занимает место основного атома германия. Четыре электрона примеси участвуют в образовании связей с соседними атомами, пятый только слабо притягивается к своему ядру. Поэтому он легко отделяется от него, становясь свободным (рис. 72). В таком полупроводнике в создании тока участвуют в основном свободные электроны. Он называется электронным. Если же в германии в небольшом количестве введена примесь трехвалентного элемента (например, индия), то атомы примеси в этом случае являются поставщиками «дырок». Действительно, в образовании связей с соседними электронами атомов германия участвуют только три валентных электрона атома индия (рис. 73). Четвертая связь остается незаполненной. Образовалась «дырка». В данном случае возникновение «дырки» не сопровождалось появлением свободного электрона. Такой полупроводник называется «дырочным».

Таким образом, примеси посторонних элементов в полупроводниках являются поставщиками свободных зарядов. Небольшой процент примеси повышает электропроводность вещества в миллионы раз.

С помощью учащихся нужно сравнить влияние примесей на полупроводники и металлы.

Итак, свойства полупроводников сильно зависят от внешних условий. Это дает возможность управлять их свойствами, изменять их в нужную сторону, использовать для создания самых разнообразных приборов.

Желательно познакомить учащихся с некоторыми техническими применениями полупроводников. Так, в теме «Переменный ток»

нужно рассказать о полупроводниковых выпрямителях. При изучении фотоэффекта можно познакомиться с фотосопротивлениями и полупроводниковыми фотоэлементами. Термоэлектрический эффект нагляднее и проще, чем в металлических термопарах, протекает в полупроводниковых термоэлементах.

7. Закон Ома для полной цепи. Переходя к изложению закона Ома для цепи, преподаватель напоминает, что учащиеся познакомились с тремя характеристиками цепи электрического тока: величиной (силой) тока в цепи, сопротивлением проводников, составляющих цепь, и напряжением, существующим на каждом проводнике при прохождении по нему тока.

Для участка цепи, как это было выяснено в курсе VIII класса, указанные характеристики связаны определенным соотношением — законом Ома для участка цепи. В X классе желательно повторить эксперимент для проверки этого закона.

Вывод закона Ома для полной цепи может быть сделан или при помощи опыта, описанного в школьном учебнике, или при помощи следующей серии опытов, которые могут быть поставлены в виде классной демонстрации и лабораторной работы в практикуме.

В первую очередь устанавливается зависимость тока в цепи от полного сопротивления цепи при одной и той же э. д. с.

Надо взять сосуд, изображенный на рисунке 69, цинковую и угольную пластинки, наполнить такой сосуд раствором серной кислоты с прибавлением двуххромовокислого калия (15%), опустить в раствор пластинки и получить, таким образом, элемент Грене. Составив цепь из этого элемента при электродах, поставленных на определенном расстоянии, внешнего сопротивления и амперметра, измеряют ток.

Увеличивая внешнее сопротивление вдвое и отодвигая пластинки элемента на вдвое большее расстояние, вновь измеряют ток. Повторяя опыты при разных комбинациях внешнего сопротивления и расстояниях электродов элемента, можно вывести из опыта обратную пропорциональность тока и полного сопротивления цепи при одной и той же э. д. с.

Второй ряд опытов устанавливает зависимость между э. д. с. и током при одном и том же полном сопротивлении цепи.

Для этого достаточно взять 5 одинаковых сухих элементов, из которых каждый имеет э. д. с., равную E^1 .

Элементы соединены последовательно. Общая э. д. с. по измерению или вычислению будет равна $E_1 = 5E$. Батарея замыкается определенным внешним сопротивлением. Амперметр, включенный в цепь, покажет ток I_1 .

Во второй собранной цепи один из элементов включается противоположно остальным. Э. д. с. $E_2 = 3E$. Полное сопротивление цепи остается прежним. Ток I_2 .

¹ Такой подбор не обязателен: он делается ради простоты.

Наконец, в третьем варианте цепи два элемента включаются в цепь противоположно остальным трем. $E_3 = E$, ток I_3 , полное сопротивление цепи — прежнее. Вычисляя отношения $I_1 : I_2 : I_3$ и $E_1 : E_2 : E_3$, можно из опыта установить пропорциональность тока и э. д. с. при одном и том же сопротивлении.

Соединяя вместе результаты двух серий опытов и принимая во внимание единицы, в которых выражены исследуемые величины, можно вывести закон Ома для полной цепи и дать его выражение

$$I = \frac{E}{r_i + r_e}.$$

Полное сопротивление цепи можно представить в виде суммы внешнего сопротивления r_e и внутреннего r_i и дать формулу закона Ома в виде $E = Ir_e + Ir_i$.

Она показывает, что та работа, которая может быть получена за счет энергии источника для продвижения по цепи каждого кулона, распадается на две части: на работу продвижения кулона по внешнему участку цепи и на работу продвижения его внутри элемента. Какое именно количество кулонов в секунду пройдет по цепи, зависит не только от э. д. с., но и от сопротивления. Ток будет тем больше, чем большую работу можно получить за счет энергии источника и чем меньше сопротивление цепи.

Каков бы ни был ток, всегда во внешней части цепи на каждый кулон придется работа, равная $U_e = Ir_e$, и во внутренней $U_i = Ir_i$.

Из закона Ома для полной цепи можно вывести ряд следствий. Надо рассчитать и показать на опыте, как изменится напряжение на полюсах источника тока в замкнутой цепи при уменьшении и увеличении внешнего сопротивления. Из анализа формулы и из опытов надо установить, с каким внутренним сопротивлением надо выбирать источники тока, чтобы напряжение в рабочей части цепи было возможно большим. С этим расчетом надо сопоставить получение наибольшей мощности электрического тока во внешней цепи.

Наконец, надо показать на демонстрации или, что лучше, на самостоятельной работе учащихся, как можно измерить внутреннее сопротивление источника.

В дальнейшем закон Ома применяется к расчету тока в цепи, присоединенной к батарее элементов.

112. Тепловое действие тока.

1. **З а к о н Д ж о у л я — Л е н ц а.** Учащиеся изучили закон Джоуля—Ленца для теплового действия тока в VIII классе. Поэтому в X классе следует вывести выражение энергии электрического тока из выражения работы при перемещении заряда из точки с потенциалом U_1 в точку с потенциалом U_2 , т. е. дать выражение

$$W = q (U_1 - U_2) = q U.$$

Попутно надо отметить, что название единицы энергии — джоуль может быть заменено наименованием: кулон-вольт.

Закон Джоуля—Ленца также надо вывести теоретически из выражения энергии, формулы закона Ома и величины термического эквивалента работы в $\frac{\text{кал}}{\text{дж}}$, отметив, что этот вывод может быть сделан только для того случая, когда вся энергия тока полностью превращается в теплоту.

Выделение теплоты в проводнике при прохождении электрического тока надо привести в связь с электронной проводимостью.

Во время прохождения тока непрерывно происходит переход энергии упорядоченного движения электронов в энергию хаотического движения атомов, ионов и электронов, вследствие чего увеличивается внутренняя энергия проводника. Этими процессами объясняется выделение теплоты в цепи тока. Тепловое действие составляет неперемнное свойство всякого электрического тока.

При изучении закона теплового действия тока надо особенно обстоятельно разобрать с учащимися следующие три случая. 1) Если проводники соединены последовательно, то количество теплоты, выделяемое при прохождении тока, пропорционально сопротивлению (ток одинаков во всех участках). 2) Если проводники соединены параллельно, то большее количество теплоты выделяется в той ветви, где сопротивление меньше (преобладающее влияние I^2 перед r при обратной пропорциональности I и r). 3) Теплота по мере нагревания цепи выделяется все медленнее: сопротивление увеличивается, ток убывает, $I^2 r$ убывает.

Также надо обратить внимание учащихся на то, что между количеством теплоты, выделяемым в проводнике при прохождении тока, и температурой нагрева проводника не существует простого соотношения. Температура нагрева зависит не только от количества выделенной теплоты, но и от массы проводника, его удельной теплоемкости и условий теплоотдачи. На задачах можно показать, что стоваттная газополная лампа имеет температуру накала волоска около 2500° при ежесекундном расходе теплоты в 24 кал, тогда как шестисотваттная электрическая плита при ежесекундном расходе теплоты в 144 кал, т. е. в 6 раз больше, чем у лампы, нагревается только до 800° .

2. Т е р м о э л е к т р и ч е с т в о. Разбирая очень кратко тему о термоэлектричестве, необходимо опираться на закон превращения и сохранения энергии и на обратимость явлений: при прохождении электрического тока изменение его энергии связано с выделением теплоты; в термоэлементе теплота, сообщаемая извне, превращается в энергию электрического тока.

3. И с п о л ь з о в а н и е т е п л о в о г о д е й с т в и я т о к а в т е х н и к е. Тепловое действие тока чрезвычайно широко используется в технике. Связь физики и техники в этом отделе должна быть отчетливо выявлена. Со многими из технических применений тока учащиеся познакомились в VIII классе. Преподава-

тель хорошо делает, если, не ограничившись их повторением, добавит новые сведения, в частности расскажет о последних достижениях в этой области.

Много открытий и изобретений в области научного и технического использования теплового действия тока сделано русскими учеными и инженерами. Их имена, жизнь и деятельность должны быть широко представлены в рассказах преподавателя и в докладах учащихся. Если можно, следует повторить ряд исторических опытов.

На протяжении всего XIX в. развитие учения об электричестве связано с именами русских ученых: В. В. Петрова, первым получившего электрическую дугу, Э. Х. Ленца, открывшего закон теплового действия тока, П. Н. Яблочкова, изобретателя электрической свечи, носящей его имя, А. Н. Лодыгина, первым создавшего лампочку накаливания, Н. Г. Славянова и Н. Н. Бенардоса, впервые применивших электросварку, Е. О. Патона, разработавшего технологию контактной автоматической сварки и автоматической сварки под слоем флюса.

Материалы по биографиям и трудам можно найти в следующих изданиях:

В. В. Д а н и л е в с к и й. Русская техника, изд. 2, АН СССР. Комиссия по истории техники, 1948. Глава VII «Русский свет». Глава VIII «Творцы электрической сварки».

«Люди русской науки», т. I, II, Огиз, 1948 (Ломоносов, Петров, Ленц, Яблочков, Лодыгин).

В. В. Петров, акад. Сборник под ред. акад. Вавилова, АН СССР, 1940.

Л. Д. Б е л к и н д, Академик Василий Петров. «История техники», вып. IV, ОНТИ, 1936, стр. 229—337.

Н. А. К а п ц о в, Павел Николаевич Яблочков. Гостехиздат, М.—Л., 1957.

М. А. Ш а т е л е н, Пионеры электрического освещения. Воениздат, М., 1947, 35 стр. с иллюстрациями.

Л. Д. Б е л к и н д, Александр Николаевич Лодыгин. Очерк жизни и деятельности. Госэнергоиздат, М., 1948, 63 стр. с иллюстр.

А. Ф. И о ф ф е, Полупроводники. Научно-популяр. серия, изд. АН СССР, 1955.

113. Ток в электролитах.

1. С о д е р ж а н и е т е м ы. Содержание темы выражено в действующей программе следующим образом: электролиз, законы Фарадея, определение заряда одновалентного иона, применение электролиза в технике, Якоби — изобретатель гальванопластики. Хотя в программу не введен вопрос о химических источниках тока, но в числе демонстраций названа демонстрация химических источников электрического тока. В программе предлагается лабораторная работа по определению электрохимического эквивалента.

2. Э л е к т р о л и т и ч е с к а я д и с с о ц и а ц и я и и о н н а я п р о в о д и м о с т ь э л е к т р о л и т о в. В начале темы повторяются полученные учащимися на уроках химии знания о диссоциации молекул солей и кислот при их растворении главным

образом в воде. Диссоциация связана с распадом молекул на ионы, несущие на себе равные по величине, но разнородные заряды.

Физическая причина распада — ослабление взаимодействия разнородно заряженных частей молекулы растворяемого вещества вследствие влияния электрических зарядов молекул растворителя.

Отсутствие каких-либо электрических свойств такого раствора, называемого электролитом, свидетельствует о том, что в электролите ионы, находясь, подобно молекулам, в хаотическом движении, равномерно перемешаны. Внешнее электрическое поле придает им при сохранении их беспорядочного теплового движения также и направленное движение вдоль поля.

Движение ионов в двух противоположных направлениях под действием электрического поля создает электрический ток в электролитах. Поэтому проводимость электролитов называется иононностью проводимостью.

При разборе электролитической диссоциации надо подчеркнуть, что диссоциация молекул в растворе происходит независимо от внешнего электрического поля, что диссоциация сопровождается молизацией (обратным соединением ионов в молекулы), при которой меняются в растворе самые ионы, но не число их, зависящее при прочих одинаковых условиях только от концентрации раствора. При этом надо отметить, что не всякие вещества при растворении распадаются на ионы. Например, такого распада не происходит с сахаром. Поэтому сахарный раствор не является электролитом.

Прохождение тока через электролит лучше всего показать на таком веществе, ионы которого не вступают во взаимодействие с раствором или с электродами.

Подходящим для этого веществом является соляная кислота HCl . В приборе Гофмана или в сосуде с пробочным дном и пробирками, надетыми на вставленные в дно электроды (платиновые или угольные), или в универсальном вольтметре¹ показывается прохождение тока через раствор соляной кислоты. Полученный на катоде водород обнаруживается по горению, а хлор, выделяющийся на аноде, замечен по слабой зеленоватой окраске раствора, выделяющейся на фоне белого экрана, поставленного сзади трубки.

Дается общий вывод относительно результатов прохождения электричества через электролит.

Что же происходит с ионами, подошедшими к электродам? Катионы получают с катода, отрицательного полюса источника тока, недостающие им электроны и нейтрализуются. Анионы отдают избыток электронов аноду, положительному полюсу источника тока, и также нейтрализуются.

Таким образом, на электродах происходит изменение зарядов ионов, отдача или присоединение электронов частицами вещества под действием внешнего электрического поля. Это изменение и является электролизом в современном понимании его.

¹ Физ. эксп., т. III, § 32, 2.

Надо подчеркнуть учащимся, что на границе электрод — электролит происходит смена ионной проводимости электронной, и наоборот.

Выделение нейтральных частиц на электродах представляет собой уже химическое действие и является следствием электролиза. Внутри электролита никакого выделения вещества не происходит (демонстрация).

Для закрепления понятия об ионной проводимости жидкости и нейтрализации ионов на электродах полезно показать один из фильмов по электролизу.

Надо отметить, что движение электричества в жидкости уподобляется конвекции теплоты, так как электричество перемещается вместе с частями вещества.

Движение ионов и различие их скоростей движения следует продемонстрировать. В «Физ. эксп.» (§ 34) описаны четыре вида таких демонстраций. Простейшей из них является следующая.

Вырезают из фильтровальной бумаги вдоль ее волокон (если они ясно видны) полоску $4\text{ см} \times 9\text{ см}$ и погружают ее в раствор поваренной соли, в который добавлен или фенолфталеин или метилоранж. Вынутую из раствора бумагу кладут на стеклянную пластинку и поперек нее посередине протягивают белую нитку, смоченную в растворе едкого кали (если бумага смочена фенолфталеином) или соляной кислоты (если был взят метилоранж). По обе стороны нитки на равных расстояниях бумагу плотно прижимают медными пластинками — электродами, к которым подводят постоянный ток с напряжением около 100 в (рис. 74). Движущиеся по бумаге к электродам ионы окрашивают ее, причем более быстрые ионы окрашивают больший участок бумаги.

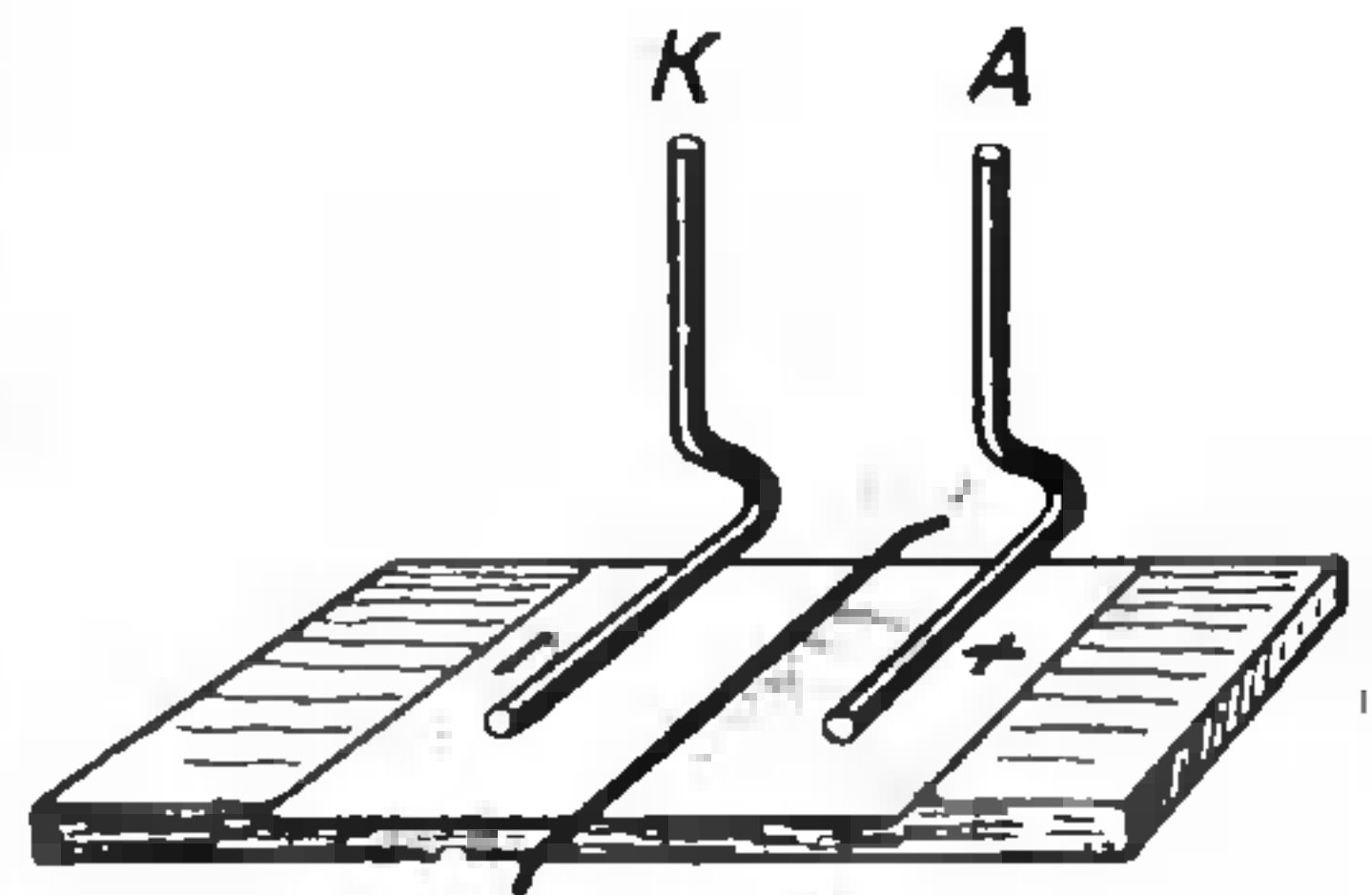


Рис. 74

Можно привести данные относительно скорости движения различных ионов¹ и противопоставить эти малые скорости ионов почти мгновенному установлению тока во всей цепи.

3. Закон Фарадея для электролиза. Закон Фарадея, определение числа Фарадея и измерение величины элементарного заряда достаточно подробно изложены в школьном учебнике. Эти вопросы не нуждаются в дополнительных методических указаниях.

4. Технические применения электролиза. Технические применения электролиза очень разнообразны и имеют весьма важное значение в социалистическом хозяйстве. Им следует уделить значительное время и внимание.

¹ К. А. Путилов, Курс физики, т. II, § 410. Скорости ионов в водном растворе при 18° в см/сек в поле $1 \frac{\text{в}}{\text{см}}$: NO_3^- —0,00062; Na^+ —0,000435; SO_4^{--} —0,000685; Ag^+ —0,00056; OH^- —0,00174.

Как известно, прикладная электрохимия распадается на две основные части: гальванотехнику и электрометаллургию.

Гальванотехника в свою очередь распадается на три вида: гальваностегию, гальванотипию и гальванопластику.

Последнюю открыл русский ученый Борис Семёнович Я к о б и (1801—1874), с жизнью и деятельностью которого учащиеся должны обязательно познакомиться.

Это открытие имело очень важное значение. Полстолетия спустя после открытия гальванопластики, Русское техническое общество дало следующую оценку его: «В истории образованности открытие гальванопластики должно быть приравнено по своему значению к открытию книгопечатания, а для России открытие это имеет еще и другую цену — оно сделано в России русским ученым, академиком Якоби».

Электрометаллургия состоит в получении путем электролиза чистых металлов или элементов.

В нашем Союзе построены громадные заводы для получения алюминия, для рафинирования меди. Электролитически добываются водород, хлор, едкий натр, последний из громадных отложений глауберовой соли в заливе Каспийского моря Кара-Богаз-Гол.

Об этих применениях достаточно подробно рассказано в учебнике. Но в нем ничего не сказано об использовании в технике анодных явлений. И о них надо рассказать учащимся, хотя бы в общих чертах. Остановимся кратко на этих явлениях.

а) Э л е к т р о п о л и р о в к а м е т а л л а. Полируемое изделие ставится анодом и подвергается растворению. Наиболее быстрое растворение происходит на выступах, вследствие чего при соответствующем подборе тока происходит сглаживание выступов изделия, т. е. полировка его.

б) О к с и д и р о в а н и е а л ю м и н и я и е г о с п л а в о в.

Алюминиевое изделие помещается на место анода. При электролизе кислоты освобождающийся на аноде кислород окисляет алюминий, вследствие чего образуется тончайшая стекловидная пленка Al_2O_3 , обладающая высокой механической и диэлектрической прочностью и предохраняющая металл от коррозии.

ЛИТЕРАТУРА ПО ТЕМЕ.

«Люди русской науки», ОГИЗ, т. II, 1948 (Борис Семенович Якоби, стр. 894—898),

В. В. Д а н и л е в с к и й, «Русская техника», изд. 2, 1948, (Якоби, стр. 344—350).

М. И. Р а д о в с к и й, Гальвани и Вольта, Госэнергоиздат, 1941.

Л. Я. П о п и л о в, Технология электрополировки металлов, 1953.

П. К. Л а в о р к о, Оксидирование металлов, Машгиз, 1951.

С. А. Б а л е з и н, Отчего и как разрушаются металлы, Учпедгиз, М. 1958.

1. Общие замечания к теме. Так как проводимость газов смешанная—ионно-электронная, то изучать ее следует после изучения чисто электронной проводимости металлов и чисто ионной проводимости электролитов. Сопоставление и противопоставление этих видов проводимости позволит лучше понять природу тока в газах.

Тему можно разделить на части: несамостоятельный разряд (с понятием о токе насыщения); самостоятельный разряд (с его различными видами) при атмосферном давлении; разряд при пониженном давлении; техническое использование разряда в газах: участие отечественных ученых в открытиях, в теоретической разработке и в практическом использовании газовых разрядов.

2. Несамостоятельный разряд; ток насыщения. Поставив опыт, описанный в Элем. учеб. (ч. II, § 92), преподаватель обращает внимание учащихся на возникновение тока между обкладками конденсатора при приближении пламени к воздушному промежутку. Ученикам уже известно, что электрический ток представляет собой упорядоченное движение частиц вещества, обнаруживающих электрические свойства. Такими частицами не могут быть сами молекулы, которые электрически нейтральны.

Первый опыт показывает, что ток создается газовыми ионами (ионами молекул газа) и что пламя является ионизатором¹.

Отодвигание или удаление пламени (показ на опыте) влечет за собой уменьшение или прекращение тока. Отсюда вывод: ионизация газа — явление временное, быстро прекращающееся при отсутствии или уменьшении действия ионизатора. Вводится термин «рекомбинация ионов», объясняется, в чем состоит рекомбинация газовых ионов и в чем отличие рекомбинации газовых ионов от молизации диссоциированных в жидкости ионов растворенного вещества.

Надо подчеркнуть и другое отличие ионизации газов от ионизации электролитов: в электролите оба иона — сравнимые между собой величины по массе уже в момент диссоциации; в газах же молекула распадается на электрон и ион; затем электроны и ионы могут присоединяться к одной или к нескольким газовым нейтральным молекулам и образовывать легкие или тяжелые ионы, подобные ионам жидкости. Движением электронов и ионов объясняется демонстрируемый в классе разряд с острия, электрический ветер и движение так называемого колеса Франклина.

Разряд заряженных тел — самостоятельный разряд, вызываемый посторонними ионизаторами; он называется тихим разрядом, так как не сопровождается ни звуковыми, ни световыми явлениями.

Далее, увеличивая напряжение на воздушном промежутке, можно показать усиление тока и, наконец, достижение током на-

¹ Здесь же можно показать или рассказать и о других ионизаторах.

сыщения, открытого знаменитым русским ученым А. Г. Столетовым.

Ток насыщения начинается с определенного момента, когда под действием ускоряющей разности потенциалов ионы получают такие скорости, при которых рекомбинация не успевает происходить, и все образующиеся в единицу времени ионы доходят до электродов. Так как количество образуемых ионов обуславливается деятельностью ионизатора, то дальнейшее увеличение напряжения уже не может направить к электродам большее количество ионов; возникает ток, независимый от напряжения, «ток насыщения».

Следует, как это сделано в школьном учебнике, показать ионизацию газовых молекул толчком и образование лавины ионов.

Надо подчеркнуть, что в электропроводности газа, обусловленной ударной ионизацией, участвуют как ионы — положительные и отрицательные, — так и электроны; вот почему электропроводность газов является электронно-ионной.

Сравнивая ток в металлических проводниках, электролитах и газах, надо отметить, что условием осуществления пропорциональной зависимости между током и напряжением является существование в проводящем веществе большого количества подвижных электризованных частиц.

При показе и рассказе об электризации толчком и о появлении лавины частиц надо подчеркнуть, что при достаточно сильном поле может существовать ток в газе и без наличия внешнего ионизатора. В воздухе всегда находится небольшое количество ионов, образующихся, например, под действием радиоактивного излучения некоторых пород земной коры; под их влиянием возникает примерно 5 пар газовых ионов в 1 сек. в 1 см³.

Явление электризации толчком подводит к изучению явления самостоятельного разряда в газах.

3. В и д ы с а м о с т о я т е л ь н ы х р а з р я д о в в г а з е п р и а т м о с ф е р н о м д а в л е н и и. а) К и с т е в о й разряд в виде свечения на электродах возникает в сильно неоднородных полях. Его можно показать в виде свечения на различных частях приведенной в действие электростатической машины при раздвинутых проводниках ее.

В природе он наблюдается в виде свечения остриев корабельных мачт, ружейных штыков, игол хвойных деревьев, когда напряженность земного электрического поля достигает значительной величины.

б) К о р о н н ы й разряд представляет собой свечение газа вокруг проводника, по которому идет ток, при очень большой напряженности поля, создающего ударную ионизацию воздуха вокруг проводника; разряд сопровождается шипением и легким потрескиванием. Показать корону можно при помощи опыта, описанного в § 95 II части Элем. учеб., рис. 162. Так как эта демонстрация весьма желательна, то заимствуем оттуда ее описание.

Между двумя высокими изолирующими подставками *A* и *B* натягивается металлическая проволока диаметром в несколько десятков долей миллиметра. Один конец проволоки присоединяется к отрицательному полюсу электрической машины *M*, другой ее полюс отведен к земле (рис. 75).

При достижении значительной напряженности поля между проволокой и стенами комнаты (то и другое образует как бы конденсатор) вокруг проволоки появляется «корона». Чувствительный гальванометр *G*, включенный между проволокой и генератором высокого напряжения, покажет во время свечения короны ток, идущий от машины по соединительному проводнику к проволоке, окруженной короной, и от нее по воздуху к стенам комнаты, соеди-

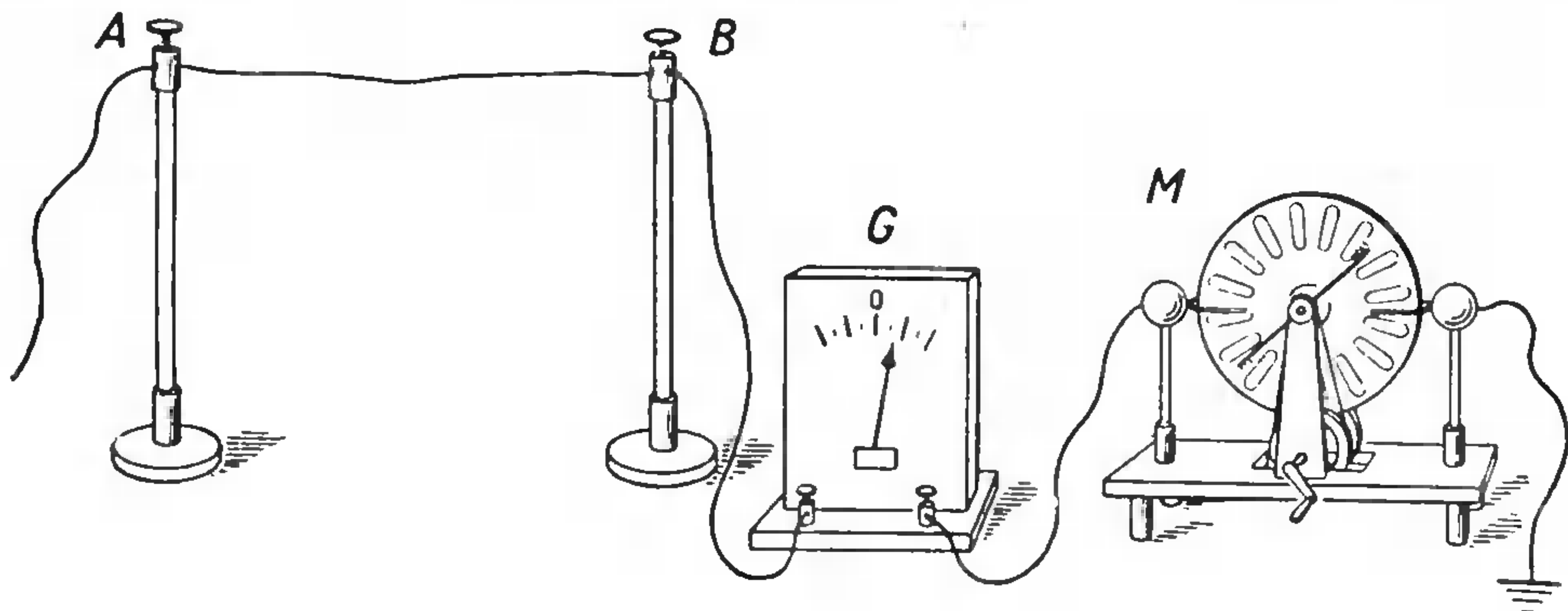


Рис. 75

ненным с другим полюсом машины. Ток в воздухе между проволокой и стенами обусловлен движением ионов, образовавшихся в результате ударной ионизации.

При разборе коронного разряда надо указать на образование короны вокруг проводов, по которым передается на дальние расстояния ток под высоким напряжением, и на происходящие при этом потери электрической энергии.

в) И с к р а представляет собой чрезвычайно кратковременный разряд (в пределах стотысячных долей секунды), проходящий по узкому каналу, наполненному нагретыми газами. Искре предшествует невидимый глазу разряд по более широкому каналу, в котором воздух местами сильно нагревается, электропроводность газа увеличивается, ток усиливается, температура поднимается еще выше, и весь разряд проходит уже по более узкому каналу.

Демонстрации искры общеизвестны. Искры можно получить между полюсами электрической машины, батареи конденсаторов или катушки Румкорфа. Явление подробно описано в учебниках (рис. 102, 103, Пер. III). Затем рассказывается об образовании молнии — искрового разряда между облаками или между облаком и землей, а также об исследовании атмосферного электричества М. В. Ломоносовым и совместно с ним академиком Рихманом.

Следует показать пробой искрой твердых тел, воспламенение от искры небольшого количества паров эфира и роль «молниеотвода» (прежнее название «громоотвод»). С последней целью подносится к одному из полюсов электрической машины металлическое острие, укрепленное на изолирующей ручке, но хорошо соединенное проводником с землей. Тогда искровой пробой воздушного промежутка между кондукторами машины прекращается, а искрение возникает между полюсом машины и острием. «Молниеотводы», устанавливаемые на зданиях, отводят разряд атмосферного электричества на себя. Надо дать объяснение природе грома, сопровождающего молнию. Воздух внутри канала, по которому происходит разряд, сильно нагревается и расширяется, отчего возникают ударные звуковые волны; отражаясь от облаков, холмов и других предметов, они создают длительные раскаты.

В настоящее время разряд в виде молнии тщательно изучен. С популярным изложением результатов этого изучения можно познакомиться по книгам.

И. С. С т е к о л ь н и к о в, Молния и гром. Научно-популярная библиотека, Воениздат, 1947.

Н. В. К о л о б к о в, Гром, ливни, бури и защита от них.

г) Э л е к т р и ч е с к а я д у г а. На уроке, посвященном открытию и использованию электрической дуги, в первую очередь необходимо рассказать о русском ученом начала XIX века Василии Владимировиче Петрове, открывшем дугу, затем показать ее в проекции на экран и описать процесс ее возникновения и существования (в объеме учебников). При этом надо особенно подчеркнуть значение катода в образовании дуги. Благодаря высокой температуре катода им испускается очень большое количество электронов. Электроны, соударяясь с молекулами газа, вызывают сильную ионизацию окружающего электроды газа. Ионизация обеспечивает хорошую электропроводность дуги, вследствие чего через нее проходит значительный ток при сравнительно небольшом напряжении.

Можно отметить, что при постоянном токе отрицательные ионы, попадающие на анод, вызывают сильное его нагревание; положительные же ионы, направляемые электрическим полем к катоду, на пути могут частично рекомбинироваться с электронами, испускаемыми катодом, и не дойти до него, поэтому положительный уголь сгорает быстрее отрицательного.

Надо отметить также работу академика В. Ф. М и т к е в и ч а, показавшего, что условием для возникновения дуги является именно высокая температура катода: при его охлаждении дуга гаснет, при охлаждении же анода продолжает гореть.

Желательно показать дугу между металлическими электродами и дугу в парах ртути—ртутную лампу. Показ последней должен быть кратковременным, так как ее свет вследствие обилия ультрафиолетовых лучей вреден для зрения.

д) Использование в технике рассмотренных видов газового разряда. Благодаря широкому применению изученных явлений в различных областях техники ознакомление с практическими приложениями теории получает большое политехническое значение. Здесь надо обратить внимание учащихся на искровую обработку металлов, открытую советскими инженерами Б. П. и Н. И. Л а з а р е н к о (рис. 108—110, Пер. III). Подробно должно быть рассмотрено использование в технике электрической дуги В. В. Петрова для светотехники, электросварки и обработки материалов при высокой температуре. Особо должна быть рассмотрена роль русских и советских ученых, сделавших крупнейшие открытия в применении тока для технических целей и др. Следует также показать основанное на коронном разряде действие электрофилтра, широко применяемого в технике для очистки промышленных газов от твердых и жидких примесей, для извлечения из газов ценных продуктов и т. п.

Действие электрофилтра можно показать на следующем простом классном опыте (рис. 163, Элем. учеб., ч. II). Внутри стеклянной трубки, укрепленной вертикально в штативе, помещены два металлических электрода, присоединенных к полюсам электрической машины. Один электрод может быть в виде цилиндра, а другой в виде проволоки, направленной по оси цилиндра. Трубка наполняется дымом, пылью, которые делают трубку непрозрачной, пока машина не работает. При пуске машины воздух внутри трубки быстро проясняется. Как только вокруг проволоки образуется корона, воздух внутри трубки быстро ионизируется. Ионы прилипают к частицам дыма, пыли и делают их наэлектризованными. Наэлектризованные же частицы приближаются к электродам и оседают на них: пространство внутри трубки очищается от засоряющих его частиц.

4. Р а з р я д в г а з а х п р и п о н и ж е н н о м д а в л е н и и. а) Т л е ю щ и й р а з р я д. Энергию, необходимую для ионизации молекул, можно сообщить иону не только путем увеличения напряженности поля, как это имело место при ионизации толчком в лавинном разряде. Скорость ионов, а следовательно и энергия их, может достигнуть необходимой величины и при сравнительно небольшой напряженности поля, если ион будет проходить, разгоняясь, значительный путь от одного соударения с молекулой до другого. Действительно, при действии постоянной силы скорость частицы увеличивается с возрастанием пути, проходимого заряженной частицей ($v = \sqrt{2as}$). Увеличение пути может быть достигнуто уменьшением числа молекул, встречающихся на пути летящего иона, т. е. разрежением газа.

Чтобы показать разряд в разреженном газе, ставится опыт с трубкой, в концы которой вставлены через резиновые пробки или впаяны через стекло электроды, соединенные со вторичной обмоткой катушки Румкорфа. По мере выкачивания воздуха из трубки учащиеся наблюдают меняющиеся формы электрического разряда в

разреженном газе. При впуске воздуха явления протекают в обратном порядке (рис. 112, Пер. III).

Если в школе имеется набор трубок с различной степенью разрежения (так называемая «шкала пустот»), то следует показать разряд в них, так как они позволяют изучить характерные явления при разряде, соответствующем каждой степени разрежения.

По изложении темы об электрическом токе в разреженных газах необходимо обратить внимание учащихся на следующее.

а) Электропроводность разреженного газа достигает наибольшей величины при некотором определенном давлении — около 1 мм рт. ст. При дальнейшем разрежении электропроводность падает и в сильно разреженных газах, в так называемом «вакууме», близка к нулю.

б) Надо показать неоновую лампу и рассказать о новшестве осветительной техники — газосветных лампах и трубках.

в) Надо рассказать, что свечение разреженных газов происходит в природе в грандиозном размере в виде полярных сияний (показ фотографии).

Особое внимание учащихся надо обратить на особенности структуры разряда: темное катодное пространство и светящийся положительный столб (рис. 172, Элем. учеб., ч. II).

Если впаять по длине трубки ряд платиновых проволочек и измерять электрометром разность потенциалов между катодом и любой точкой в пространстве, где происходит разряд, то можно показать, что наибольшее падение потенциала приходится на темное катодное пространство (верхняя кривая рисунка 172).

В этом пространстве благодаря большой напряженности поля положительные ионы получают большое ускорение и приобретают большую кинетическую энергию, так как в узком слое катодного пространства почти не происходит соударения их с газовыми атомами. Поэтому при ударе ионов о катод они могут выбивать из него значительное количество электронов, движущихся затем к аноду. Получив в темном катодном пространстве значительное ускорение, они на участке положительного столба ионизируют газовые атомы. Вновь образованные ионы в свою очередь выбивают из катода электроны; последние ионизируют нейтральные атомы, и разряд может продолжаться до тех пор, пока на электродах поддерживается необходимое напряжение.

Учащиеся должны твердо усвоить то положение, что причиной проводимости газа в тлеющем разряде являются ударная ионизация и выбивание электронов с катода положительными ионами. То и другое возможно только благодаря сосредоточению падения потенциала в темном катодном пространстве—без существования катодного падения тлеющий разряд невозможен.

Происхождение свечения газа в этом месте курса объяснить полностью невозможно, так как объяснение основано на учении о строении атома и о тех процессах, которые происходят в электронной оболочке атома.

Как может быть объяснено учащимся в дальнейшем, при соударении частиц с атомами электрон атомной оболочки может переместиться с близких к ядру орбит на более отдаленные. В таком состоянии атом называется возбужденным. Возбужденное состояние атома является неустойчивым, подобно тому как неустойчиво состояние тела, получившего избыток потенциальной энергии сравнительно с количеством ее в нормальном состоянии. Поэтому возбужденный атом через короткий промежуток времени возвращается в нормальное состояние, излучая полученную им порцию энергии в виде так называемого к в а н т а (см. гл. XXIV) энергии. Это выделение энергии воспринимается как свечение газа.

б) К а т о д н ы й т о к. Явление прохождения тока в трубках, из которых откачан воздух до давления в 0,001 мм рт. ст. и которые находятся под напряжением, достаточно подробно изложено в школьном учебнике и в Элем. учеб. как с демонстрационной стороны, так и теоретической.

Желательно иметь в школе набор трубок с расположенными внутри них дополнительными частями для демонстрации различных свойств потока электронов. Такие трубки со звездой, с боковым анодом, с колесиком на рельсах, с флюоресцирующим веществом, с продольным флюоресцирующим экраном описаны в любом учебнике. В особенности нужны трубки первая и последняя из перечисленных выше. С ними можно показать наиболее важный опыт отклонения лучей магнитом. Применяя к наблюдаемому в трубке току правило левой руки¹, учащиеся убеждаются, что в трубках они имеют дело с потоком отрицательных частиц. Рассказ о том, как в трубке Перрена можно непосредственно на электроскопе получить отрицательный заряд, собрав летящие частицы, о том, как частицы могут быть притянуты положительно заряженной пластинкой и оттолкнуты отрицательно заряженной, а также о том, как по изгибу пути частиц в магнитном и электрическом полях может быть вычислена их скорость и отношение заряда к массе, дополняет материал об открытии и свойствах электронов (рис. 114—120, Пер. III). Вычисление на основе этих данных скорости, массы, заряда электрона не входит в план классных занятий по крайней мере в этом месте курса. Разбор этих вопросов может быть предложен наиболее успевающим и интересующимся учащимся или сделан предметом одного из занятий физического кружка. Все учащиеся должны из классных занятий твердо усвоить следующие положения.

Ток в трубке с газом, разреженном до 0,001 мм рт. ст., представляет собой поток материальных частиц, выбиваемых из металла катода. Заключение об их материальности, т. е. о наличии у них массы, можно сделать на основе установленного факта прямолинейности их движения в направлении, перпендикулярном к поверхности катода независимо от его положения в трубке.

¹ Перед изложением этой темы следует повторить с учащимися из курса VIII класса действия магнитного поля на электрический ток.

По мере уменьшения давления газа в трубке до 0,001 мм рт. ст. «темное катодное пространство», которое было показано при демонстрации тлеющего разряда, увеличивается; это указывает на то, что все большее и большее количество ионов проходит свой путь без соударений с атомами или молекулами газа. По этой причине возникает сильная бомбардировка катода положительными ионами, выбивающими из него значительное количество элементарных частиц. У этих последних благодаря разреженности газа увеличивается длина «свободного» пробега и скорости их под действием электрического поля достигают весьма больших значений. Величина скорости частиц сохраняется благодаря наличию у них инерции, поэтому они движутся прямолинейно, перпендикулярно к поверхности катода.

Инерция — один из признаков материальности; мера инерции — масса. Следовательно, частицы катодного тока обладают массой.

В этом месте или позже надо подчеркнуть, что катодный ток, возникающий благодаря бомбардировке катода ионами, не может возникнуть в вакууме за отсутствием в нем достаточного количества газовых ионов.

Частицы катодного тока обнаруживают электрические свойства (или, иначе, обнаруживают электрический «заряд»). Это заключение вытекает из наблюдений за отклонением катодного тока магнитным и электрическим полями.

В этом месте надо опять напомнить учащимся, что заряд таких элементарных частиц неотделим от них, хотя понятие заряда не охватывает собой полностью понятие частицы, последнее понятие шире понятия «заряда», хотя бы потому, что оно связано с понятиями массы, поля, энергии. В то же время понятие заряда неотделимо от понятия его электрического поля, неотрывно сопутствующего всякому заряду.

Частицы катодного тока обнаруживают свойства отрицательного электричества, на что указывают направления отклонения катодного тока в магнитном и электрическом полях и непосредственное определение знака заряда в трубке Перрена (показанной или в крайнем случае описанной).

Частицы катодного тока обладают энергией, что вытекает из опытов по движению «мельницы» в трубке, по нагреву тел, на которых сосредоточивается поток, на превращении ее в химическую энергию в действии на фотографическую пластинку и в других химических реакциях и в возбуждении свечения различных веществ, на которые падают частицы.

Расчеты, о которых рассказывается учащимся, показывают, что вычисленные на основании опытов масса и заряд частиц являются элементарными массой и зарядом, которыми на основании ряда других измерений характеризовался электрон.

Таким образом, катодный ток есть поток электронов, вызываемый и поддерживаемый электрическим полем между электродами в сильно разреженной трубке.

В этом месте можно подвести итог различным способам выделения электронов из металлов: термоэлектронная эмиссия, фотоэлектронная эмиссия, вторичная электронная эмиссия, катодный ток.

в) **А н о д н ы й т о к.** Хотя вопрос об анодном токе не введен в программу, но, может быть, преподаватель найдет возможным ознакомить с ним учащихся, если не на уроках, то на внеклассных занятиях.

Этот ток может быть обнаружен, если в катоде разрядной трубки сделать ряд отверстий (рис. 184, Элем. учеб., ч. II). Через эти отверстия пройдет часть положительных ионов, направляемых к катоду электрическим полем. Этот ток положительных ионов обнаруживается по слабому свечению в закатодной части трубки.

Исследования показали, что анодный ток: 1) отклоняется в магнитном поле; 2) отклоняется в электрическом поле (слабее, чем катодный ток, и притом в противоположном направлении); 3) вызывает свечение солей; 4) сильно поглощается газами и другими телами; 5) ионизирует газы; 6) состоит из ионов газа, находящегося в трубке, с примесью небольшого числа электронов; 7) скорость движения ионов доходит до 10^7 см/сек.

г) **Т е х н и ч е с к о е п р и м е н е н и е к а т о д н о г о т о к а.** При разборе вопроса о катодном токе следует отметить, что на свойстве электронов, составляющих катодный ток, отклоняться от прямолинейного пути в электрическом поле основано устройство прибора, называемого катодным осциллографом и предназначенного для изучения быстропеременных и кратковременных полей (продолжительностью до стомиллионных долей секунды).

д) **В н е к л а с с н ы е з а н я т и я.** По мере изучения учащимися свойств электронов интересно организовать с ними школьный физический вечер на тему «Электрон на службе человеку».

При подготовке вечера могут быть использованы следующие книги:

А. Ф. И о ф ф е, Электрический заряд, Детиздат.

В. И. Г а п о н о в, Электрон, Гостехиздат.

С. Д. К л е м е н т ь е в, Зоркий помощник, Гостехиздат.

С. Д. К л е м е н т ь е в, Фотореле и его применение, Госэнергоиздат.

В. А. М е з е н ц е в, Электрический глаз, Гостехиздат, 1948.

В. Д. О х о т н и к о в, В мире застывших звуков, Воениздат, 1948

Г л а в а ХХ.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ.

115. Введение к теме.

1. **О б щ и е з а м е ч а н и я п о р а з д е л у.** В последнее десятилетие в научной и методической литературе возникло течение за устранение из учения о магнетизме понятия о магнитной массе. В объяснительной записке к программе сказано: «При изложении вопросов электромагнетизма исключается понятие о фиктивной

магнитной массе». Но новая методика учения об электромагнетизме еще не достигла достаточной стройности и устойчивости. Я нахожу более целесообразным вести изложение, опираясь на опыты с током в рамке, считая поведение рамки с током в магнитном поле индикатором действия поля.

2. П о н я т и е о м а г н и т н о м п о л е. Первый урок по данному разделу программы посвящается введению понятия о магнитном поле. Надо показать учащимся, что между токами действуют силы, не сводимые к ранее известным им силовым взаимодействиям—механическим или электрическим. С этой целью помещаются на близком расстоянии параллельно друг другу два легких и очень гибких проводника (из елочной мишуры), составляющие участки двух электрических цепей (рис. 121, 122, Пер. III). Пуская по этим проводникам один раз токи в одном направлении, другой раз в противоположных направлениях, показывают непосредственно или в теневой проекции их взаимодействие.

Так как не наблюдается заметного взаимодействия между проводниками, пока по ним не проходят электрические токи, то учащиеся легко могут заключить, что только механическим взаимодействием объяснить явление нельзя.

Чтобы выяснить, не вызывается ли наблюдаемое явление действием каких-либо электростатических сил, соединяют каждый проводник, разомкнув цепь, с источником электрических зарядов. Учащиеся наблюдают отличие взаимодействия проводников при покоящихся на них зарядах от взаимодействия в случае движущихся зарядов (электрических токов). На основании этих наблюдений учащиеся приходят к убеждению, что между токами действуют силы особого рода. Эти силы получили название **магнитных сил**.

Проявление магнитных сил между токами приписывается существованию магнитного поля вокруг каждого тока.

Таким образом, теперь учащиеся должны рассматривать существование магнитного поля тока как постоянное, существенное, неотделимое от тока его свойство.

Существование магнитных сил взаимодействия между токами принимается за свидетельство существования особого состояния материи, названного «магнитным полем».

Объективное существование магнитного поля вне и независимо от человеческого сознания подтверждается всей практикой использования свойств магнитного поля в электротехнике и радиотехнике.

Сближая или отдаляя взаимодействующие проводники с токами, можно показать изменение силы их взаимодействия. Следовательно, магнитная сила или определяемое ею магнитное поле тока различно в разных точках окружающего проводник пространства.

Отсюда возникает задача изучения магнитного поля тока.

1. Магнитное поле прямого тока. Изучение магнитного поля можно осуществить при помощи рамки с током (рис. 76). Для этого рамка подвешивается за нить в каком-нибудь месте около прямолинейного проводника. Пока не пущен по прямолинейному проводнику ток, рамка с током занимает положение, определяемое нитью. Как только пропускается по проводнику ток I , рамка с током поворачивается так, что ее плоскость $ABB'A'$ проходит через прямолинейный проводник с током. Такое явление наблюдается повсеместно, где бы ни помещать рамку с током около проводника.

При изменении направления тока в рамке на противоположное (или при изменении направления тока на противоположное в прямолинейном проводнике) она поворачивается на 180° .

Из этого ряда опытов учащиеся с помощью преподавателя приходят к следующим выводам:

а) магнитное поле прямолинейного тока, вращая рамку с током, действует на нее парой сил, т. е. прилагает к ней определенный вращающий момент;

б) положение рамки в разных местах вокруг прямолинейного тока может быть охарактеризовано направлением нормали к рамке.

Положительное¹ направление нормали к рамке можно принять за направление магнитного поля.

Учащимся сообщается (без подтверждения измерением), что вращающий момент, с которым поле действует на рамку с током, может быть измерен по углу кручения нити, на который надо закрутить нить, поддерживающую рамку, чтобы удерживать рамку в ее первоначальном положении.

Таким образом, нормаль к рамке дает направление магнитного поля в данном месте, а величина вращающего момента магнитных сил может служить количественной характеристикой поля.

2. Напряженность магнитного поля. На следующем уроке продолжается изучение магнитного поля тока. Изменяя силу тока в рамке при неизменном ее расстоянии от прямолинейного проводника с током, показывают, что вращающий момент зависит от силы тока в рамке.

Сообщается, что измерения, которые нелегко произвести в классной обстановке, показывают, что вращающий момент пропорционален току I в рамке.

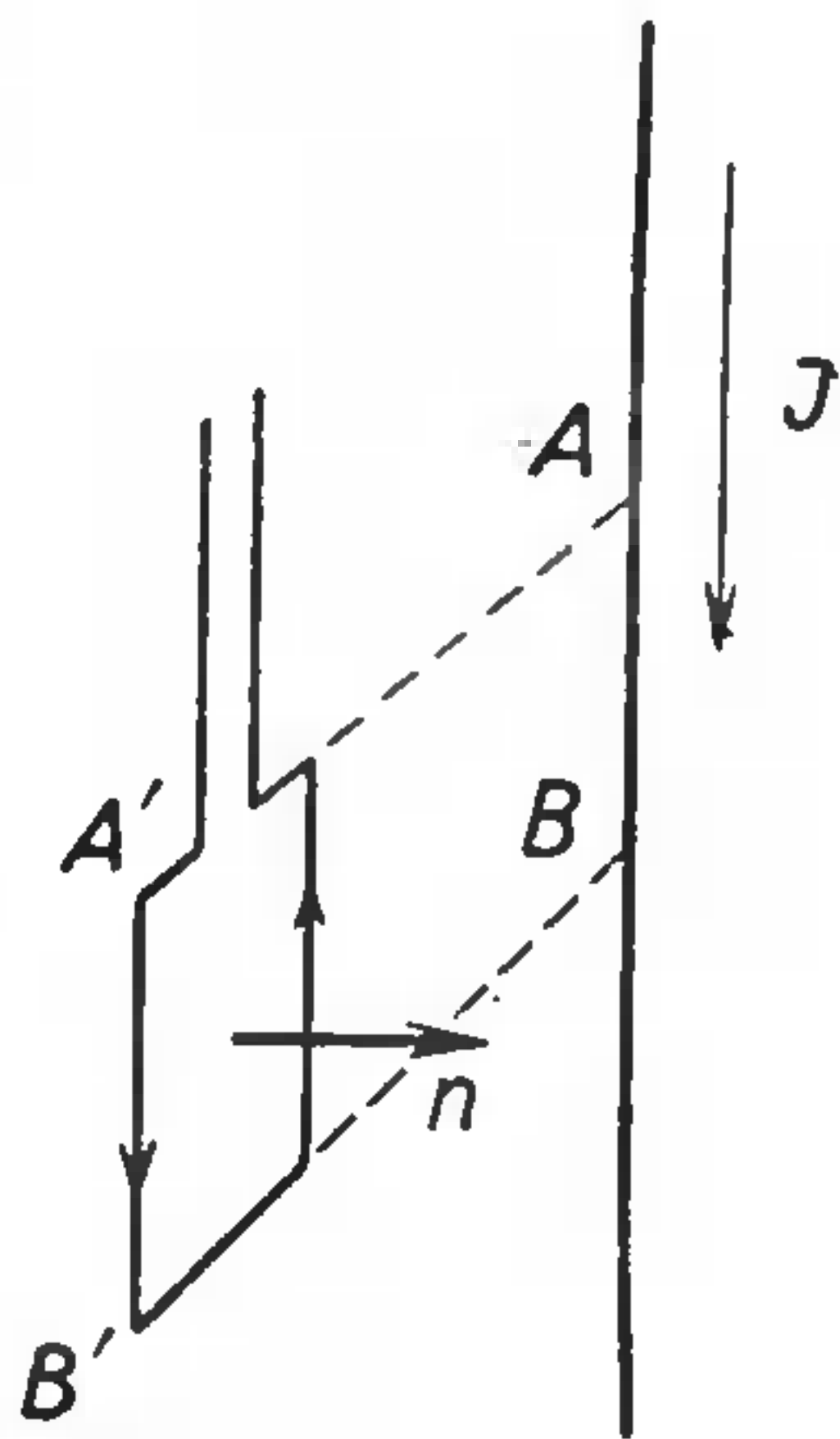


Рис. 76

¹ За положительное направление нормали принимается такое направление, при котором ток в рамке при рассматривании его с конца нормали кажется наблюдателю идущим против направления движения часовой стрелки.

Также сообщается без каких-либо измерений, что вращающий момент M пропорционален при прочих одинаковых условиях площади рамки S независимо от ее формы.

Так как вращающий момент зависит от величины тока и от площади рамки S , то произведение этих величин может служить характеристикой рамки и получило название **магнитного момента** рамки (IS). На все рамки с одинаковым магнитным моментом IS магнитное поле в одном и том же месте действует с одним и тем же вращающим моментом M .

Предыдущие опыты показали, что вращающий момент от точки к точке изменяется. Следовательно, его величину можно было бы принять за количественную меру поля. Но в науке за такую величину выбрана величина, измеряемая моментом пары сил, действующих на рамку с единичным магнитным моментом¹, т. е. $\frac{M}{IS}$. Эта величина получила название напряженности магнитного поля.

Обобщаются все выводы². Направление вектора напряженности магнитного поля электрического тока H в каждой точке поля определяется направлением положительной нормали к рамке с током, свободно вращающейся в магнитном поле.

Величина напряженности измеряется моментом пары сил, действующих на рамку с единичным магнитным моментом при условии, что нормаль рамки расположена перпендикулярно³ к направлению вектора H .

Исходя из соотношения $H = \frac{M}{IS}$, можно было бы принять за единицу напряженности магнитного поля такую напряженность, при которой поле действует с вращающим моментом в $1 \text{ дн} \cdot \text{см}$ на рамку с площадью в 1 см^2 , обтекаемую током в 1 CGSE .

Но исторически за единицу напряженности была принята другая единица, названная «эрстед» и определенная так, как указано в учебнике X класса.

3. **Графическое изображение напряженности магнитного поля.** Перемещая в разные места магнитного поля малую рамку с током, можно по направлению нормали к ней выяснить направления вектора напряженности в выбранных точках поля. Кривые линии, проведенные так, чтобы касательные к ним в каждой точке совпадали по направлению с векторами напряженности, получили название **линий магнитной напряженности** (или **силовых линий магнитного поля**).

¹ Величину вращающего момента, действующего на единичный магнитный момент, можно найти посредством деления механического момента M на величину магнитного момента IS .

² Изложение согласовано с курсом общей физики С. Э. Фриша и А. В. Тиморевой, т. II, ГТТИ, 1949, гл. XVII, и с диссертацией К. Г. Голубевой «Методика преподавания темы «Магнитное поле и магнитные свойства вещества в X классе ср. школы».

³ Величина момента меняется с изменением направления рамки.

Так как получение линий магнитной напряженности с помощью рамки принципиально вполне возможно, но практически оказывается сложным, можно вместо рамки воспользоваться магнитной стрелкой склонения. Для оправдания такой замены надо показать на опыте, что в каждой точке поля направление магнитной оси магнитной стрелки совпадает с направлением нормали к рамке с током. Магнитные стрелки можно заменить железными опилками, которые, как известно из курса VIII класса, намагничиваются по индукции. При помощи опилок на уроках показывается расположение линий магнитной напряженности для полей электрических токов в проводниках различной формы—прямолинейном, кольцевом, соленоидальном.

При рассмотрении конкретных картин расположения линий магнитной напряженности надо обратить внимание учащихся на следующие моменты:

а) Во внутренней части соленоида поле можно считать однородным (линии параллельны и равноотстоящи). Отступление от однородности наблюдается вблизи концов соленоида.

б) Линии магнитной напряженности—всегда замкнутые линии, охватывающие электрический ток.

в) Замкнутость линий магнитной напряженности является характерным отличием их от линий напряженности электростатического поля, оканчивающихся на разноименных зарядах, что указывает на различную природу этих полей.

г) Концы соленоида (и, следовательно, всякой катушки) с током, где однородное поле переходит в неоднородное, получили название полюсов. Надо определить полюсы в зависимости от направления вектора напряженности поля соленоида и в зависимости от направления тока на его конце (по часовой стрелке или против нее), если смотреть на конец извне.

4. Магнитный поток. Далее поясняется учащимся, что способ изображения поля при помощи линий магнитной напряженности оказывается очень удобным для полной характеристики поля. Направление линий дает направление вектора напряженности; а по числу линий можно судить о величине напряженности, если договориться об условии проведения линий.

Это условие заключается в том, чтобы проводить через площадь в 1 см^2 , расположенную в рассматриваемой точке поля в вакууме перпендикулярно к вектору напряженности, такое число линий напряженности, каким выражается напряженность поля в этой точке (т. е. числом H).

Число силовых линий через площадь S выразится через HS . Эта величина получила название «поток магнитной напряженности». С изменением поля меняется и магнитный поток. Поток через площадь S меняется также в зависимости от ее направления по отношению к вектору напряженности.

При рассмотрении магнитного поля надо постоянно отмечать, что оно, подобно электростатическому полю, может существовать и в вакууме.

117. Взаимодействие магнита и тока.

Приступая к следующей теме, преподаватель до опыта делает схематические чертежи взаимного расположения магнита и подвижного проводника с током для четырех различных случаев (подвижный проводник удобно брать в форме «качелей»).

Произведя каждый опыт, преподаватель тотчас же отмечает на чертеже, выполненном на доске (а учащиеся—в своих тетрадях), направление движения проводника.

Полученные чертежи позволят сделать вывод и найти практическое правило для движения проводника с током в магнитном поле.

Это правило должно быть очень тщательно проработано и применено к различным частным случаям.

Взаимодействие магнита и тока следует показать также на подвижных подвешенных кольцах, катушках, соленоидах. Демонстрации обнаружат, что подвижная катушка так перевертывается в поле и насаживается на прямой магнит, чтобы оба поля—магнита и тока в катушке—совпадали направлением своих силовых линий. В этом опыте северные полюсы магнита и катушки окажутся с одной стороны, южные—с другой.

На основании подобных опытов преподаватель выводит общее положение, что именно через взаимодействие магнитных полей, какого бы происхождения они ни были, осуществляется взаимодействие связанных с ними магнитов и токов.

С точки зрения взаимодействия полей следует рассмотреть и взаимодействие токов в прямолинейных проводниках. Было бы полезно показать при помощи опилок и магнитных стрелок расположение силовых линий вокруг прямолинейных токов, одинаково и противоположно направленных, и на основании их расположений предсказать направление, по которому проводники должны были бы двигаться.

Особо надо поставить вопрос, какое происходило бы движение проводников, если бы они не были закреплены на своих концах и могли бы свободно перемещаться?

118. Железо в магнитном поле. Применения в технике.

Последний вопрос раздела программы—железо в магнитном поле—не требует особых замечаний сравнительно с изложением в учебнике.

Из технических применений оставляю без рассмотрения: электромагнитное реле, принцип устройства амперметра и вольтметра, осциллографа. Изложение этих вопросов можно провести в соответствии с учебником.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ.

119. Общие замечания.

С этим разделом программы учащиеся встречаются второй раз: в VIII классе они изучили явление электромагнитной индукции в проводниках, намотанных на катушки.

В X классе следует сосредоточить внимание учащихся на условиях возникновения индукции в прямолинейном проводнике.

Переходу к опытам предпосылается историческая справка о мотивах, приведших к открытию индукции Фарадеем.

Для опытов с индукцией в прямолинейном проводнике надо пользоваться зеркальным гальванометром и сильным подковообразным магнитом или электромагнитом.

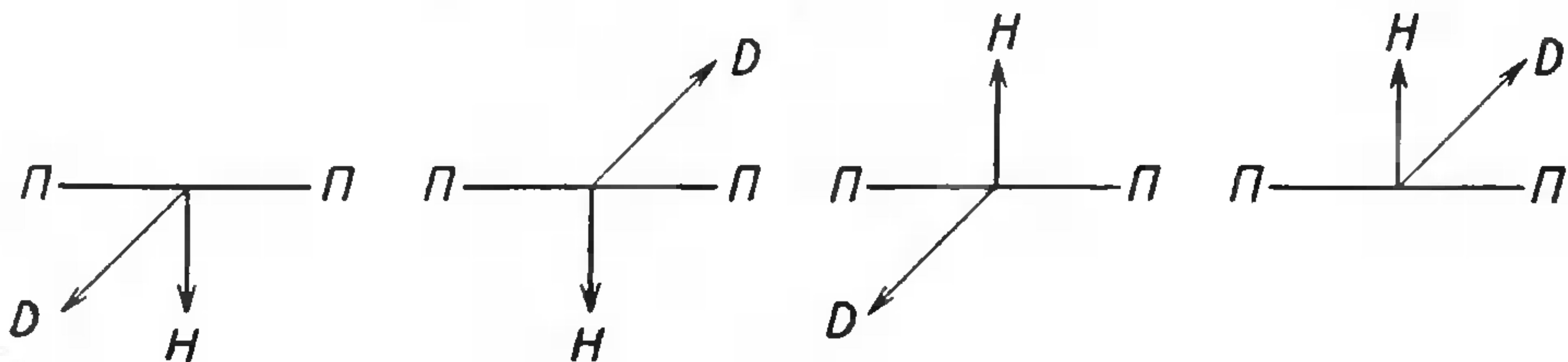


Рис. 77

Предварительно показывается учащимся, как зависит направление отклонения светового пятна зеркального гальванометра от направления тока, пропускаемого через гальванометр. После этого предварительного опыта учащиеся могут по направлению отклонения светового пятна судить о направлении тока в цепи гальванометра.

Для первых четырех опытов заранее заготавливаются на доске чертежи (рис. 77), содержащие направление линий напряженности магнитного поля (H), положение прямолинейного проводника ($ПП$) и направление его движения ($Д$) для того, чтобы сразу же после производства опыта указать на начерченной прямой направление индукционного тока. Совокупность чертежей позволит по окончании опытов обосновать правило правой руки.

Подковообразный электромагнит устанавливается вертикально; длинный прямолинейный проводник включается в цепь гальванометра.

120. Условия, определяющие величину э.д.с. индукции.

1. Разбор основных опытов по теме.

1-й опыт. Проводник опускается в пространство между ветвями магнита перпендикулярно к линиям напряженности магнитного поля.

2-й опыт. Проводник поднимается вверх из пространства между ветвями подковообразного магнита.

3-й и 4-й опыты. Переменой направления тока в электромагните (или перестановкой ветвей постоянного магнита) изменяются на противоположные направления линий магнитного поля и повторяются оба предыдущих движения прямого проводника.

Из опытов делаются выводы: а) о направлении возникающего в проводнике тока при определенном направлении перемещения проводника в магнитном поле; б) о зависимости направления тока от направления напряженности поля и движения проводника в нем.

Ток, полученный от движения проводника в магнитном поле, получил название **и н д у к ц и о н н о г о**.

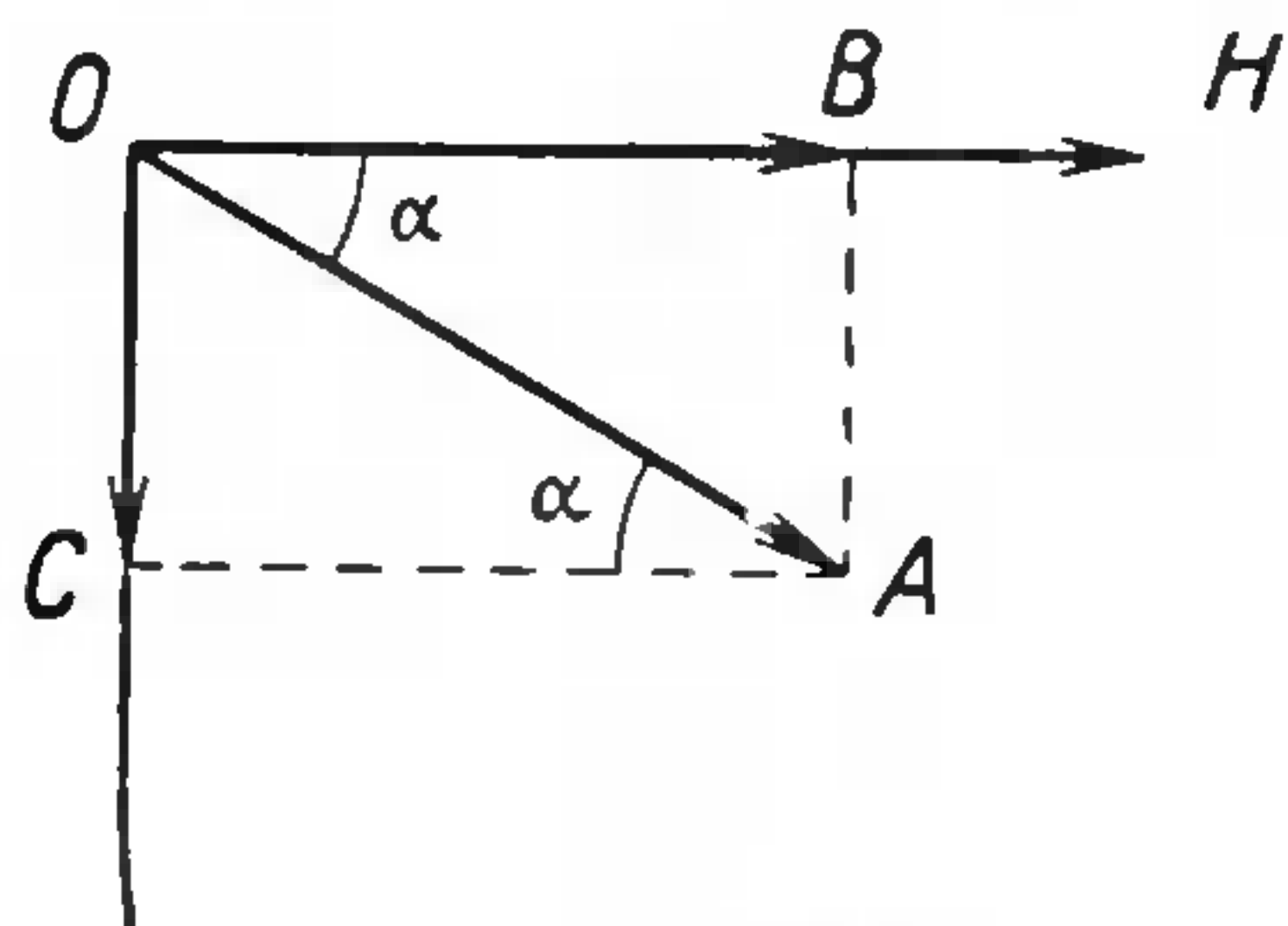


Рис. 78

Обнаруженное на опытах направление тока отмечается на заготовленных чертежах.

5-й опыт должен ответить на вопрос, зависит ли индукционный ток от того угла, под которым направление движения проводника пересекает направление напряженности магнитного поля. Проводник перемещается с одинаковой скоростью:

а) перпендикулярно к линиям напряженности; б) вдоль них; в) под углом к ним.

При перемещении проводника перпендикулярно к линиям поля получается наибольший индукционный ток; при скольжении вдоль линий напряженности поля индукционный ток равен нулю; перемещение наклонно к линиям поля под углом α можно разложить на два составляющих перемещения: одно—вдоль линий напряженности (OB), другое — перпендикулярно к ним (OC , рис. 78). Первое перемещение не создает индукционного тока, второе—вызывает его. Перемещение OC равно полному перемещению OA , умноженному на $\sin \alpha$ ($OC = OA \sin \alpha$).

6-й опыт показывает зависимость индукционного тока от скорости движения проводника. Проводник перемещается один раз быстро, другой раз—медленно при прочих одинаковых условиях.

7-й опыт показывает зависимость индукционного тока от напряженности магнитного поля. Изменяя ток в обмотке электромагнита (или подбирая различные постоянные подковообразные магниты), производят каждый раз совершенно одинаковые перемещения проводника между их ветвями.

8-й опыт обнаруживает зависимость индукционного тока от длины проводника, перемещающегося в магнитном поле.

9-й опыт исследует зависимость индукционного тока от числа витков проводника, пересекающего линии напряженности магнитного поля. Из проводника сгибается одно кольцо, два, три и т. д. такого диаметра, чтобы их можно было насаживать на ветвь магни-

та, и они по очереди опускаются на нее совершенно одинаковым движением.

10-й опыт. Наконец, можно показать, что индукционный ток возникает при любом изменении магнитного потока, пронизывающего площадь замкнутого контура. Величина потока магнитной напряженности в постоянном магнитном поле зависит от величины площади, через которую поток проходит ($\Phi = HS$). Если в постоянном магнитном поле поместить гибкий контур, соединенный с гальванометром, то при изменении его площади и, следовательно, при изменении магнитного потока через нее возникает в контуре индукционный ток. Между полюсами сильного электромагнита помещают перпендикулярно к линиям поля гибкий контур из нескольких витков проволоки и быстро изменяют величину HS . Гальванометр, с которым соединен контур, обнаруживает явление индукции.

Анализ всех опытов позволяет сделать общий вывод относительно закона электромагнитной индукции, приведенного в учебнике на стр. 149 или в Элем. учеб. на стр. 311.

Второй урок темы посвящается введению понятия об э. д. с. индукции. Преподаватель рассказывает учащимся, что изменение магнитного потока в различных контурах, отличающихся только материалом, возбуждает в них индукционные токи различной величины.

Измерение сопротивлений контуров и возбуждаемых в них индукционных токов показывает постоянство их произведения, т. е. распространение закона Ома и на индукционные токи. Это постоянство произведения IR дает основание ввести понятие об э. д. с. индукции. Э. д. с. индукции возникает как в замкнутом контуре, так и в отдельном проводнике при его движении в магнитном поле (при пересечении линий напряженности поля).

Следует объяснить возникновение э. д. с. индукции в отдельном проводнике на основании электронной теории (Пер. III, §89; Элем. учеб., §143).

Чрезвычайно важно противопоставить понятие об э. д. с., составленное при изучении химических источников тока, с понятием об э. д. с. индукции.

В химических и термических генераторах тока э. д. с. возникает в определенных местах цепи.

Э. д. с. индукции возникает во всех точках контура, в котором меняется магнитный поток.

Поэтому в проводнике из нескольких витков э. д. с. индукции складывается из э. д. с. индукции, возникающих в отдельных витках.

Определение магнитного потока, данное в учебнике, может привести к недоразумению. В учебнике магнитным потоком называется число магнитных силовых линий, проходящих через площадь (стр. 136). Между тем магнитный поток не число, а часть магнитного поля, пронизывающая площадь данного контура, только определяемая произведением индукции поля на площадь контура, расположенную перпендикулярно направлению поля.

По определению терминологической комиссии¹ АН СССР «явление электромагнитной индукции состоит в возбуждении вихревого² электрического поля при изменении магнитного поля».

Таким образом, основным фактом электромагнитной индукции является возникновение электрического поля, которое в замкнутом проводнике вызывает индукционный ток.

Надо особенно подчеркнуть учащимся, что электромагнитная индукция представляет явление, в котором обнаруживается взаимосвязь электрического и магнитного полей.

Было бы полезно поставить лабораторную работу по определению условий возникновения и направления индукционного тока в катушках при действии на них маг-

нитного поля токов и магнитов³.

2. Закон Ленца. Все известные учащимся факты показывают, что индукционные токи являются носителями энергии. Откуда же берется энергия индукционного тока? Постановка этого вопроса вполне естественна после изучения условий возникновения э. д. с. индукции.

Энергетическую сторону явления индукции вскрыл русский академик **Л е н ц**. Поэтому 3-й урок следует уделить теме «**З а к о н Л е н ц а**». Продемонстрировать явление, позволяющее раскрыть закон Ленца, можно на следующей простой установке.

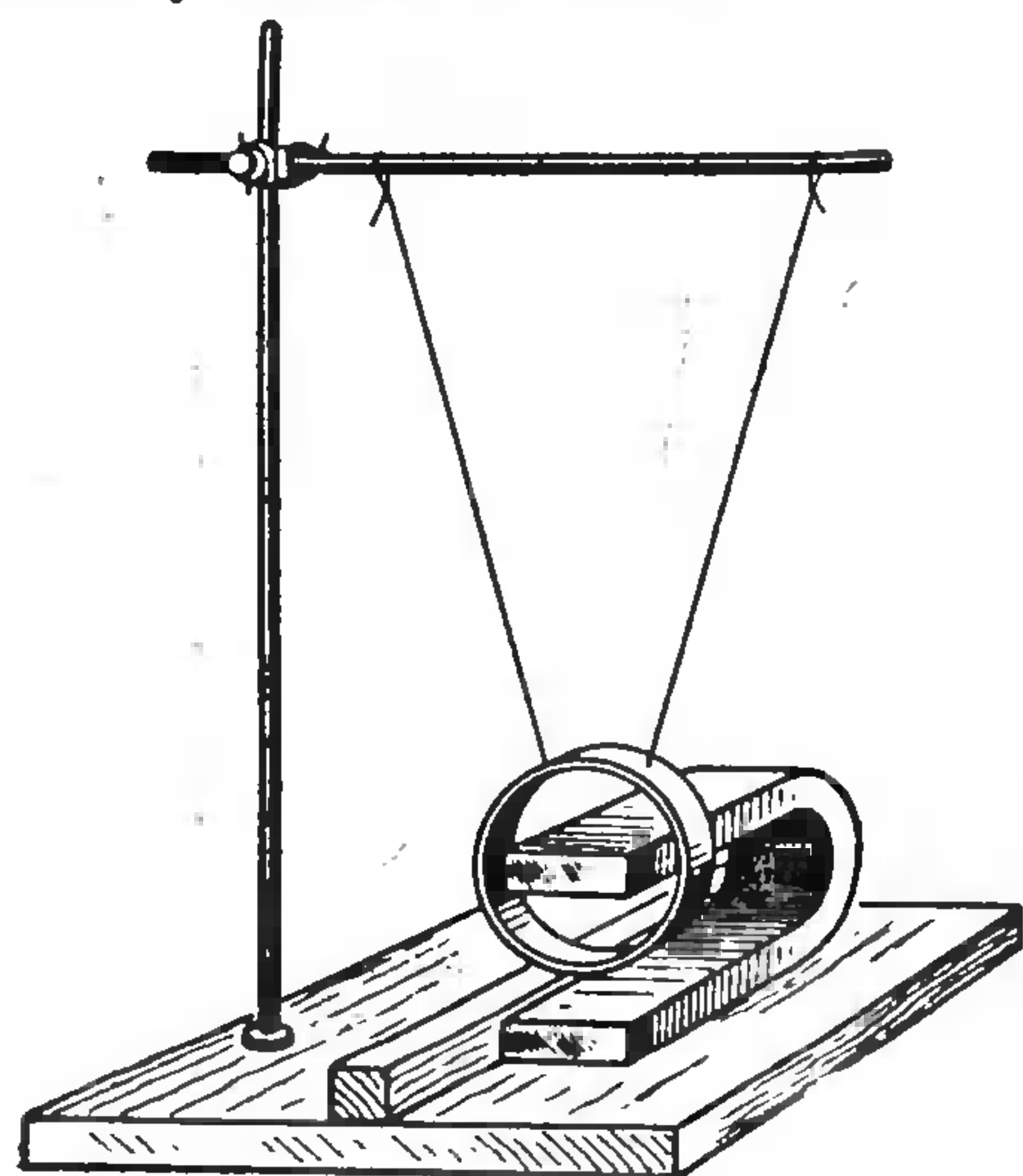


Рис. 79

На длинных нитях подвешивается к штативу легкое алюминиевое кольцо (рис. 79). Против его отверстия помещают полюс подковообразного магнита (или электромагнита, или прямого магнита) такого размера, чтобы магнит свободно входил в кольцо.

При быстром вдвигании магнита в кольцо оно отклоняется от магнита; при выдвигании—кольцо следует за магнитом.

Учащимся известно, что алюминий не намагничивается в магнитном поле. Следовательно, наблюдаемое взаимодействие является взаимодействием между полями магнита и тока, очевидно индукционного. Это взаимодействие выразилось в первой части опыта в противодействии сближению магнита и кольца—кольцо оттолкнулось; во второй части опыта—в противодействии удалению—кольцо следовало за магнитом. Принимая во внимание 3-й закон динамики—одновременное действие друг на друга обоих тел в противополож-

¹ Комитет технической терминологии АН СССР. Терминология технической электротехники, издание АН СССР, 1952.

² Вихревого, т. е. замкнутого, поля в отличие от электростатического.

³ Фронтальные лабораторные занятия по физике, работа № 46.

ных направлениях, учащиеся могут заключить, что в первом случае индукционный ток отталкивал приближаемый магнит, во втором случае притягивал его; в обоих случаях противодействовал тому движению магнита, в результате которого ток индуктировался.

Если тем не менее движение магнита не прекращать (тогда бы прекратилась и индукция), а продолжать, то тело, движущее магнит, должно преодолевать сопротивление магнитного поля индукционного тока, стремящегося затормозить движение магнита, т. е. совершать работу. Совершение же работы телом всегда происходит за счет затраты его энергии.

На этом опыте учащиеся убеждаются, что энергия индукционного тока есть преобразованная энергия движущего магнит тела.

Явление электромагнитной индукции есть одно из проявлений всеобщего закона превращения и сохранения энергии.

Чтобы окончательно убедить учащихся в применимости этого закона в явлении электромагнитной индукции, надо провести дополнительный опыт. Вместо сплошного кольца подвешивается алюминиевое кольцо с разрезом, по которому не может проходить электрический ток. Тогда при движении магнита не наблюдается отклонения разрезанного кольца: не возникает тока, не возникает противодействия движению, не происходит преобразования энергии.

В заключение разбора дается современная формулировка закона Ленца (из учебников).

3. Т о к и Ф у к о. На том же уроке надо дать понятие о токах Фуко. Для показа токов в сплошных проводниках или токов Фуко можно произвести следующие опыты.

1. Быстрое затухание колебаний маятника с металлической пластинкой, пускаемого перпендикулярно к линиям напряженности сильного электромагнита при замыкании тока в электромагните (маятник Вальтенгофена).

2. Вращение магнитной стрелки, подвешенной над медным диском, при его вращении (опыт Араго).

3. Нагревание индукционными токами сплошного железного стержня, вставленного внутрь катушки, по которой проходит переменный ток осветительной сети.

В первых двух опытах индуктированные токи своим магнитным действием препятствуют тому движению, которым они вызываются. По отношению к токам Фуко надо отметить вредное и полезное значение их. Появление токов Фуко в сердечниках генераторов электродвигателей и трансформаторов вредно, так как энергию, идущую на их образование, они бесполезно превращают в теплоту. В этих приборах токи Фуко необходимо устранять (указать на опыте, как это можно сделать). Пример полезного действия токов Фуко—успокоение указателей в измерительных приборах.

При показе 3-го опыта с токами Фуко следует указать на современный способ поверхностной закалки металлических изделий, изобретенный советским ученым В. П. Вологдиным, и на значение его в социалистическом строительстве.

Последний урок посвящается обстоятельному разбору явления самоиндукции.

Начать изучение самоиндукции можно с повторения опыта с индукцией тока в катушке, вставленной внутрь другой катушки, когда цепь внешней катушки замыкают, или размыкают, или когда ток в ней меняется.

Прежде проведенные опыты показали, что во внутренней катушке индуцируется э. д. с. одного и того же направления всякий раз,

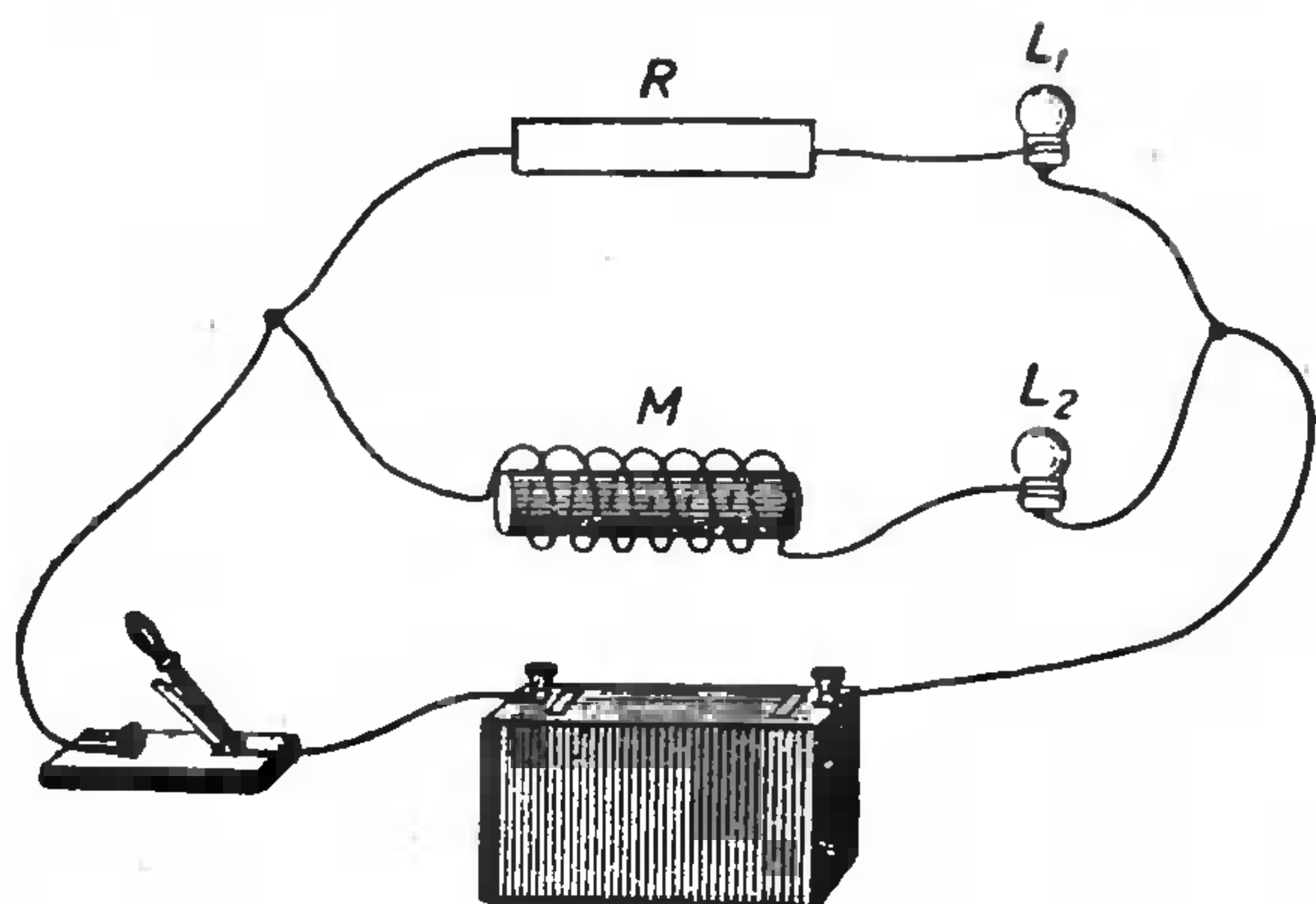


Рис. 80

когда во внешней замыкается или усиливается ток, и — другого направления, когда во внешней катушке ослабляется или размыкается ток.

Учащиеся уже знают, что причиной индукции э. д. с. во внутренней катушке служит изменение магнитного потока, проходящего через контуры витков катушки при всяком изменении тока во внешней катушке и, следовательно,

при изменении магнитного поля внешней катушки. Но учащиеся легко представят себе, что то же магнитное поле претерпевает такие же изменения и внутри внешней катушки.

Поэтому естественно предположить, что изменение магнитного потока, проходящего через контуры обеих катушек, будет производить в них одинаковые действия, т. е. и в самой первичной цепи при замыкании и размыкании цепи, а также при изменении в ней тока будет возникать э. д. с. индукции.

Если учащиеся твердо усвоили закон Ленца, то они могут высказать на основании этого закона и предположение относительно направления возникающей в витках первичной катушки э. д. с. Во всех случаях э. д. с. индукции противодействует вызывающей ее причине. Следовательно, при замыкании цепи или усилении в ней тока э. д. с. индукции имеет направление, противоположное э. д. с. источника; при ослаблении тока или размыкании цепи — направление, одинаковое с э. д. с. источника.

Проверить сделанные предположения можно на следующих простых установках. Составляется цепь из источника тока, ключа и разветвления (рис. 80); в одну ветвь разветвления включается катушка с железным сердечником M и маловольтная лампа накаливания L_2 ; вторую ветвь составляет такая же лампа L_1 и прямой провод (в крайнем случае — зигзагообразный), сопротивление которого R одинаково с сопротивлением проволоки катушки.

При замыкании цепи (или усилении тока) накал лампы в ветви с катушкой запаздывает сравнительно с накалом другой лампы. По истечении некоторого времени накалы сравниваются. Явление подтверждает одну часть сделанного предположения относительно возникновения э. д. с. и ее направления при замыкании. Для наблюдения индукции при размыкании можно видоизменить установку. Из ветви убирают прямой провод и заменяют его

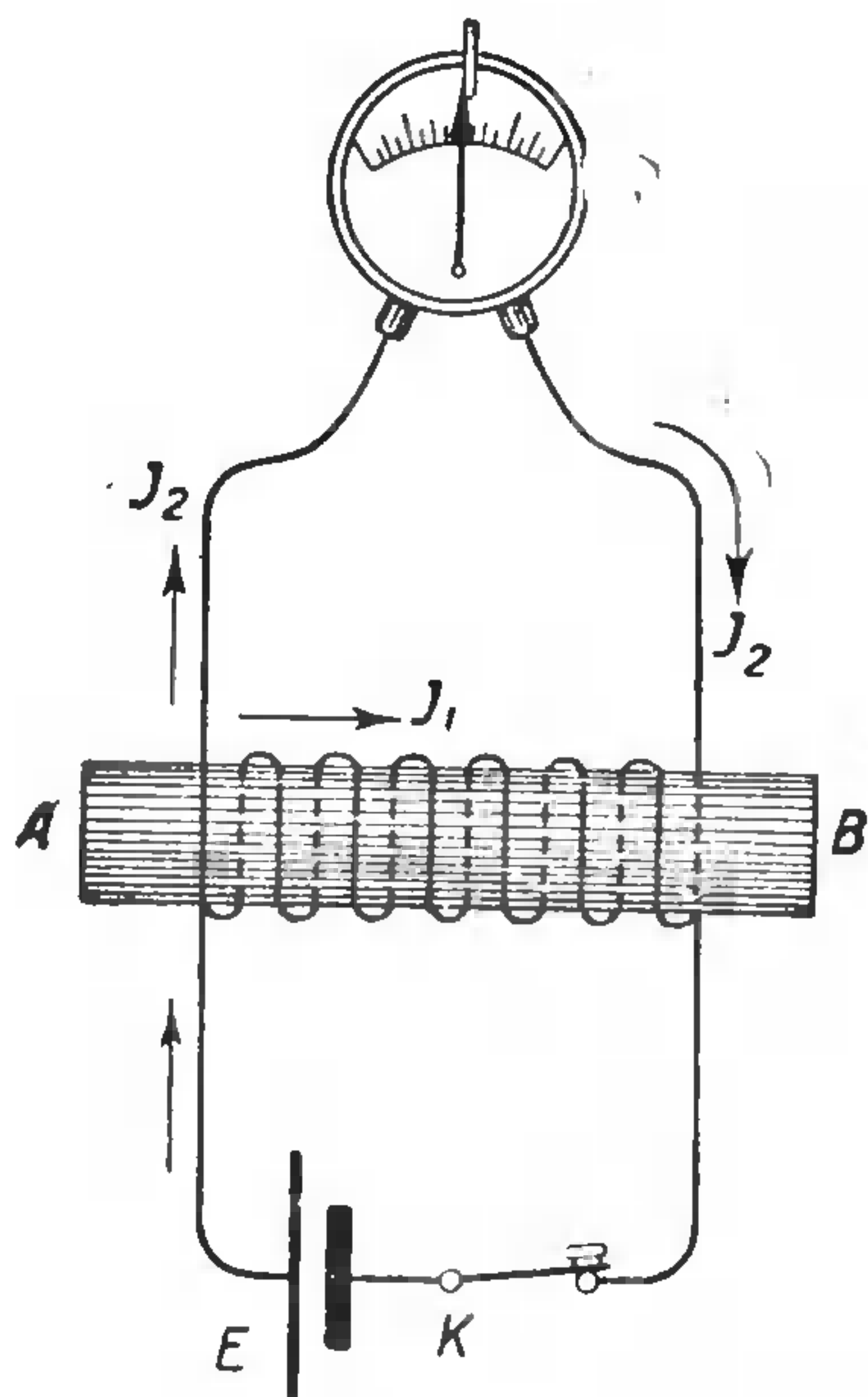


Рис. 81а

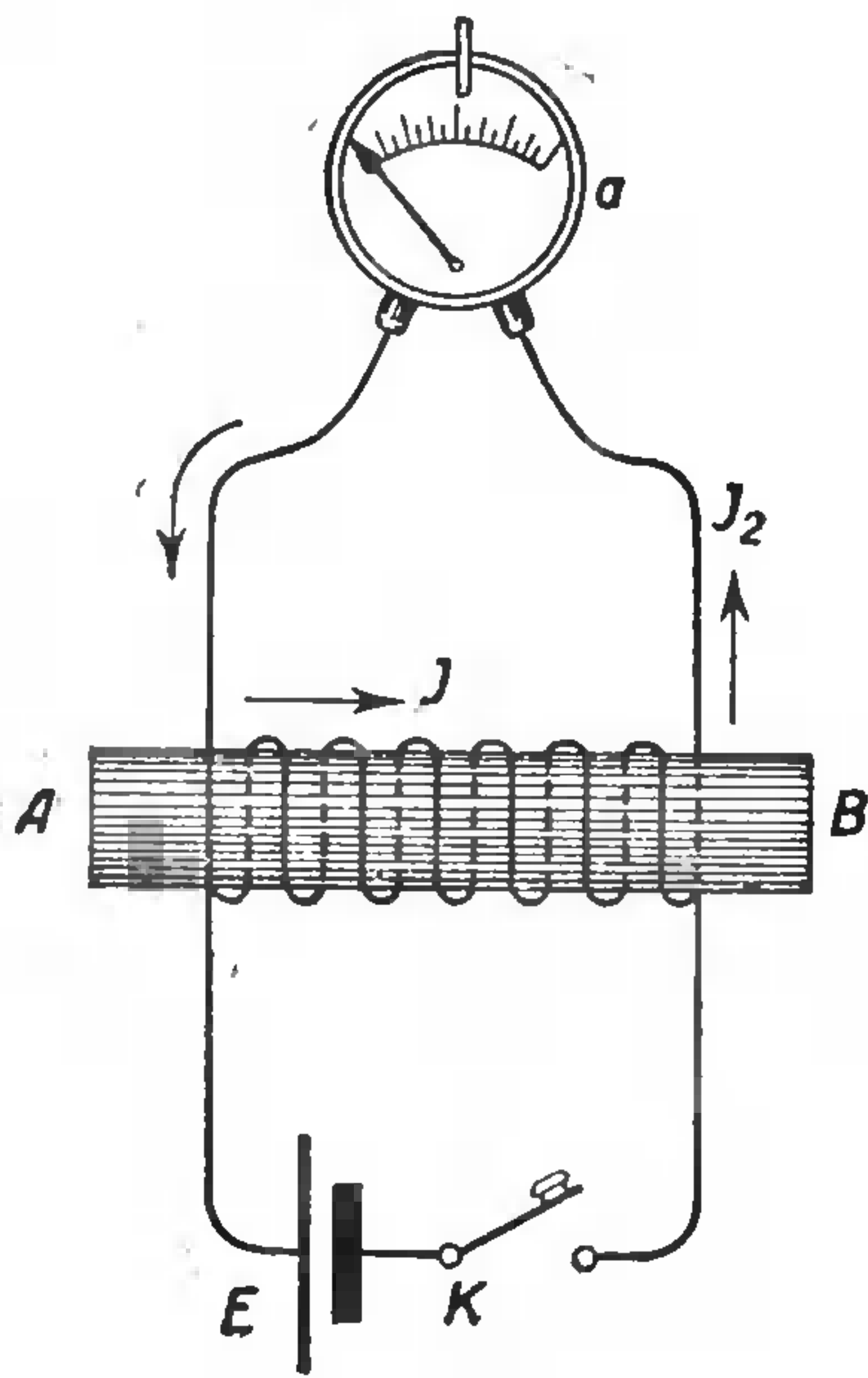


Рис. 81б

неоновой лампой, рассчитанной на напряжение 127 в. Пока цепь замкнута, напряжение на неоновой лампе слишком мало, чтобы вызвать свечение. Но в момент размыкания цепи лампа вспыхивает, так как на катушке возникает очень значительная э. д. с. индукции.

Индукция при изменении собственного магнитного поля тока называется самоиндукцией.

Вариантом первого опыта может служить включение в обе ветви цепи ламп накаливания, рассчитанных на напряжение 127 или 220 в. В этом случае цепь включается в осветительную сеть. При переменном токе лампа в ветви с катушкой не успевает получить полный накал. Вдвигая и выдвигая из катушки железный сердечник, можно менять величину накала лампы.

Наконец, в виде задачи для проверки понимания явления, можно поставить опыты Фарадея по обнаружению самоиндукции (рис. 81а и 81б).

В цепь батареи E со значительным внутренним сопротивлением включается разветвление. В один участок разветвленной цепи

включается катушка AB с очень большим числом витков, но с незначительным сопротивлением; в параллельный участок включается гальванометр. При замыкании цепи стрелка гальванометра установится на каком-либо делении. Посредством скобки, насаженной на шкалу гальванометра, стрелка задерживается в том же положении и по прекращении тока. На чертеже отмечается направление тока, проходящего через гальванометр.

При новом замыкании тока стрелка гальванометра отбрасывается сначала дальше того положения, в котором она была задержана вопреки ожиданию, что она будет спокойно стоять на месте, занятом ею прежде при замкнутой цепи.

Этого не случилось бы, если бы в каждый момент между концами ветви с гальванометром существовала бы только та разность потенциалов, которая имеет место при установившемся токе. Бросок стрелки в ту же сторону показывает, что в момент замыкания в катушке возникла э. д. с. индукции, которая сочетается с э. д. с. источника.

Эта э. д. с. вызывает в ветви с гальванометром ток, который по направлению одинаков с первичным током, идущим через гальванометр. Чтобы определить направление э. д. с. в катушке, надо рассмотреть обе ветви разветвления как замкнутый контур; затем по движению стрелки гальванометра отметить направление э. д. с. в ветви с гальванометром и продолжить это направление по замкнутому контуру через ветвь катушки. Чертеж, соответствующий опыту, покажет, что в момент замыкания цепи в катушке возникает э. д. с. самоиндукции, направленная противоположно э. д. с. источника тока.

Чтобы исследовать направление э. д. с. самоиндукции при размыкании цепи (при ослаблении или исчезновении магнитного поля), в той же установке отмечается положение стрелки гальванометра при отсутствии тока в цепи.

При размыкании цепи стрелка гальванометра не останавливается на месте, соответствующем разомкнутой цепи, а отбрасывается в противоположную от нулевого положения сторону.

Разбор опыта показывает, что в ветви с катушкой при замыкании возникает э. д. с. самоиндукции, имеющая направление, одинаковое с э. д. с. размыкаемого тока.

При выводах из опытов надо особенно подчеркнуть некоторые положения.

а) Самоиндукция состоит в индуктировании э. д. с. При замыкании э. д. с. самоиндукции обнаруживается в том, что ток не сразу достигает той величины, которую он должен иметь по закону Ома. Следует дать график нарастания тока при самоиндукции (и для сравнения — без нее).

При размыкании цепи э. д. с. самоиндукции обнаруживается по искре в месте разрыва цепи (например, при отскакивании дуги трамвайного вагона от провода). Следует сообщить о вредном влиянии искр на приборы и о мерах борьбы с ними.

б) Э. д. с. размыкания больше э. д. с. замыкания. Следует выяснить причины этого (бóльшая скорость изменения числа силовых линий).

в) Самоиндукция подобна инерции вещества. Инерция поезда обуславливает медленное нарастание скорости его, что подобно э. д. с. самоиндукции при замыкании, и удерживает скорость при выключении машины, что подобно э. д. с. при размыкании.

Если в первом варианте второго опыта выдернуть сердечник, лампочка вспыхивает; при обратном вдвигании она на мгновение тускнеет. В первом случае накопленная магнитная энергия переходит в энергию тока, во втором — обратно.

г) Явление самоиндукции показывает, что магнитное поле обладает энергией. Его энергия получается за счет энергии других источников; в свою очередь она может быть превращена в энергию электрического тока.

Учащиеся могли заметить, что при опытах с разными катушками при одних и тех же условиях получалась разная э. д. с. самоиндукции. Следовательно, катушки отличаются друг от друга в отношении самоиндукции каким-то качеством. Это качество получило название индуктивности катушки. Преподаватель дает словесное определение индуктивности или выводит формулу $E_{\text{инд}} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$.

Затем устанавливает единицу индуктивности «генри» и сообщает, что индуктивность катушки зависит от площади ее сечения, числа витков и от свойств вставленного в нее железного сердечника.

Политехническое значение учения об индукции, открытие которой произвело переворот в технике, раскрывается в следующих отделах, посвященных устройству генераторов, электродвигателей, трансформаторов, а также изучению свойств переменного тока и понятию об электрификации.

Глава XXII.

ПЕРЕМЕННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК.

122. Предварительные замечания.

Широкое применение переменных токов в самых различных областях народного хозяйства нашей страны способствует быстрому развитию промышленности, сельского хозяйства и транспорта.

На основе использования электрической энергии создаются наиболее производительные машины, агрегаты, осуществляется механизация, автоматизация, телемеханизация различных производственных процессов; возникли и успешно развиваются новые отрасли техники.

Поэтому важно не только ознакомить учащихся с физическими основами электротехники, но и вооружить их наиболее важными умениями и навыками по электротехнике.

Осуществление этой большой и важной задачи возлагается на курс физики и на курс основ производства, включающего электротехнику.

В действующей программе курса физики большое внимание уделяется связи теоретического материала с практикой, предусматривается ознакомление учащихся со свойствами переменного тока, с основными электрическими машинами и приборами (генераторами, электродвигателями, трансформаторами, выпрямителями и электроизмерительными приборами), с электростанциями и энергетическими ресурсами нашей страны, с передачей и распределением электрической энергии.

Наконец, рассматриваемая тема представляет благодарный материал и для воспитательной работы с учащимися.

Хорошо известно, что Россия — родина электротехники. В России были сделаны важнейшие открытия и изобретения, являющиеся основой современной электротехники. Эти открытия связаны с именами русских ученых: академика В. В. Петрова, академика Б. С. Якоби, академика Э. Х. Ленца, М. О. Доливо-Добровольского и многих других, деятельность которых должна быть поставлена в пример учащимся.

В связи с тем что эта тема в указанном объеме введена в программу сравнительно недавно, практика работы школы еще не выработала твердых методических приемов ее изложения.

Аналитический метод изложения основ электротехники требует значительных знаний по математике, которыми не обладают учащиеся. В изложении этой темы в средней школе на первое место выступает эксперимент. Поэтому основной метод преподавания темы состоит в постановке ряда демонстраций с последующим теоретическим обобщением результатов опытов.

123. Тематический и поурочный планы раздела.

1. Тематический план. В основу планирования положены следующие соображения.

1) Поскольку данная тема входит в программы курса физики и основ производства (электротехника), следует правильно распределить изучение отдельных вопросов темы между этими дисциплинами, чтобы избежать параллелизма.

В курсе физики главное внимание надо уделить изучению физической сущности переменного тока, установлению свойств переменных токов и сравнению их со свойствами постоянных.

При рассмотрении электрических машин и приборов следует остановиться лишь на физических основах устройства и принципах их работы. Вопросы же, связанные с конструктивными особенностями отдельных типов машин, электроизмерительных приборов различных систем, с измерением мощности переменного тока, эксплуатационными качествами машин и приборов (включение машин, реверсирование, регулировка числа оборотов при различных на-

грузках, условия безопасности работы), основные электротехнические материалы и детали должны рассматриваться на теоретических и практических занятиях по основам производства (электротехника).

Из этих соображений следует, что изучение отдельных вопросов электротехники в курсе физики должно предшествовать изучению технических приложений в курсе основ производства.

2) Для прочного усвоения учащимися понятий об активных и реактивных сопротивлениях следует рассматривать зависимость этих величин от частоты тока.

Постановка демонстраций, позволяющих установить эти зависимости, требует использования ламповых генераторов высокой частоты, с устройством и принципом работы которых учащиеся знакомятся лишь в теме «Электромагнитные колебания и волны».

Естественно, что по методическим соображениям было бы нежелательно использовать на демонстрациях приборы, принцип работы которых неизвестен учащимся. Однако в данном случае, в порядке исключения, придется это сделать.

3) Ограниченность времени, отводимого на изучение этой большой и важной темы, не дает возможности рассмотреть многие интересные вопросы. Поэтому ряд их, особенно имеющих большое значение в технике и народном хозяйстве, следует разобрать на кружковых занятиях.

2. Примерный план поурочного распределения материала.

1) Получение переменного тока. Период, частота и фаза переменного тока.

2) Генератор переменного тока. Тепловые, магнитные и химические действия тока.

3) Активное сопротивление в цепи электрического тока. Эффективные значения напряжения и тока.

4) Индуктивное сопротивление в цепи электрического тока.

5) Емкостное сопротивление в цепи электрического тока.

6) Понятие о трехфазном токе.

7) Генератор трехфазного тока.

8) Вращающееся магнитное поле. Электродвигатель трехфазного тока.

9) Выпрямление переменного тока. Электронная лампа как выпрямитель.

10) Полупроводниковые выпрямители.

11) Генератор постоянного тока.

12) Решение задач.

13) Тепловые, гидроэлектрические и ветроэлектрические станции.

14) Передача и распределение электроэнергии.

15) Успехи электрификации СССР. Применение электродвигателей в промышленности, сельском хозяйстве и на транспорте.

16) Общее повторение темы.

1. П р и н ц и п п о л у ч е н и я п е р е м е н н о г о т о к а. Во введении к теме следует отметить, что до сих пор учащиеся изучали свойства постоянного электрического тока. Им известны два типа химических источников постоянного тока: гальванические элементы и аккумуляторы. Оба эти источника являются мало-мощными и редко используются для промышленных целей.

Что же используется в качестве мощных источников тока для промышленных целей? Такими источниками являются индукционные генераторы электрического тока.

Прежде чем разобрать устройство генераторов, следует выяснить, на чем основано возбуждение электрического тока в генераторах.

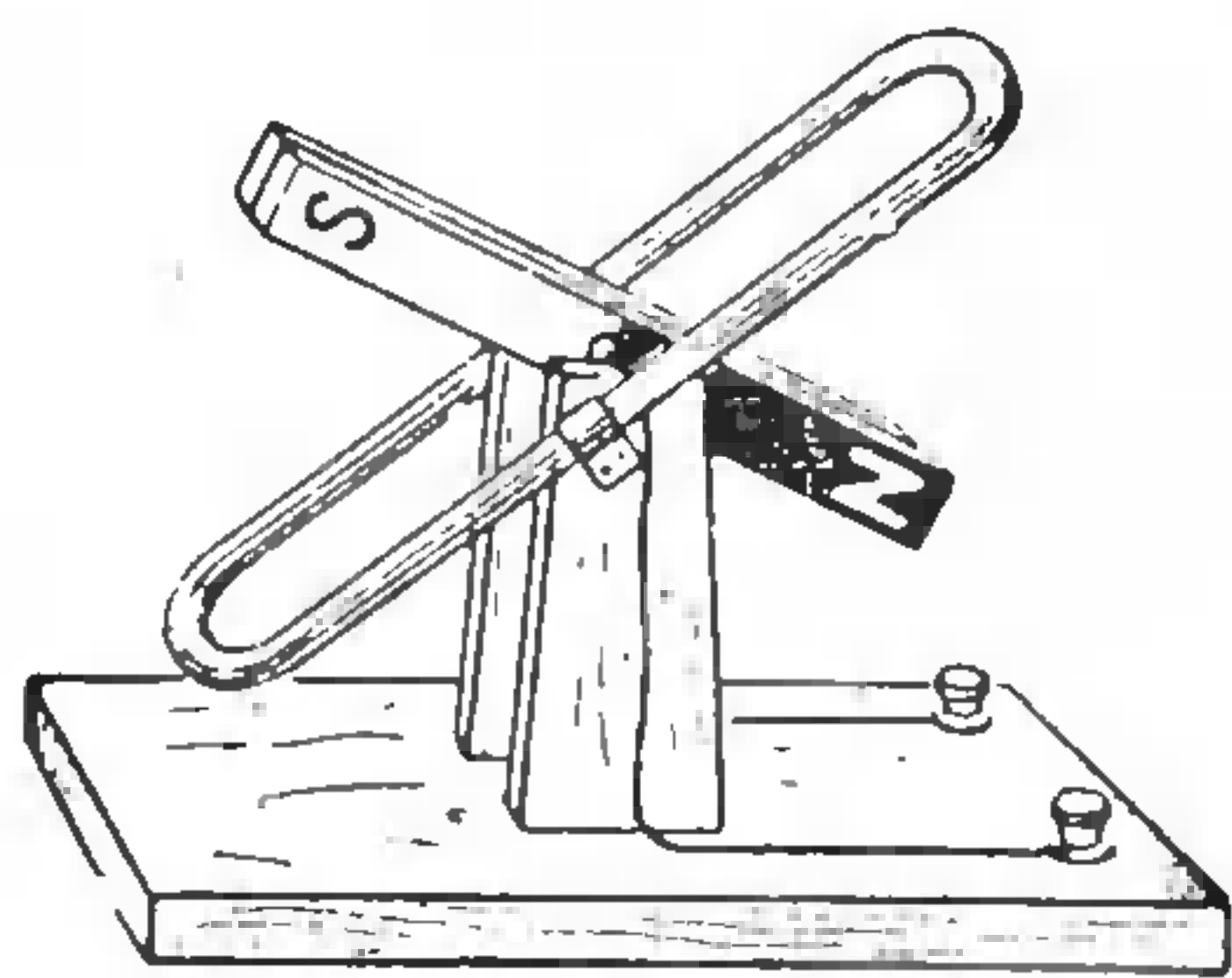


Рис. 82

После этого следует перейти к рассмотрению демонстрации вращения прямоугольной рамки в магнитном поле. Обычно для этих целей рекомендуют воспользоваться прибором Хазанова «Вращение рамки в магнитном поле». Но этого не следует делать, так как школьные демонстрационные электроизмерительные приборы не дают возможности обнаружить слабый ток, возбуждаемый в рамке этого прибора. Лучше вместо прибора Хазанова изготовить и использовать следующий простой прибор. Из изолированной проволоки (1—0,05 мм) наматывается катушка в 100—200 витков такого размера, чтобы в ней свободно мог вращаться прямой магнит. В середине катушки на оси с ручкой закрепляют два соединенных между собой прямых магнита (рис. 82). Выводы катушки соединяют с демонстрационным школьным гальванометром. Этот прибор дает возможность не только обнаружить индукционный ток, но и установить изменение величины и направления индукционного тока при вращении магнита в прямоугольной рамке.

Непрерывное изменение положения стрелки позволяет ввести понятие о м г н о в е н н ы х значениях тока и напряжения.

Присоединив концы витка к школьному осциллографу и вращая магнит, надо показать осциллограмму переменного тока и сравнить ее с осциллограммой постоянного тока. После этого надо дать понятие о частоте, периоде и фазе переменного тока.

Очень важно уяснить учащимся, что переменный ток можно рассматривать как колебательный процесс.

Для этого следует предварительно спросить учащихся, каковы особенности механических колебаний.

Характерным признаком колебательного движения является его периодичность. В цепи переменного тока также непрерывно колеблются: величина тока в проводнике, напряжение на некотором сопротивлении, э. д. с. на зажимах разомкнутого генератора.

Так как в цепи переменного тока изменения тока и напряжения происходят по закону гармонического колебания, то переменный ток представляет собой электрические колебания.

2. Г е н е р а т о р п е р е м е н н о г о т о к а . На втором уроке нужно рассмотреть устройство и действие генератора переменного тока. На принципиальной схеме устанавливают, из каких частей состоит генератор и каково назначение каждой части. После этого надо перейти к демонстрации возбуждения переменного тока с помощью действующей модели генератора. Необходимо обратить внимание учащихся на то, что в отличие от модели магнитоэлектрической машины, где магнитное поле возбуждается постоянным магнитом, в генераторах, применяемых в промышленности, магнитное поле возбуждается электромагнитом, питаемым от постороннего источника постоянного тока. Таким источником служит обычно генератор постоянного тока, находящийся на одном валу с генератором переменного тока. Кроме того, в генераторах большой мощности, во избежание искрения между кольцами и щетками, якорь делается неподвижным (его название—статор), а индуктор—подвижным (ротор).

Необходимо сообщить учащимся основные технические данные о генераторах и турбинах, установленных на Куйбышевской и Сталинградской электростанциях, показать на плакатах и диапозитивах машинный зал гидростанции.

Крайне важно указать учащимся, что наши электростанции вырабатывают переменный ток с частотой в 50 герц, который используется во многих областях промышленности и техники. Однако для некоторых областей техники требуется переменный ток высокой частоты. Это вызвано рядом свойств высокочастотных токов.

125. Действия переменного тока.

Согласно закону Джоуля—Ленца теплота, выделяющаяся в цепи с сопротивлением R и э. д. с. E , определяется равенством

$$Q = 0,24 \frac{E^2}{R} t \text{ кал.}$$

Применяя этот закон для подсчета теплоты, выделяемой в сплошных телах вихревыми токами при явлении электромагнитной индукции, можно написать

$$Q = 0,24 \frac{E_{\text{инд}}^2}{R} t \text{ кал.} \quad (1)$$

С другой стороны, напомним учащимся, что э. д. с. индукции равна скорости изменения магнитного потока $E_{\text{инд}} = \Phi \cdot \frac{\Delta k}{\Delta t}$. Подставляя значение $E_{\text{инд}}$ в формулу (1), получим

$$Q = 0,24 \frac{\kappa^2}{R} \left(\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right)^2 t \text{ кал.} \quad (2)$$

Если магнитный поток возбуждается переменным током, то скорость изменения магнитного потока $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ пропорциональна числу перемен направления тока, т. е. частоте переменного тока ν ; следовательно, выделяющаяся ежесекундно теплота будет пропорциональна квадрату частоты переменного тока. Количество теплоты выделяемое вихревыми токами при больших частотах, столь значительно, что им пользуются в специальных металлургических печах для плавления металлов и их сплавов, для прогрева металла в вакууме и т. д.

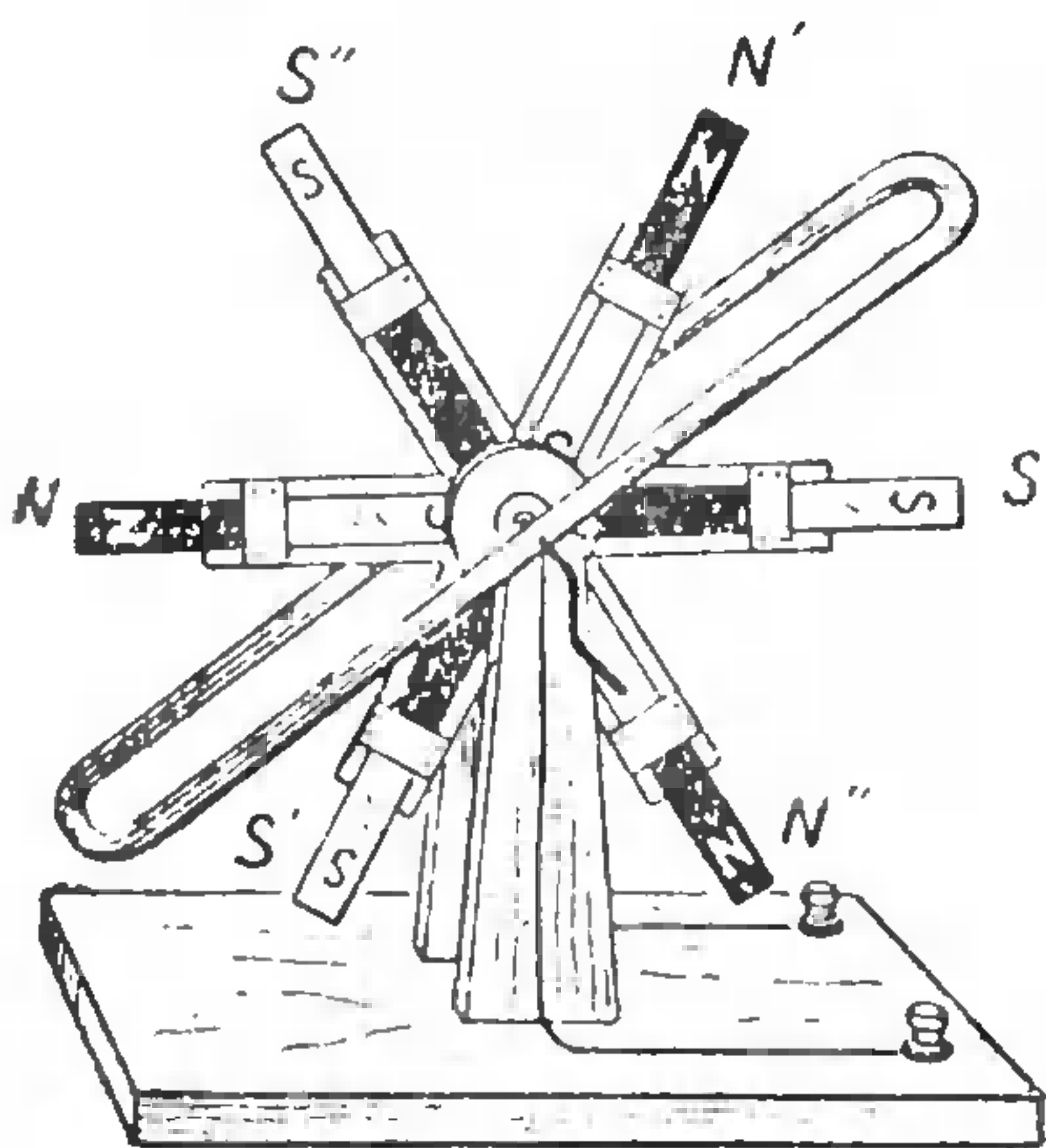


Рис. 83

В связи с этим надо остановить внимание учащихся на вопросе: от чего зависит частота тока, возбуждаемого в индукционных генераторах?

Для разрешения поставленного вопроса следует показать две демонстрации.

1-я демонстрация. При неизменном числе пар магнитных полюсов индукционного генератора частота генерируемого тока зависит от числа оборотов ротора.

Для этой демонстрации можно воспользоваться моделью, описанной нами выше (рис. 82), и показать, что чем больше скорость вращения ротора, тем больше частота генерируемого тока.

2-я демонстрация. При неизменной скорости вращения ротора индукционного генератора частота генерируемого тока зависит от числа пар магнитных полюсов.

Для демонстрации этой закономерности необходимо изготовить модель, аналогичную изображенной на рисунке 82, но укрепить на оси не один прямой магнит, а три магнита, расположенные под углом в 120° (рис. 83), и показать, что чем больше пар магнитных полюсов у ротора, тем больше частота генерируемого тока.

Из этих двух демонстраций учащиеся сами смогут сделать общий вывод, что частота тока, генерируемая в индукционных генераторах, зависит от числа пар магнитных полюсов и числа оборотов ротора. После этого учитель сообщает, что более точные измерения показывают, что частота тока может быть вычислена по следующей простой формуле: $\nu = Pn$, где P —число пар магнитных полюсов, а n —число оборотов ротора.

После этого следует перейти к показу демонстраций, позволяющих на опытах установить магнитные и химические действия переменных и постоянных токов.

126. Активное сопротивление в цепи переменного тока.

Прежде всего обращается внимание учащихся на то, что для лучшего изучения свойств переменных токов как в курсе физики, так и в курсе электротехники вводится понятие об активном сопротивлении электрическому току.

Нагрузка, включенная в цепь электрического тока, на которой происходит безвозвратная потеря энергии электрического тока на теплоту, представляет собой активное сопротивление. Чисто активное сопротивление постоянному току оказывают все твердые и жидкие проводники, независимо от их размеров и формы.

Чисто активное сопротивление (пренебрегая распределенными по длине проводника параметрами L и C) переменному току практически создают электрические лампы накаливания, линейные провода и реостаты.

Приступая к теме урока, преподаватель отмечает, что на основе магнитных и химических действий постоянного и переменного токов (т. е. при прохождении постоянного и переменного токов по катушкам и электролитам) сравнить эти токи нельзя, так как эти действия различны.

Поэтому естественно выяснить, какие действия тока не будут зависеть от того, что ток переменный или постоянный. Для этого предлагается рассмотреть прохождение электрического тока по участку цепи, представляющему собой чисто активное сопротивление как для постоянного, так и для переменного тока.

Собираются две одинаковые цепи: на одну подается постоянное напряжение, а на вторую—переменное (от осветительной сети). Каждая цепь состоит из лампы накаливания, вольтметра, приключенного к зажимам лампы, амперметра, источника тока и ключа.

Обе цепи замыкаются по очереди. Учащиеся видят, что прохождение постоянного и переменного токов по волоскам лампы вызывает их накал.

Первый вывод из опыта: прохождение постоянного и переменного токов по активному сопротивлению сопровождается выделением джоулевой теплоты.

На основе этого опыта надо ввести понятие об э ф ф е к т и в н ы х (действующих) значениях тока и напряжения и дать без математического вывода соотношение между эффективными и амплитудными значениями.

О нагревании проводника можно судить по тому, какое количество теплоты выделяется за какой-то определенный отрезок времени.

Поскольку в течение периода величина переменного тока изменяется, количества теплоты, выделяемые током в проводнике в разные моменты периода, должны быть разными. Поэтому для подсчета выделяемой теплоты в активном сопротивлении переменным током за определенный конечный отрезок времени нельзя воспользоваться ни мгновенным, ни амплитудным его значениями.

О действии переменного тока судят по тепловому эффекту за конечный отрезок времени, сравнивая его с тепловым эффектом постоянного тока. Дается определение действующего или эффективного значения переменного тока (Пер. III, § 96).

Учащиеся должны усвоить, что выделение теплоты в цепи есть необратимый процесс, так как энергия электрического тока непрерывно расходуется на выделение теплоты, рассеивающейся в окружающем пространстве. Рассеянная часть энергии не может возвратиться обратно в данную электрическую систему. Можно напомнить учащимся, что с подобного рода необратимыми процессами они встречались при рассмотрении механического движения, сопровождаемого трением, а следовательно, и выделением теплоты.

Необходимо указать, что вольтметры, амперметры и другие измерительные приборы, предназначенные для работы в цепи переменного тока, градуируются обычно так, чтобы они показывали непосредственно действующие значения напряжения или тока.

На большинстве приемников электрического тока, работающих на переменном токе (электрические лампы накаливания, нагревательные приборы, электрические двигатели и т. д.), указаны эффективные значения тока и напряжения.

При решении задач на переменный ток учащимся следует помнить, что установленные ранее законы Ома и Джоуля—Ленца для постоянного тока остаются справедливыми и для эффективных значений переменного тока в цепях с активной нагрузкой.

Эти законы в записи имеют вид:

$$I_{\text{эф}} = \frac{U_{\text{эф}}}{R}; \quad A = I_{\text{эф}}^2 R t; \quad Q = 0,24 I_{\text{эф}}^2 R t.$$

Рассмотрим, от чего зависит величина активного сопротивления. Можно чисто качественно показать, что при включении в собранные ранее цепи постоянного и переменного токов ламп с разными сопротивлениями меняется их накал почти в одинаковой степени как в цепи переменного тока, так и в цепи постоянного тока. Опыт подтверждает, что величина активного сопротивления переменному току определяется, как и сопротивление постоянному току, по формуле $R = \rho \frac{l}{S}$.

Дальше исследуется вопрос, имеет ли место для переменных токов закон разветвления, установленный для постоянного тока.

Для получения ответа составляют цепь из двух ветвей, в каждую из которых включают по амперметру и по активному сопротивлению (лампа накаливания); в неразветвленную часть включают амперметр и источник переменного тока.

По замыкании цепи приборы показывают, что сумма токов в ветвях равна току в неразветвленной части цепи.

Результат опыта можно объяснить лишь тем, что токи в обеих ветвях находятся в одинаковых фазах. Чтобы лучше убедить в этом учащихся, им предлагается проверить вывод путем сложения двух синусоидальных переменных токов, совпадающих по фазе.

Далее преподаватель на опытах выясняет, существует ли различие в прохождении постоянного и переменного — высокочастотного — токов по проводнику, представляющему собой чисто активное сопротивление.

Для ответа на этот вопрос собирают две одинаковые электрические цепи, из которых одна питается постоянным напряжением, а вторая — высокочастотным. Каждая цепь имеет проводник, выполненный из двух дисков размером $D=5$ см, соединенных между собой проволочками, в разрыв которых включены низковольтные лампы ($U=1$ в, $I=0,075$ а, рис. 84).

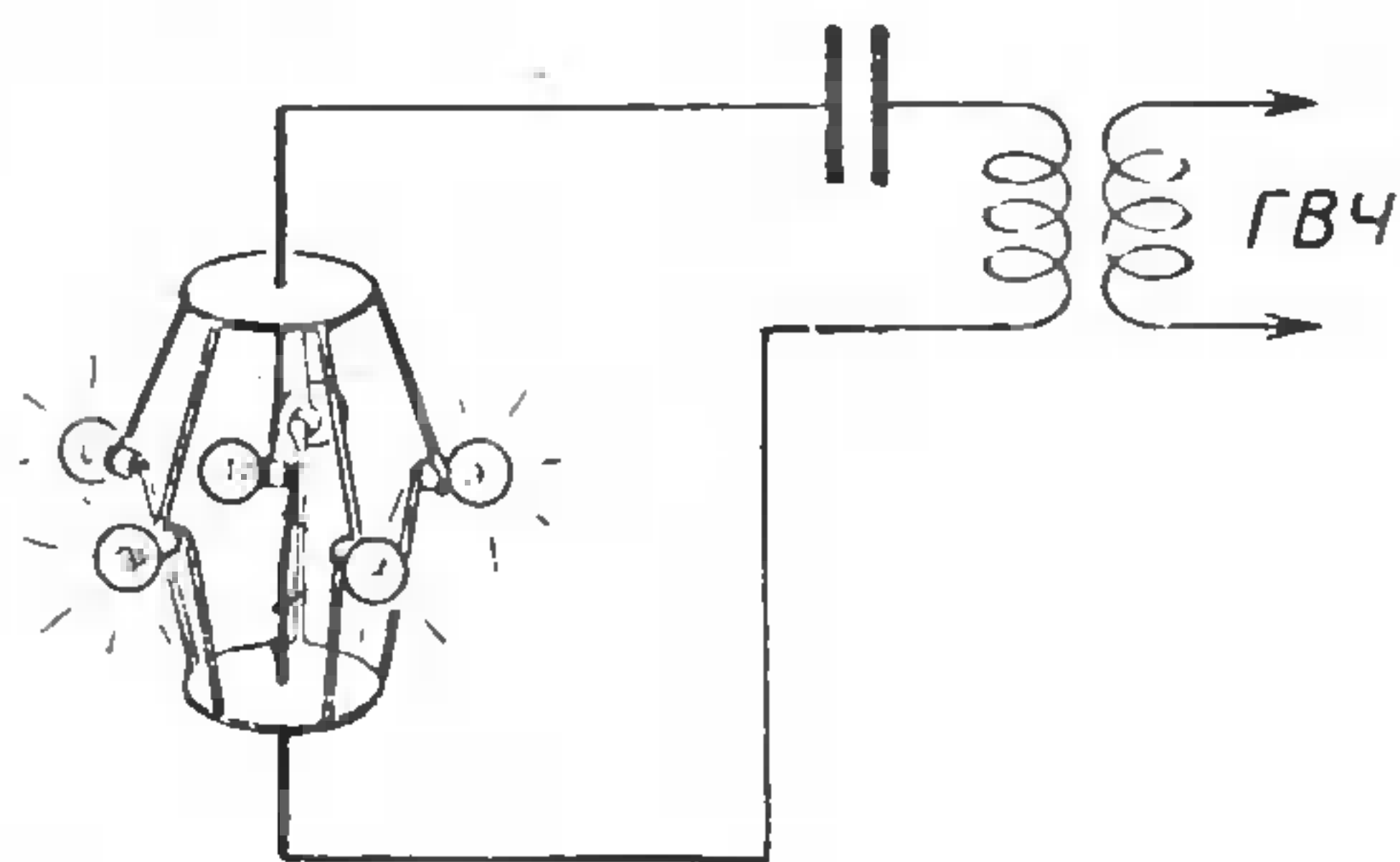


Рис. 84

Замыкается первая цепь, питаемая от источника постоянного напряжения. В этом опыте учащиеся наблюдают, что все лампы, расположенные как по краям, так и по оси этого своеобразного «проводника», имеют одинаковый накал. Затем замыкается вторая цепь, питаемая высокочастотным напряжением, равным по величине постоянному. Опыт показывает, что лампа, расположенная на оси «проводника», совсем не имеет накала, либо светится слабее, нежели лампы, расположенные по краям.

Из этого опыта следует чрезвычайно важный вывод.

При прохождении постоянного и низкочастотного токов плотность тока по всему сечению проводника постоянна, а поэтому общий ток I можно представить в виде $I=iS$, где i — плотность тока, а S — площадь сечения проводника.

При прохождении же высокочастотного тока по подобной цепи лампы приобретают разный накал, а следовательно, плотность тока по сечению проводника есть величина непостоянная: плотность тока максимальна у поверхности проводника и убывает к оси проводника. После истолкования опытов необходимо дать объяснение наблюдаемой закономерности с помощью графического изображения суммарного тока, полученного от сложения в отдельные моменты времени первичного электрического тока и возникающего под его влиянием индукционного тока (рис. 85).

При очень больших частотах практически внутри проводника тока нет совсем. Так, например, в медном проводе переменный ток с частотой $\nu=100\,000$ герц практически сосредоточен в поверхностном слое толщиной в 0,2 мм.

Поэтому в высокочастотной технике (в радиолокационной аппаратуре, в телевизионных антеннах) используются для экономии металла не сплошные проводники, а трубчатые.

Наличие поверхностного эффекта как бы уменьшает полезное сечение провода, а следовательно, увеличивает его сопротивление. Отсюда вытекает необходимость указать учащимся, что, используя формулу $R = \rho \frac{l}{S}$ для расчета сопротивления проводника перемен-

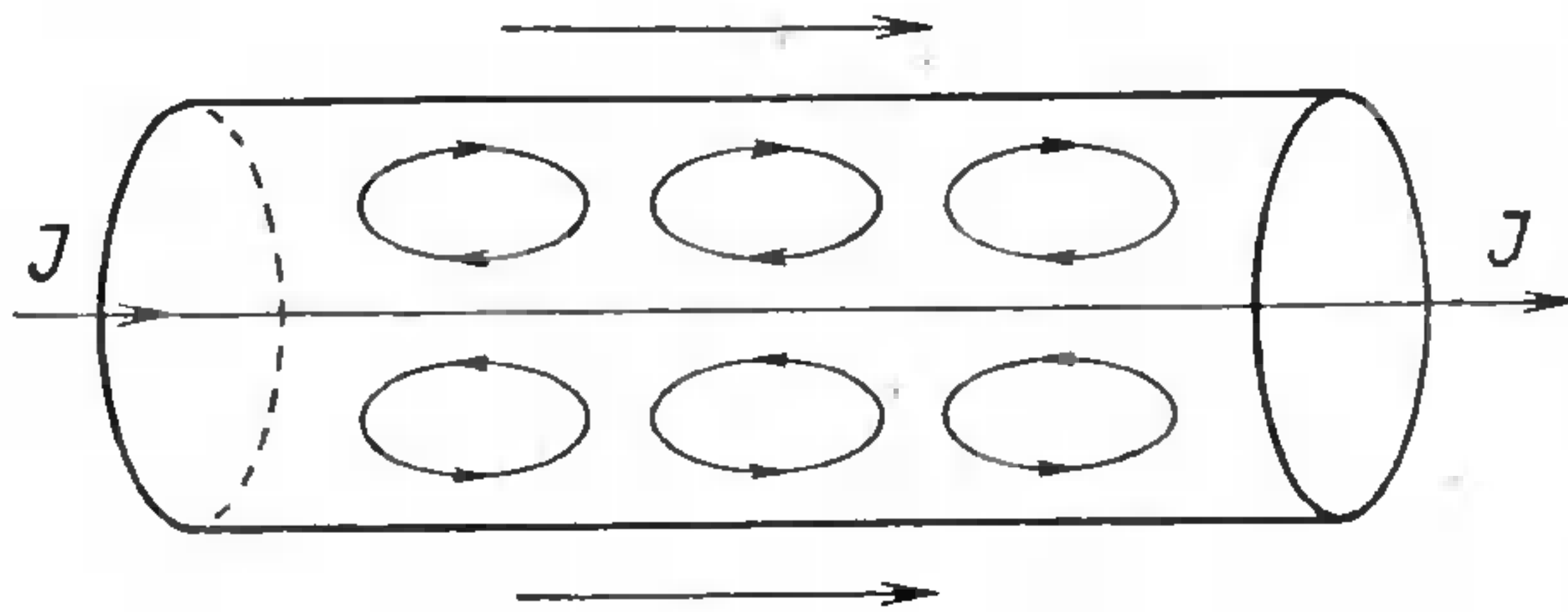


Рис. 85

ному току и в особенности высокочастотному току, необходимо в качестве сечения проводника брать не геометрические его размеры, как в случае постоянного тока, а некоторое эффективное значение сечения проводника.

Наконец, чтобы закончить рассмотрение этого вопроса, нужно рассказать учащимся о большом значении описанного поверхностного эффекта в технике и, в частности, для поверхностной закалки металлов.

127. Индуктивное сопротивление в цепи переменного тока.

Для введения понятия об индуктивном сопротивлении следует в первую очередь рассмотреть прохождение постоянного и переменного токов по цепи, в которой имеется катушка с железным сердечником. Для этого собирают две одинаковые электрические цепи, из которых одна будет питаться от источников постоянного напряжения, а другая от источника переменного напряжения (от осветительной сети).

Каждая цепь будет состоять из индукционной катушки с железным сердечником ($U = 120$ в, $I = 5$ а), реостата, амперметра и вольтметра.

1-й опыт. Показывается, что катушка с железным сердечником для постоянного тока представляет собой чисто активное сопротивление.

Замкнув цепь постоянного тока, отмечают по приборам величину тока и падение напряжения на катушке. Затем вынимают из катушки железный сердечник и обращают внимание учащихся, что показания приборов от этого совершенно не изменились. Отсюда следует, что катушка с железным сердечником представляет для постоянного тока чисто активное сопротивление, т. е. при одном и том же напряжении, приложенном к катушке, величина тока будет неизменна, независимо от того, проходит ли ток по катушке с железным сердечником, по катушке без сердечника или эта катушка будет распущена в линейный проводник.

2-й опыт. Показывается, что катушка с железным сердечником для переменного тока представляет собой не чисто активное сопротивление.

Вынув предварительно сердечник из катушки, замыкают цепь переменного тока и отмечают по приборам величину тока и напряжение. Затем вставляют в катушку сердечник и вновь отмечают показания приборов. Опыт показывает, что во втором случае ток уменьшился, а напряжение увеличилось.

Прежде чем перейти к обобщению опытов, следует удостовериться, что активные сопротивления обеих катушек одинаковы. Итак, поскольку активное сопротивление катушки по сравнению с предыдущим опытом осталось неизменным, а полное сопротивление ее меняется, то катушка для переменного тока не представляет собой чисто активного сопротивления. Увеличение падения напряжения и уменьшение тока можно лишь объяснить увеличением общего сопротивления катушки переменному току. Следовательно, для объяснения результата второго опыта нужно предположить, что, помимо активного сопротивления, катушка оказывает переменному току новый вид сопротивления, отличный от активного, а именно — **и н д у к т и в н о е** сопротивление; катушка с железным сердечником представляет для переменного тока определенную величину активного сопротивления и некоторую величину индуктивного сопротивления.

Возникает вопрос о природе индуктивного сопротивления.

При прохождении переменного тока по катушке непрерывно меняются величина тока и магнитное поле, возбуждаемое этим током, следовательно, в катушке возбуждается э. д. с. самоиндукции. По закону Ленца э. д. с. самоиндукции противодействует изменениям первичного поля. Эта э. д. с. и создает сопротивление, дополнительное к активному сопротивлению катушки при прохождении по ней переменного тока. Итак, дополнительное сопротивление обусловлено возбуждением э. д. с. самоиндукции, поэтому оно получило название индуктивного сопротивления.

Увеличение напряжения на катушке при переменном токе обусловлено тем, что источнику переменного тока в этом случае приходится преодолевать не только активное сопротивление катушки, но и э. д. с. самоиндукции. Из изучения явления самоиндукции учащимся известно, что э. д. с. самоиндукции выражается формулой:

$$E_{\text{си}} = L \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

Если падение напряжения на активном сопротивлении катушки равно $U_1 = IR_1$, где R_1 — активное сопротивление, то падение напряжения на катушке в цепи переменного тока будет $U_2 = IR_1 + E_{\text{си}}$.

Отсюда видно, что $U_2 > U_1$.

Хотя природа индуктивного сопротивления обусловлена явлением возбуждения э. д. с. самоиндукции, во многих расчетах, широко используемых как в физике, так в электротехнике и радио-

технике, очень удобно пользоваться понятием индуктивного сопротивления R_L . Так, например, если по цепи, состоящей из одной катушки с железным сердечником, идет высокочастотный ток, то в ряде случаев можно пренебречь активным сопротивлением катушки; тогда катушка будет представлять для высокочастотного тока чисто индуктивное сопротивление. По закону Ома для рассматриваемого участка цепи можно написать $I = \frac{U}{R_L}$. Далее исследуется, от чего зависит величина индуктивного сопротивления. Величина индуктивного сопротивления будет тем больше, чем больше величина э. д. с. самоиндукции, возникающая при протекании переменного тока по катушке.

1-й опыт. Установление зависимости величины индуктивного сопротивления от магнитной проницаемости среды при неизменной частоте тока и при неизменной форме катушки.

Собирают последовательную цепь из индукционной катушки с железным сердечником, амперметра и лампочки, ключа и источника переменного тока.

До замыкания цепи необходимо предварительно вынуть из катушки железный сердечник, а затем замкнуть цепь, отметить показания амперметра и степень накала лампочки.

После этого постепенно опускают в катушку железный сердечник и наблюдают за показаниями амперметра и степенью накала лампочки. Опыт показывает, что во втором случае резко уменьшается накал лампочки, а следовательно, и величина тока.

Так как в обеих демонстрациях эффективное напряжение источника оставалось неизменным, а величина тока во втором опыте уменьшилась, то по закону Ома это можно объяснить лишь увеличением сопротивления. С другой стороны, необходимо отметить, что в обеих демонстрациях активное сопротивление катушки оставалось неизменным. Следовательно, увеличение сопротивления катушки обусловлено увеличением ее индуктивного сопротивления.

2-й опыт. Выяснение зависимости величины индуктивного сопротивления от формы катушки при неизменной частоте тока и неизменной магнитной проницаемости.

Необходимо изготовить из медной проволоки две катушки с одинаковым активным сопротивлением, но с разным числом витков. Для демонстрации можно воспользоваться прежней установкой, в которой вместо индукционной катушки вставить сначала первую катушку с меньшим числом витков и измерить величину тока, а затем вторую с большим числом витков. Опыт показывает, что во втором случае величина тока будет меньше.

Отсюда следует, что величина индуктивного сопротивления зависит от числа витков.

На основе этих двух демонстраций следует, что при неизменной частоте тока индуктивное сопротивление зависит от индуктивности катушки. При этом, чем больше индуктивность катушки, тем больше ее индуктивное сопротивление.

3-й опыт. Нахождение зависимости величины индуктивного сопротивления катушки при постоянной ее индуктивности от частоты тока.

Перед опытом необходимо напомнить учащимся, что скорость изменения тока $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ зависит от частоты переменного тока. К ламповому генератору присоединяют катушку из нескольких витков медной проволоки и последовательно с ней лампу накаливания ($U = 127$ в; $W = 10$ вт).

Замыкают цепь и обращают внимание учащихся на степень накала лампы. Затем, не изменяя индуктивности катушки, изменяют частоту генерируемого тока и наблюдают за изменением накала лампы. Так как с ростом частоты тока накал лампы уменьшается, то из опыта следует, что при неизменном эффективном напряжении (пренебрегая малыми изменениями) меняется величина тока. Из закона Ома это можно объяснить изменением сопротивления.

Из опыта учащиеся делают вывод, что индуктивное сопротивление при неизменной индуктивности катушки зависит от частоты тока. При этом, чем больше частота тока, тем больше индуктивное сопротивление.

Обобщая результат трех опытов, преподаватель отмечает, что величина индуктивного сопротивления зависит от индуктивности катушки и частоты тока.

Точные измерения показывают, что индуктивное сопротивление может быть выражено формулой $R_L = L\omega$, или $R_L = 2\pi\nu L$.

Подставляя в данную формулу наименование индуктивности и частоты тока, легко найти, что индуктивное сопротивление, как и активное сопротивление, измеряется в омах, если индуктивность выражена в генри, а частота — в герцах.

Желательно предложить учащимся решить несколько задач, на которых они наглядно убедятся, как резко меняется величина индуктивного сопротивления катушки от частоты тока.

Например, можно предложить вычислить величину индуктивного сопротивления катушки, обладающей индуктивностью $L = 0,1$ гн при следующих частотах 1) 50 гц; 2) 100 гц; 3) 1000 гц.

Свойство катушек сказывать токам разной частоты различное индуктивное сопротивление широко используется в электротехнике и радиотехнике.

Чтобы выяснить, имеет ли место закон разветвления для переменных токов и индуктивных сопротивлений, надо собрать цепь с двумя параллельными ветвями, в одну ветвь включить катушку с железным сердечником и амперметр, а в другую — реостат и амперметр. В неразветвленную часть цепи включаются амперметр и источник переменного тока. По замыкании цепи приборы показывают, что сумма токов в ветвях больше тока в неразветвленной части цепи.

Результат опыта можно объяснить тем, что токи в ветвях отличаются по фазе. Желательно предложить учащимся этот вывод

проверить путем графического сложения двух переменных синусоидальных токов, отличающихся по фазе на $\frac{\pi}{2}$. Следует также показать на опыте, что если обе ветви представляют чисто индуктивные сопротивления, то для такой цепи имеет место закон разветвления.

Затем надо обратить внимание учащихся на энергетическую основу индуктивного сопротивления.

Для выяснения этой стороны индуктивного сопротивления следует детальнее рассмотреть процесс прохождения переменного тока по катушке.

В первую четверть периода изменения переменного тока, когда в цепи происходит увеличение переменного тока от нуля до максимального значения, в катушке возникает э. д. с. самоиндукции, препятствующая нарастанию тока. При этом э. д. с. самоиндукции возникает за счет изменения (увеличения) энергии магнитного поля. На создание магнитного поля расходуется энергия тока, которая, таким образом, запасается в форме энергии магнитного поля. В следующую четверть периода происходит уменьшение величины тока от максимума до нуля. Вновь возбуждается э. д. с. самоиндукции, но уже не препятствующая, а поддерживающая ток. При этом э. д. с. самоиндукции возникает за счет изменения (уменьшения) энергии магнитного поля, т. е. запасенная в магнитном поле энергия превращается в энергию тока, возвращаясь вновь в цепь, при этом в таком же количестве, какое было израсходовано на возбуждение магнитного поля в течение первой четверти периода.

Отсюда следует важный вывод, который необходимо хорошо уяснить учащимся. Наличие чисто индуктивного сопротивления в цепи переменного тока хотя и отражается на величине тока в этой цепи, но не связано с расходом мощности в ней.

В связи с этим в отличие от активных сопротивлений, на которых происходит безвозвратная потеря энергии электрического тока, индуктивные сопротивления, на которых не происходит потери энергии электрического тока, называются **реактивными** сопротивлениями.

128. Емкостное сопротивление в цепи переменного тока.

Для введения понятия о емкостном сопротивлении следует в первую очередь показать действие конденсаторов, поставленных в цепях постоянного и переменного токов. Для этого собирают две одинаковые электрические цепи, из которых одна питается от источника постоянного напряжения, а другая — от источника переменного напряжения (от осветительной сети), равного по величине с напряжением постоянного.

Каждая цепь состоит из источника тока, конденсатора ($C=4 \text{ мкф}$; $U=300 \text{ в}$), лампы накаливания ($U=127 \text{ в}$, $W=40 \text{ вт}$) и ключа (Пер. III рис. 185.).

При замыкании первой цепи нить лампы не накаливается. Следовательно, конденсатор оказывает бесконечно большое сопротивление для постоянного тока. Спросить учащихся, чем это вызвано. Если замкнуть вторую цепь, то лампочка накаливается, следовательно, переменный ток «проходит» через конденсатор.

Для подтверждения того, что конденсатор оказывает переменному току определенное конечное сопротивление, надо замкнуть проводником проводящие поверхности конденсатора. Опыт показывает, что лампочка приобретает больший накал, т. е. величина тока в цепи увеличивается.

Из этого опыта следует, что при неизменном эффективном напряжении сети, а также при неизменном активном сопротивлении проводников (пренебрегая активным сопротивлением короткого проводника, соединяющего пластины конденсатора) величина переменного тока при включении в цепь конденсатора уменьшается.

Исходя из закона Ома, это можно объяснить увеличением общего сопротивления электрической цепи. Так как активное сопротивление цепи оставалось постоянным, а индуктивное сопротивление цепи можно считать равным нулю, то для объяснения наблюдаемой закономерности необходимо ввести понятие о новом виде сопротивления переменному току, а именно понятие о емкостном сопротивлении конденсаторов.

Чтобы понять механизм прохождения переменного тока через конденсатор, следует рассмотреть предварительно прохождение постоянного тока через конденсатор при неустановившемся режиме.

Для этого можно воспользоваться установкой, изображенной на рисунке 86. Переключателем вводят конденсатор то в цепь постоянного тока, то в самостоятельную цепь. При переключении можно обнаружить в цепи конденсатора кратковременный электрический ток, регистрируемый гальванометром, стоящим в цепи с конденсатором. Истолкование результатов этой демонстрации позволит учащимся легко понять механизм прохождения переменного тока через конденсатор.

Следующее, что надо рассмотреть: от чего зависит величина емкостного сопротивления.

1-й опыт. Определение зависимости емкостного сопротивления от емкости конденсатора. Для опыта можно собрать электрическую цепь, состоящую из конденсатора емкостью 4 мкф, электрической лампы мощностью 15—25 вт с напряжением 127 в и источника переменного тока (осветительная сеть).

Замкнув цепь, отмечают степень накала лампы, позволяющую судить о величине тока. Затем, не изменяя величины напряжения сетевого тока, включают в данную цепь взамен прежнего конденса-

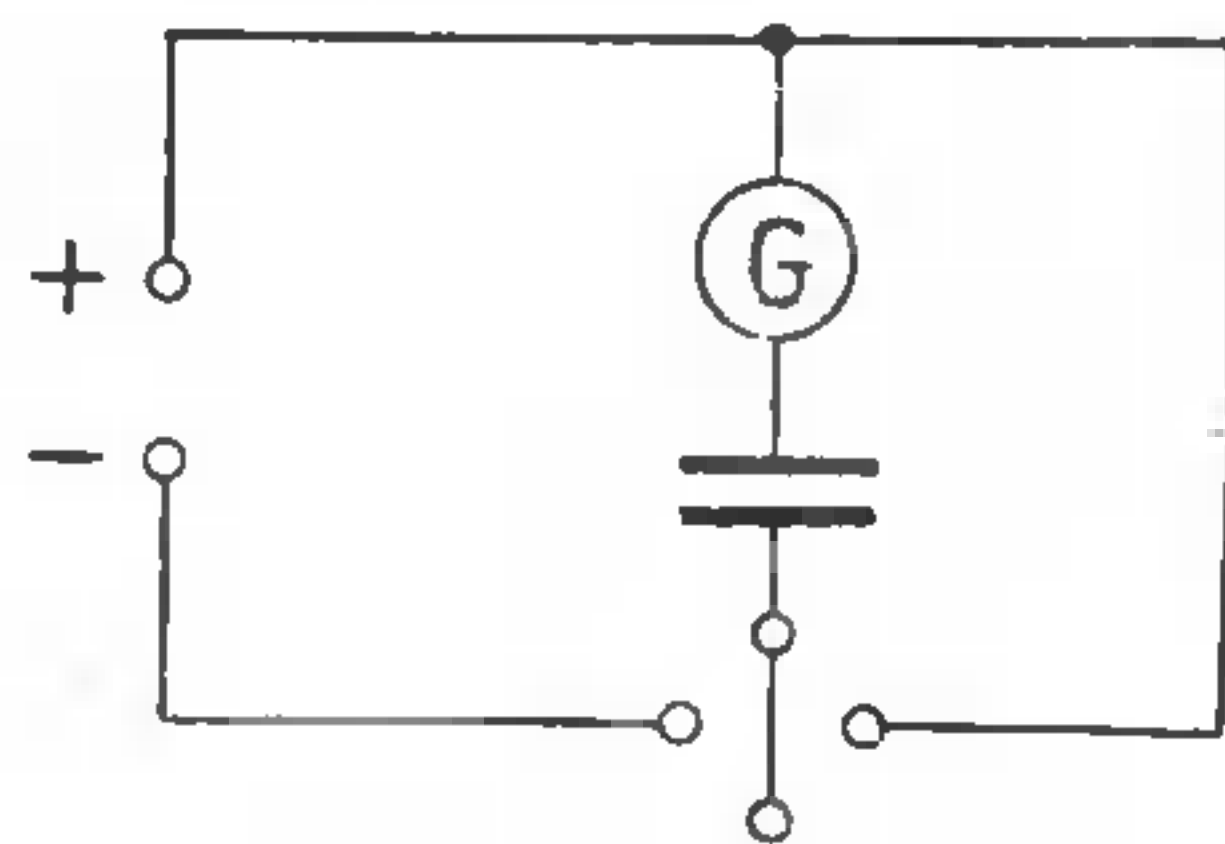


Рис. 86

тора новый, емкостью 8 мкф, и вновь отмечают степень накала лампы.

Опыт показывает, что величина тока во втором опыте будет больше. Так как индуктивное сопротивление цепи можно принять равным нулю, а активное сопротивление в рассмотренных двух опытах постоянно, то на основании закона Ома результат опытов, т. е. увеличение тока при неизменном эффективном напряжении, можно объяснить лишь уменьшением емкостного сопротивления конденсатора,

Следовательно, с увеличением емкости конденсатора емкостное сопротивление уменьшается.

2-й опыт. Определение зависимости емкостного сопротивления от частоты тока. К ламповому генератору ВЧ присоединяют одну обкладку раздвижного конденсатора, ко второй обкладке присоединяют лампу на 10 вт с напряжением 127 в.

Включают в цепь ламповый генератор и отмечают степень накала лампы. Затем, не изменяя емкости конденсатора, изменяют частоту возбуждаемого тока и вторично наблюдают за накалом лампы. Опыт показывает, что накал лампы изменяется, т. е. изменяется величина тока.

Отсюда следует, что величина емкостного сопротивления зависит от частоты тока. При этом из опыта видно, что с увеличением частоты тока емкостное сопротивление уменьшается.

Обобщая результаты двух опытов, преподаватель отмечает, что величина емкостного сопротивления зависит от емкости конденсатора и частоты тока.

Точные измерения показывают, что емкостное сопротивление выражается следующей формулой:

$$R_c = \frac{1}{C\omega}, \quad \text{или} \quad R_c = \frac{1}{2\pi\nu C}.$$

Подставляя в данную формулу наименования емкости и частоты тока, легко показать, что емкостное сопротивление, как и активное сопротивление, измеряется в омах, если емкость выражать в фарадах, а частоту—в герцах.

Надо объяснить результаты этих двух опытов.

Если в цепь переменного тока включен конденсатор и электрическая лампа, то в течение первой четверти периода происходит зарядка конденсатора. Очевидно, что зарядный ток будет течь до тех пор, пока разность потенциалов на обкладках конденсатора не сделается равной наибольшему напряжению генератора (пренебрегая падением напряжения на лампочке), после чего зарядка прекратится. За это время на обкладках конденсатора будут накапливаться электрические заряды, а следовательно, энергия тока пойдет на возбуждение электрического поля, в основном сосредоточенного между обкладками конденсатора.

Величину заряда возможно определить из соотношения, определяющего электроемкость конденсатора: $q = CU$.

Отсюда следует, что величину среднего тока зарядки конденсатора можно определить из следующего равенства:

$$I_{\text{ср}} = \frac{q}{t} = \frac{CU}{t},$$

где t —время зарядки, равное $\frac{1}{4}T$.

Из этой формулы видно, что величина зарядного тока зависит от величины заряда, накапливаемого на обкладках, и от времени, в течение которого происходит зарядка.

Но в свою очередь величина заряда при неизменном эффективном напряжении зависит от емкости конденсатора, а время зарядки, как легко понять, зависит от частоты тока.

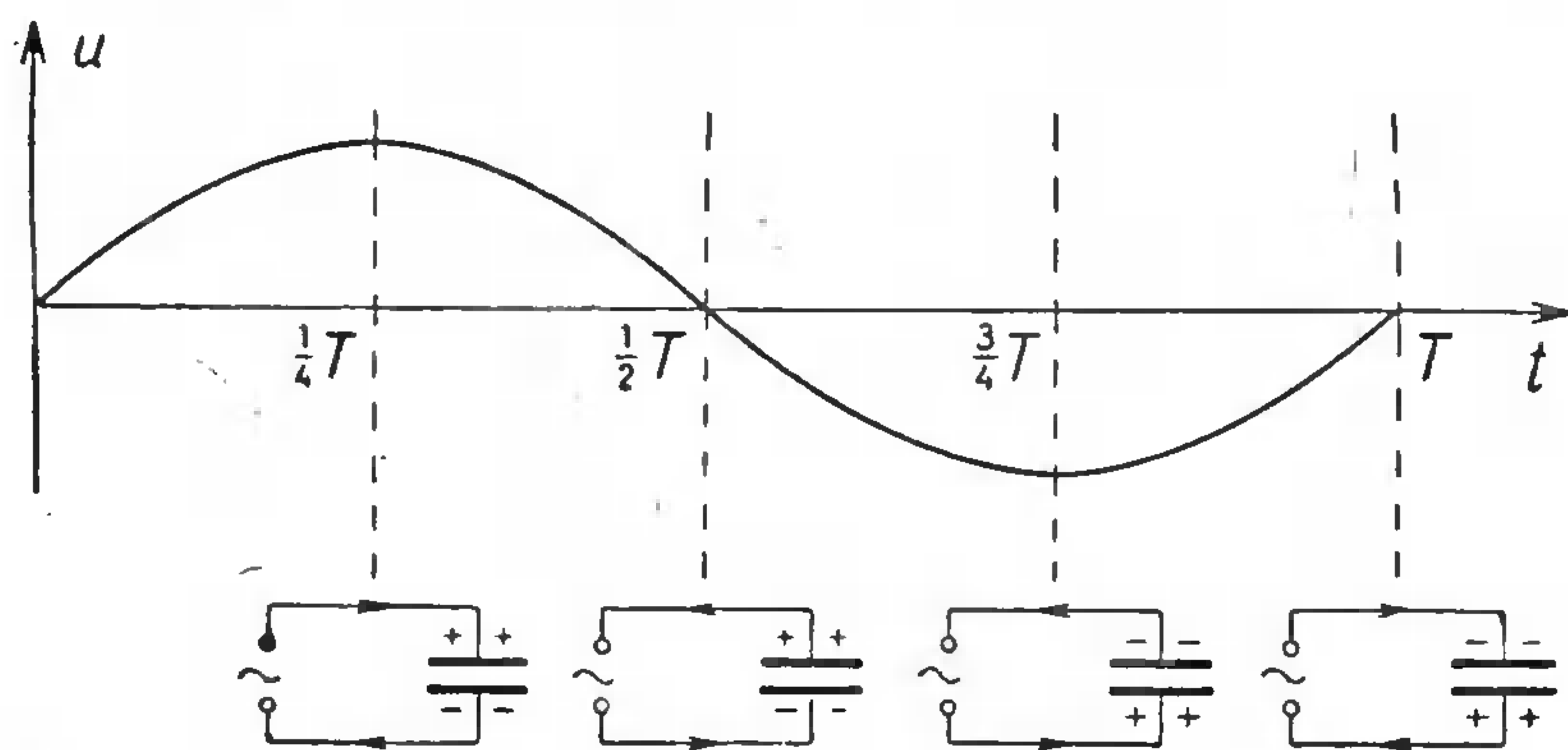


Рис. 87

Далее надо исследовать на опыте, как происходит распределение переменного тока по ветвям с емкостными сопротивлениями подобно тому, как это сделано для случая разветвленной цепи с индуктивными сопротивлениями.

Обобщая все разобранные случаи, можно сделать вывод: если сопротивления ветвей одинаковы по своей природе, то сумма токов в ветвях равна току в неразветвленной части цепи.

После этого нужно остановиться на энергетической основе емкостного сопротивления.

Для этого необходимо рассмотреть процессы в цепи с конденсатором, питаемой переменным током, в отдельные четверти периода.

В первую четверть периода происходит зарядка конденсатора, которая продолжается до тех пор, пока напряжение на его обкладках не достигнет значения, равного наибольшему напряжению генератора. При этом на одной из обкладок будут накапливаться заряды положительного знака, а на другой — отрицательного, как это показано на рисунке 87. Во второй четверти периода величина напряжения начнет уменьшаться, и конденсатор будет разряжаться через генератор. В третьей четверти периода снова начинается возрастание напряжения, и конденсатор заряжается, при этом зна-

ки зарядов на обкладках меняются на противоположные. В четвертой четверти периода конденсатор опять разряжается таким же образом, как и во второй четверти. Следовательно, за период колебания тока конденсатор дважды получает энергию от источника при зарядке и дважды отдает энергию генератору. Причем конденсатор отдает энергии столько же, сколько он получил при зарядке.

Отсюда следует важный вывод. Наличие в цепи переменного тока чисто емкостного сопротивления хотя и отражается на величине тока в этой цепи, но не связано с расходом мощности в ней. По этой причине емкостное сопротивление, как и индуктивное, относится к виду реактивных сопротивлений.

Как и при рассмотрении индуктивного сопротивления, необходимо подчеркнуть учащимся, что один и тот же конденсатор оказывает различное сопротивление токам разной частоты. Свойство

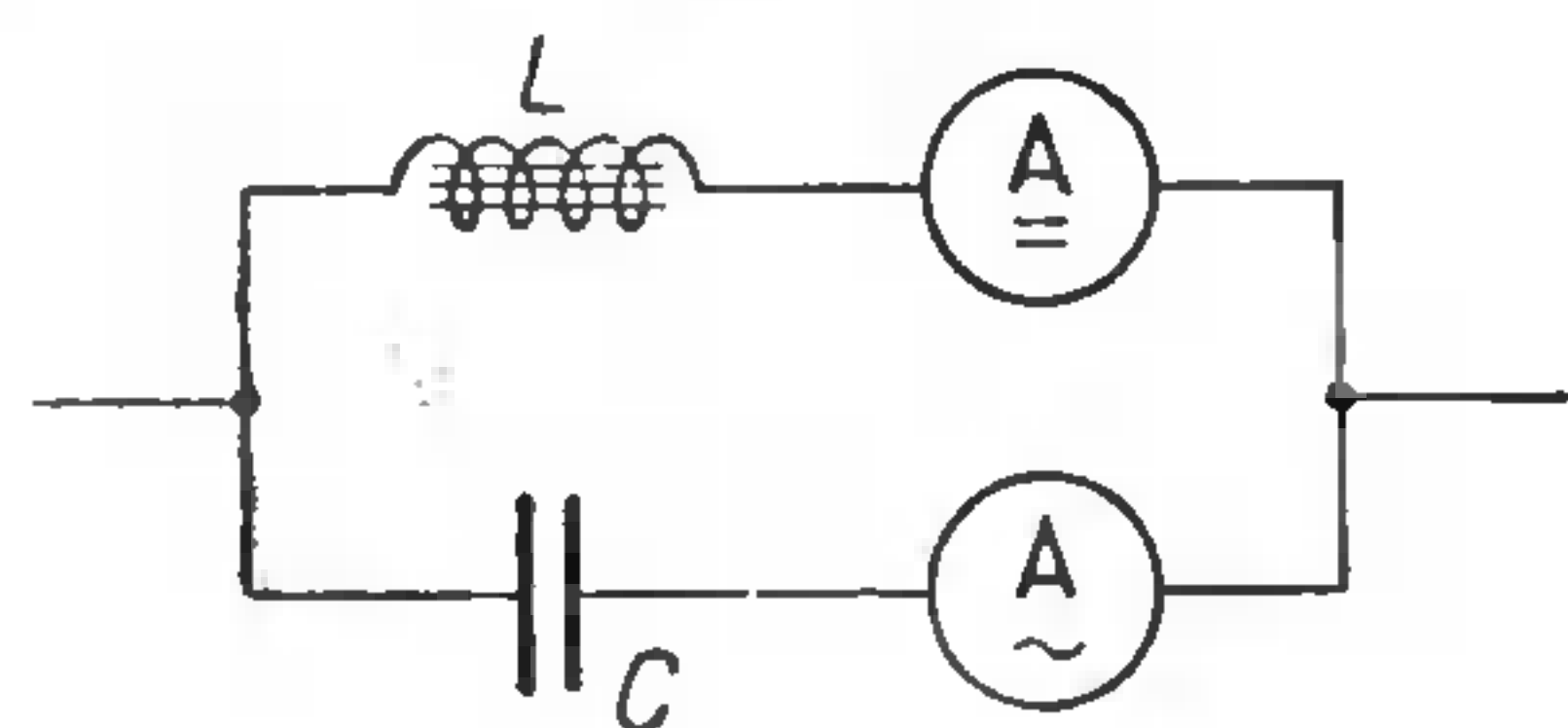


Рис. 88

конденсаторов оказывать токам разной частоты различное сопротивление широко используется в электротехнике и радиотехнике.

В частности, конденсаторы используются как фильтры для электрических токов. Если по некоторому проводнику идут постоянный и переменный токи и необходимо эти токи раз-

делить, то это возможно осуществить следующим образом.

На пути проводника, по которому идут одновременно постоянный и переменный токи, ставят разветвление (рис. 88).

В одну ветвь включают конденсатор, а в другую ветвь—катушку с железным сердечником. Кроме того, в первую ветвь включают прибор, реагирующий только на переменный ток, а во вторую—прибор, реагирующий на постоянный ток.

Опыт показывает, что переменная составляющая пройдет через конденсатор, который представляет для переменного тока небольшое сопротивление и бесконечно большое для постоянного тока. А постоянный ток пройдет через катушку с железным сердечником, которая для постоянного тока представляет чисто активное сопротивление, в то время как для переменного тока та же катушка представляет собой сумму активного и индуктивного сопротивлений.

129. Трехфазный ток.

1. П о н я т и е о т р е х ф а з н о м т о к е. Рассмотренный ранее переменный ток именуется в электротехнике однофазным током. Такое название связано с тем, что в генераторе ток возбуждается одной э. д. с.

Далее надо указать, что однофазный ток применяется не во всех областях электротехники. В основном он используется для питания осветительной системы. Для промышленных целей на за-

водах и фабриках используется так называемый трехфазный ток. Кроме того, на всех крупных электростанциях установлены генераторы не однофазного, а трехфазного тока.

Трехфазная система переменного тока получила распространение во всем мире как система, обеспечивающая более выгодную передачу энергии и позволяющая создать надежные в работе и простые по устройству электродвигатели, генераторы и трансформаторы.

Основоположником техники трехфазного тока и основанной на его применении электрификации является известный русский электротехник М. О. Доливо-Добровольский, с жизнью и деятельностью которого желательно познакомиться учащимся.

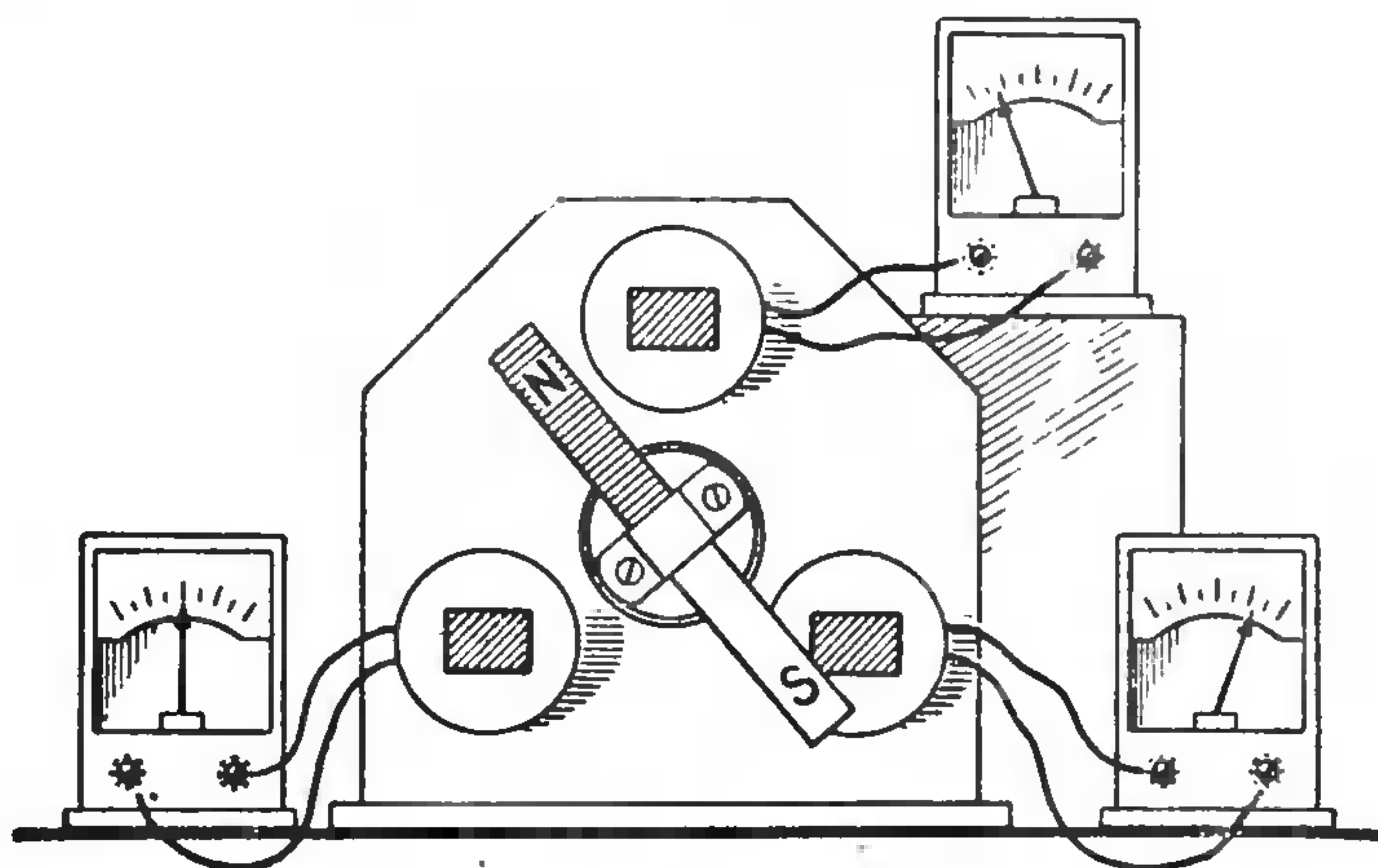


Рис. 89

Трехфазным током называется система трех однофазных токов, создаваемых тремя э. д. с., имеющими одинаковые амплитуды и частоту, но сдвинутыми одна относительно другой по фазе на 120° или по времени на $\frac{1}{3}$ периода. Каждая отдельная цепь трехфазной системы сокращенно называется фазой.

Для разъяснения принципа возбуждения трехфазного тока можно воспользоваться следующим самодельным прибором.

На вертикальной панели размещаются по окружности под углом 120° одна по отношению к другой три катушки (от разборного школьного трансформатора). В центре круга укреплен прямолинейный магнит, который может вращаться в вертикальной плоскости (рис. 89).

Для демонстрации возбуждения трехфазного тока следует каждую катушку соединить с демонстрационным гальванометром и привести во вращение магнит.

При вращении магнита учащиеся могут наблюдать колебание стрелок трех гальванометров. При этом легко установить, что амплитуды колебаний стрелок у всех трех гальванометров одинаковы, а максимальное отклонение стрелок не совпадает по времени. В первую очередь надо обратить внимание учащихся на то, что

максимальное отклонение стрелки гальванометра соответствует максимальному току, протекающему через гальванометр. Но учащимся известно, что э. д. с. пропорциональна току. Следовательно, моменту, когда стрелка имеет максимальное отклонение, соответствует момент возбуждения максимальной э. д. с. в катушке, соединенной с данным гальванометром. Из опыта следует, что максимальные значения э. д. с., возбуждаемых в катушках, не совпадают по времени.

Из опыта видно, что максимальное изменение магнитного потока испытывает та катушка, перед которой в данный момент проходит полюс магнита. Отсюда следует, что максимумы э. д. с., возбуждаемых в катушках, будут запаздывать один по отношению к другому на $\frac{1}{3} T$. При этом легко отметить, что периоды колебаний э. д. с., возбуждаемых в каждой катушке, одинаковы.

Таким образом, в данной установке имеются три однофазных тока, возбуждаемых тремя э. д. с. одинаковой частоты, одинаковой амплитуды, но сдвинутыми одна относительно другой по фазе на 120° , т. е. имеется трехфазный ток.

При трехфазном токе возможно использование всех трех токов одновременно, как это, например, происходит при питании током электродвигателей трехфазного тока, или каждого из однофазных токов отдельно, что может быть использовано, например, для питания осветительной системы.

После этого желательно дать аналитическое выражение э. д. с., возбуждаемых отдельными фазами.

Можно построить также график э. д. с. трехфазного тока (Пер. III, рис 188).

При наличии в школе катодного осциллографа желательно показать осциллограмму трехфазного тока.

2. Генератор трехфазного тока. После рассмотрения принципа возбуждения трехфазного тока на модели легко перейти к устройству генератора трехфазного тока (Пер. III, рис. 187).

При этом следует отметить, что если генератор имеет одну пару полюсов, то оси соседних обмоток образуют между собой угол, равный 120° ; если генератор имеет P -пар полюсов, то этот угол равен $\frac{120^\circ}{P}$.

Из схемы видно, что генератор трехфазного тока служит источником трех независимых друг от друга однофазных токов, сдвинутых по фазе на $\frac{1}{3}$ периода.

Для передачи энергии от генератора к потребителю для каждого тока нужно по два проводника, следовательно, для передачи трехфазного тока потребовалось бы взять шесть проводников.

Несвязанная трехфазная система, требующая для передачи энергии шести проводов, является неэкономичной и на практике не применяется.

Для сокращения числа проводов, связывающих генератор с потребителем, соединяют между собой обмотки трехфазного генератора, которые образуют в этом случае связанную трехфазную систему.

Соединение обмоток генератора выполняется в двух видах: звездой и треугольником (Пер. III, § 99 и 100).

130. Вращающееся магнитное поле. Электродвигатель трехфазного тока.

Одной из основных причин широкого распространения трехфазного тока является возможность получения с его помощью вращающегося магнитного поля. Из большого числа типов электродвигателей переменного тока, применяющихся в современной электротехнике, наиболее широкое распространение получили чрезвычайно простые по своему устройству и экономичные электродвигатели с вращающимся магнитным полем, так называемые асинхронные двигатели, впервые предложенные М. О. Доливо-Добровольским.

Прежде чем перейти к рассмотрению устройства асинхронного двигателя, нужно выяснить принцип его работы, изучить вращающееся магнитное поле.

Обычно под вращающимся магнитным полем понимают такое магнитное поле, векторы напряженности и индукции которого в каждой точке с течением времени сохраняют свои величины, а направление их непрерывно меняется так, что они равномерно поворачиваются, описывая своими концами окружности.

В простейшем случае вращающееся магнитное поле можно возбудить путем вращения около вертикальной оси постоянного подковообразного магнита (Пер. III, рис. 191, 192) или путем вращения электромагнита, питаемого постоянным током.

Рассмотрим опыты, подтверждающие, что при вращении постоянного подковообразного магнита возбуждается вращающееся магнитное поле.

1-й опыт. Получение спектра вращающегося магнитного поля. На демонстрационном столе устанавливают центробежную машину и закрепляют в ней подковообразный магнит. На некотором расстоянии от полюсов закрепляют в штативе плоское стекло, на которое насыпают железные опилки. Установив под углом в 45° к стеклу плоское зеркало, медленно вращают центробежную машину.

Опыт показывает, что железные опилки, располагающиеся по силовым линиям, непрерывно поворачиваются, следуя за вращающимся магнитом.

2-й опыт. Изучение действий вращающегося магнитного поля на магнитную стрелку и рамку с током. Для этого можно воспользоваться установкой, изображенной на рисунке 191 учебника.

Если привести во вращение подковообразный магнит, то магнитная стрелка начинает вращаться в том же направлении и с той же скоростью вращения, что и магнит. Это вызвано тем, что маг-

нитная стрелка устанавливается в направлении вектора напряженности магнитного поля, вращающегося по причине вращения магнита.

С помощью установки, изображенной на рисунке 192 учебника, легко показать учащимся действие вращающегося магнитного поля на рамку, обтекаемую постоянным током.

После этого исследуется, какое действие оказывает вращающееся магнитное поле на проводники, имеющие ось вращения.

3-й опыт. Исследование действия вращающегося магнитного поля на алюминиевый диск.

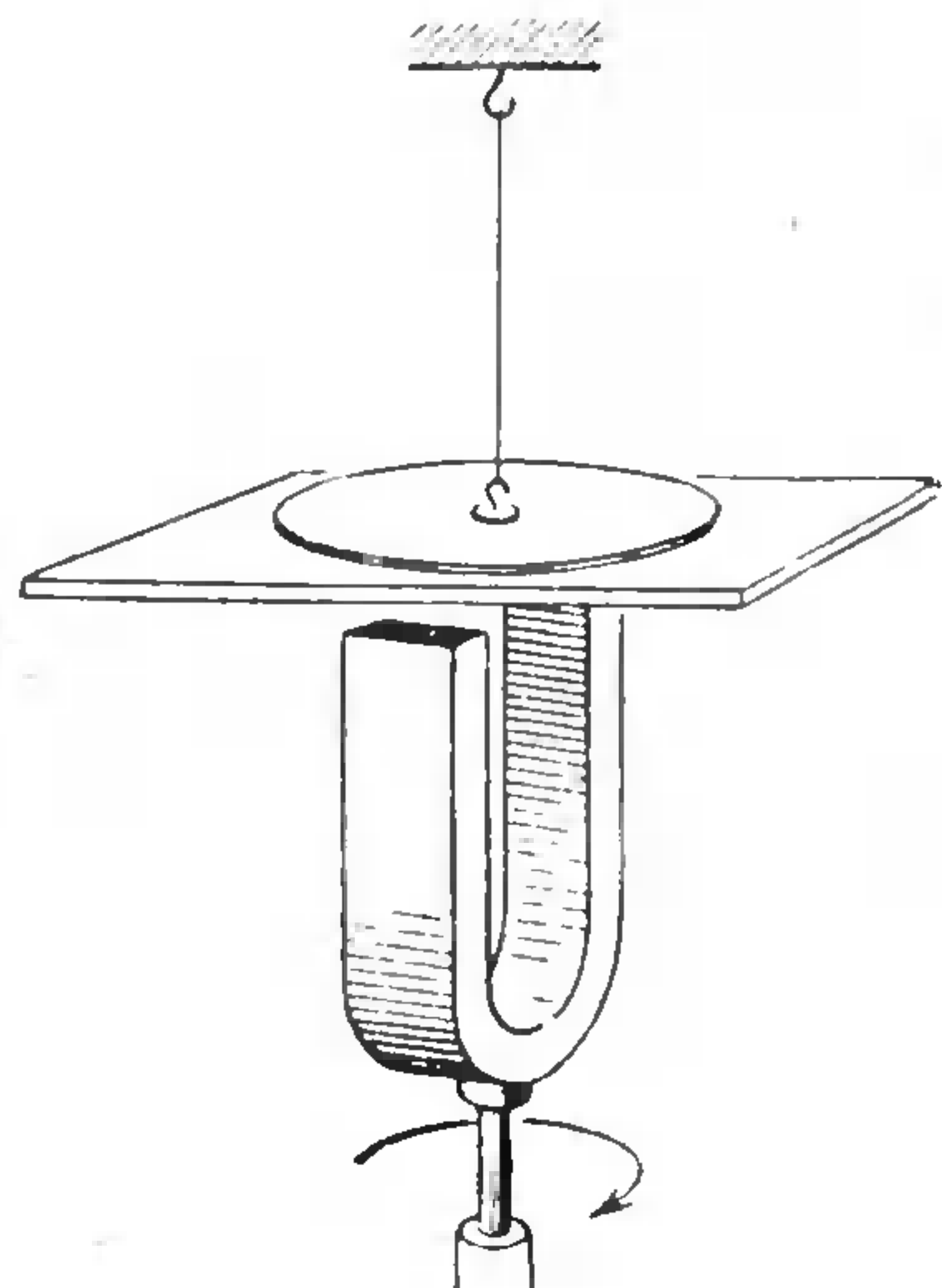


Рис. 90

Установка для опыта изображена на рисунке 90.

Для того чтобы вращение диска совершалось в результате взаимодействия магнитного поля на индукционные вихревые токи, нужно изолировать влияние на диск воздушного потока, возникающего при вращении. Поэтому диск следует отделить от магнитных полюсов плоским стеклом.

Опыт показывает, что при вращении магнита алюминиевый диск также приходит во вращение в том же направлении, что и магнит.

Важно обратить внимание учащихся, что в этом опыте за счет вращающегося магнитного поля получается механическая энергия. Однако этот способ, естественно, не имеет практического значения, так как для возбуждения вращающегося магнитного поля в свою очередь была затрачена механическая энергия. Возникает проблема создания вращающегося магнитного поля без затраты механической энергии.

Для этого используется трехфазный ток, питающий три одинаковые катушки, оси которых лежат в одной плоскости под углом в 120° друг к другу, соединенные звездой или треугольником. По катушкам проходят токи, образующие трехфазную симметричную систему.

Приняв направление тока от начала к концу катушки за положительное, отмечаем на чертеже направление токов в катушках в различные моменты времени. Каждый из токов I_1 , I_2 , I_3 создает магнитное поле. Магнитные поля, созданные отдельными токами, складываются, образуя результирующее магнитное поле (рис 91).

Из рисунка видно, что при прохождении токов по системе трех катушек, смещенных друг относительно друга на 120° , создается вращающееся магнитное поле, которое совершает за период колебания тока один поворот. Отсюда следует, что при прохождении по катушкам трехфазного тока с частотой ν число оборотов вращаю-

щегося магнитного поля n определяется простым соотношением:

$$n = \nu$$

После этого нужно перейти к демонстрации действия вращающегося магнитного поля, создаваемого трехфазным током.

Для этого необходимо изготовить модель асинхронного статора и показать вращение магнитной стрелки и алюминиевого диска под действием вращающегося магнитного поля.

На свойстве трехфазного тока возбуждать вращающееся магнитное поле основано устройство асинхронного двигателя (Пер. III, § 101).

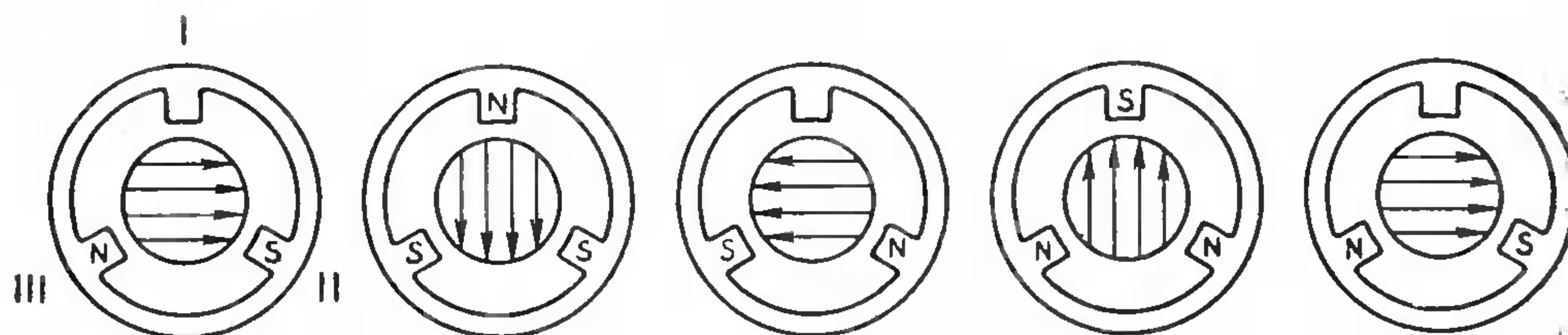


Рис. 91

После этого с помощью плакатов и демонстрации разобранного двигателя нужно познакомить учащихся с устройством статора и ротора короткозамкнутого асинхронного двигателя и продемонстрировать его работу.

131. Трансформация тока.

1. Производство и распределение электрической энергии. Чтобы подойти к вопросу о трансформации тока, надо обратить внимание учащихся на необходимость передавать по проводам электрическую энергию от электростанции к потребителям. Эта задача рассмотрена в § 102 учебника. Для увеличения экономичности передачи приходится повышать напряжение переменного тока на электростанции и понижать его в местах потребления. То и другое осуществляется при помощи приборов, называемых трансформаторами.

Первые трансформаторы были сконструированы выдающимися русскими изобретателями Н. П. Яблочковым (1847—1894) и И. Ф. Усагиным (1855—1919).

Затем надо объяснить учащимся принцип трансформации и показать действие повышающего и понижающего трансформаторов. При этом следует подробно рассмотреть процессы, происходящие при работе трансформатора.

2. Холостой ход трансформатора. Если первичная обмотка трансформатора подключена к сети с напряжением U_1 , а вторичная обмотка разомкнута, то трансформатор работает без нагрузки (вхолостую). Переменный ток, проходящий по первичной обмотке, создает переменное магнитное поле. Так как первич-

ная и вторичная катушки надеты на общий железный сердечник, то скорость изменения магнитного потока для обеих катушек будет одинакова, а следовательно, и величина э. д. с., индуцируемой в каждой витке обеих катушек, будет одинакова. Если первичная катушка имеет n_1 витков, а вторичная — n_2 , то индуцирующиеся в них э. д. с. соответственно равны:

$$E_1 = n_1 e, \quad E_2 = n_2 e, \quad \text{откуда} \quad \frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2}.$$

При холостом ходе, когда вторичная обмотка разомкнута, в первичной обмотке, замкнутой на генератор, создается ток, именуемый током холостого хода. Величину тока холостого хода легко подсчитать. Если к первичной обмотке приложено переменное напряжение U_1 и под действием изменяющегося магнитного потока в ней индуцируется э. д. с. индукции E_1 (направленная противоположно изменениям напряжения U_1), и катушка обладает сопротивлением R_1 , то можно написать следующее равенство:

$$U_1 = I_0 R_1 + E_1, \quad \text{откуда} \quad I_0 = \frac{U_1 - E_1}{R_1}.$$

Таким образом, в первичной обмотке при холостом ходе бесполезно теряется мощность, равная $W = U_0^2 R_1$. Эта мощность расходуется на нагревание проводников первичной катушки, на нагревание сердечника, вызванное вихревыми токами, и на перемагничивание железного сердечника.

В технике рассчитывают трансформаторы так, чтобы величина холостого тока I_0 была очень мала, т. е. чтобы были малы бесполезные потери. Если пренебречь этими малыми потерями, то можно приравнять приложенное к первичной катушке напряжение U_1 величине э. д. с. индукции E_1 , возбуждаемой в этой же катушке, $U_1 \approx E_1$.

С другой стороны, из закона Ома для всей цепи следует, что $E_2 = U_2$.

После этого следует ввести понятие о коэффициенте трансформации и произвести измерения коэффициента трансформации школьного трансформатора:

$$\kappa = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_2}.$$

3. Работа трансформатора при нагрузке. Для уяснения процессов, протекающих при работе трансформатора, когда вторичная обмотка замкнута на внешнюю цепь, преподаватель собирает специальную установку (см. рис. 196, Пер. III) и показывает учащимся, как влияет нагрузка на потребление мощности первичной катушкой. Легко показать, что при изменении сопротивления нагрузки, т. е. при изменении величины тока в цепи вторичной катушки, меняется ток и в первичной катушке, а следовательно, меняется потребляемая трансформатором мощ-

ность. При этом опыт показывает, что с увеличением тока во вторичной катушке увеличивается и ток в первичной катушке. Затем преподаватель объясняет результат опыта.

При замкнутой цепи вторичной катушки по ней протекает переменный ток I_2 , возбуждающий в сердечнике переменный магнитный поток, который возбуждает в первичной катушке э. д. с. индукции E_2' , направленную по закону Ленца навстречу изменениям э. д. с. индукции E_1 . Следовательно, ток в первичной катушке при нагрузке определяется из соотношения $I_1 = \frac{U_1 - E_1 + E_2'}{R}$. Из этой формулы наглядно видно, что с увеличением E_2' увеличивается ток I_1 . Но в свою очередь величина E_2' зависит от величины тока I_2 во

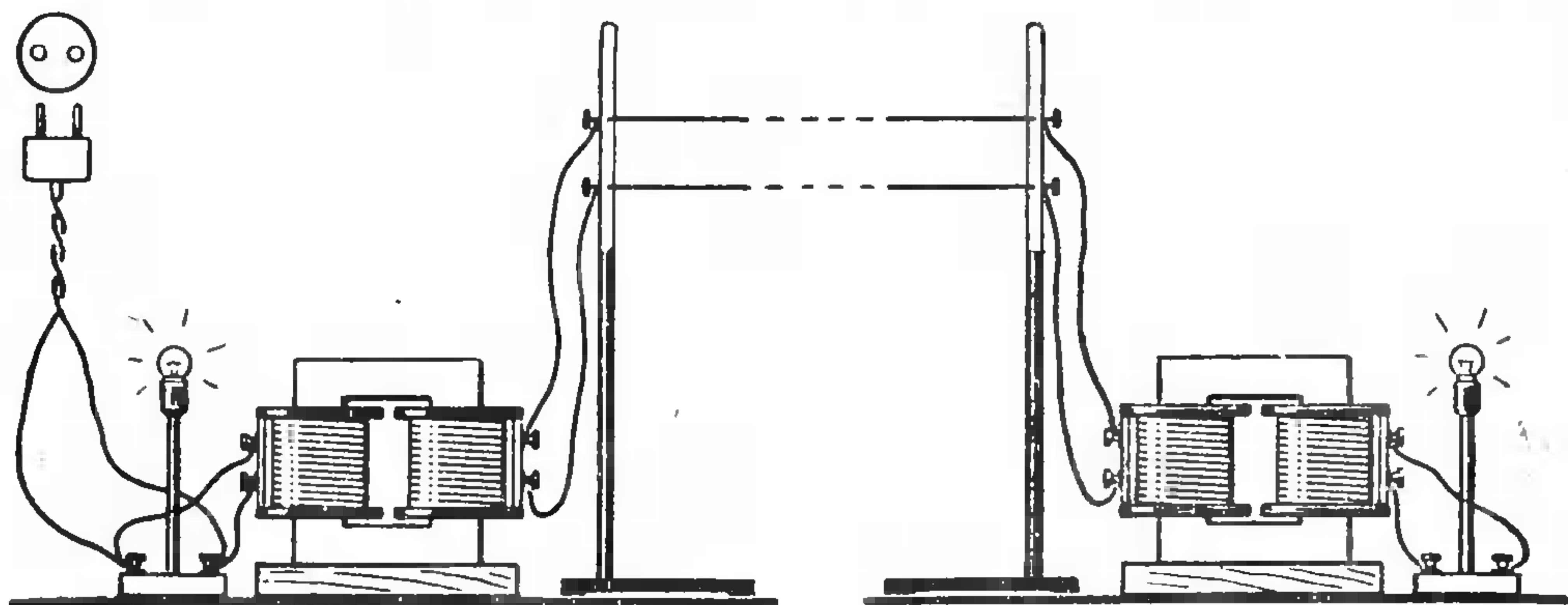


Рис. 92

вторичной обмотке. Таким образом, действительно с увеличением тока во вторичной катушке возрастает ток в первичной и увеличивается потребляемая трансформатором мощность. После этого надо ввести понятие о к. п. д. трансформатора и указать, что широкое применение трансформаторов в электротехнике обусловлено исключительно высоким к. п. д. этих приборов. К. п. д. современных трансформаторов достигает 98—99%. Наконец, нужно остановиться на устройстве мощного трансформатора с масляным охлаждением и рассмотреть схему передачи тока от электростанции до потребителя и распределение его между потребителями. Вслед за этим следует продемонстрировать принцип передачи электроэнергии на расстоянии по проводам, для чего можно воспользоваться установкой, изображенной на рисунке 92.

В заключение надо остановиться на значении электрификации нашей страны в деле построения коммунистического общества. Здесь следует обратить внимание учащихся на то, какое большое значение придает делу электрификации страны Коммунистическая партия с первых дней Советской власти. Хорошо показать в сравнении числа плана ГОЭЛРО и те показатели в области электрификации, которые намечены на предстоящую семилетку.

Изучение большой и важной темы «Переменный ток» следует закончить экскурсией с учащимися на ближайшую к школе электростанцию.

ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ВНЕКЛАССНЫХ ЗАНЯТИЙ.

1. М. А. Ш а т е л е н, Пионеры электрического освещения, Воениздат, 1947.
2. «Люди русской науки», ОГИЗ, 1948.
3. И. И. Р у д о м е т о в, Русские электротехники, Госэнергоиздат, М.—Л., 1947.
4. Б. А. В в е д е н с к и й, Электричество в нашей жизни, изд. технико-теоретической литературы, 1953.
5. А. Ф. И о ф ф е, Полупроводники, изд. Академии наук СССР, 1955.
6. В. А. В е н и к о в, Передача электрической энергии на дальние расстояния, «Знание», М., 1956.
7. «Электричество и химия», «Знание — сила», 1955, № 10. «Ток в океане», «Знание — сила», 1956, № 2. «Прирученная молния», «Знание — сила», 1956, № 4. «Электричество вместо пара», 1956, № 2. «Будущее шаровой молнии», 1957, № 3. «Звезда, зажженная физиками», 1957, № 9.

Г л а в а XXIII.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ.

132. Значение и основное содержание раздела.

Темой «Электромагнитные колебания и волны» завершается изучение раздела «Электричество». Большое познавательное значение заключительной темы обусловлено тем, что, изучив ее, учащиеся получают возможность установить наиболее общую зависимость между электрическими и магнитными явлениями, играющую значительную роль в современной науке и технике.

Преподавание темы «Электромагнитные колебания и волны» представляет большие возможности укрепить и обогатить диалектико-материалистическое мировоззрение учащихся. Содержание учебного материала позволяет показать связь теории и практики в процессе познания, реальное существование электромагнитного поля как формы материи, существующей наряду с другой его формой — веществом.

Что касается связи физики и техники, то одним из самых ярких примеров влияния физики на технику может служить радио, которое обязано науке не только своим возникновением, но и всем своим бурным развитием. Поэтому при изложении данной темы необходимо рассмотреть также физические основы работы радиопередающей и радиоприемной станций, основы радиолокации и других применений радио в народном хозяйстве нашей страны. Наконец, изложение наиболее важных открытий отечественных ученых: Лебедева П. Н., Попова А. С., Глаголевой-Аркадьевой А. А.,

Мандельштам Л. И., Папалекси Н. Д. и др., а также сообщение о достижениях отечественной радиотехники представляют благодарный материал, способствующий воспитанию учащихся в духе советского патриотизма.

В отличие от существующего подхода к изучению электромагнитных колебаний и волн предлагается начинать тему кратким очерком развития радио в СССР. В этом очерке надо подвести учащихся к тому, что для усвоения физических основ современной радиотехники необходимо в первую очередь изучить физические процессы, обеспечивающие возбуждение на расстоянии электрического тока в проводах.

Следующим моментом в изложении является экспериментальное и теоретическое обоснование того, что возбуждение электрического тока в проводах возможно осуществить с помощью быстропеременных магнитных полей, создаваемых высокочастотными токами. Отсюда непосредственно возникает проблема получения высокочастотных токов.

Затем рассматривается возбуждение высокочастотного тока в машинных генераторах и лишь после этого излагается вопрос о разряде конденсатора через катушку как о способе возбуждения кратковременного высокочастотного тока.

Далее рассматриваются свободные затухающие и вынужденные незатухающие колебания и явление резонанса.

После этого следует ввести понятие об автоколебаниях, изучить их свойства и сравнить их со свойствами свободных и вынужденных колебаний. Программой этот вопрос не предусмотрен. Однако изучение автоколебаний помогает учащимся осмысленно усвоить принцип работы лампового генератора незатухающих электрических колебаний.

Затем рассматривается открытый колебательный контур и свойства электромагнитных волн. На основе изучения учащимися возбуждения незатухающих электромагнитных колебаний и свойств электромагнитных волн излагаются физические основы радиопередачи и радиоприема.

В заключение рассматривается влияние земли и атмосферы на распространение электромагнитных волн и физические основы радиолокации.

Большое политехническое значение данной темы требует не только сообщения учащимся теоретических знаний по основам радиотехники, но и вооружения их практическими навыками по радиотехнике.

Поэтому преподавание этой темы представляет благодарный материал для внеклассных занятий. Главная задача их состоит в том, чтобы учащиеся приобрели навыки: в сборке, конструировании и испытании простейших радиоприемников.

В дальнейшем будут рассмотрены только некоторые из перечисленных выше вопросов, изложение которых несколько расходится с учебником.

1. Возбуждение электрического тока на расстоянии. Рассказав в начале первого урока об открытии принципов радиосвязи знаменитым русским ученым А. С. Поповым, о значении, которое придавал этому открытию великий Ленин, как «митингу с миллионной аудиторией», и об установлении Советским правительством на седьмое мая каждого года празднования Дня радио, преподаватель переходит к теме первого урока.

Он отмечает, что в основе беспроводной связи лежит возбуждение на расстоянии электрического тока в проводах.

Преподаватель показывает на опытах, что возбуждение на расстоянии электрического тока в проводах возможно осуществить при помощи переменных магнитных полей, создаваемых переменными токами в электрических цепях.

1-й опыт. На демонстрационном столе размещают индукционную катушку с железным сердечником ($U=120$ в; $I=5$ а) и через ключ соединяют ее с источником постоянного тока на 127 в. Около катушки устанавливают штатив, в котором укреплен виток с низковольтной лампой ($U=1$ в; $I=0,75$ а), и располагают его так, чтобы он находился на расстоянии 2—3 см от верхней части катушки. При замкнутой цепи катушки электрический ток в витке не возбуждается. Объяснив результат опыта, следует сделать из него вывод: электрическая цепь, обтекаемая постоянным током, не возбуждает на расстоянии электрического тока в других цепях.

2-й опыт. В прежней установке замыкают и размыкают цепь катушки и наблюдают за накалом лампы. Опыт показывает, что лампа вспыхивает. Вывод: при замыкании и размыкании цепи постоянного тока возникает переменное магнитное поле, благодаря которому возможно возбудить на расстоянии в других замкнутых цепях электрический ток. Если виток с лампой удалить хотя бы на 5—7 см от катушки и повторить опыт, то накал лампы наблюдаться не будет. С другой стороны, напоминаем учащимся, что современная радиотехника осуществляет передачу сигналов на десятки тысяч километров. Необходимо, значит, исследовать, от каких условий зависит дальность возбуждения электрического тока в проводах.

3-й опыт. Через индукционную катушку пропускают переменный ток (от осветительной сети). Опыт показывает, что в этом случае можно обнаружить накал лампы на расстоянии 15—20 см. После объяснения этого опыта следует сравнить результаты всех трех опытов.

Необходимо обратить внимание учащихся, что во всех трех опытах напряжение, питающее катушку, было неизменным, приемник электрической энергии также не менялся. Изменялась лишь частота колебаний тока. В первом опыте она равнялась нулю, во втором случае она была отлична от нуля, но меньше 50 гц, и, наконец, в третьем опыте она равнялась 50 гц. Отсюда следует, что чем больше

частота колебаний тока, тем больше энергия переменного магнитного поля и, следовательно, тем больше дальность возбуждения тока. Следовательно, возбуждение электрического тока на расстоянии без проводов можно осуществить с помощью быстропеременных магнитных полей, создаваемых высокочастотными токами. Таким образом, чтобы уяснить основные принципы радиосвязи, необходимо рассмотреть способы возбуждения токов высокой частоты.

При изучении темы «Переменный ток» было установлено, что для возбуждения высокочастотного тока используются генераторы, у которых статор имеет большое число пар полюсов, а ротор—большую скорость вращения.

Для того чтобы лучше понять работу современного генератора высокочастотного тока, необходимо обратить внимание, что уже в середине прошлого столетия физик Ф е д д е р с е н впервые обнаружил, что разряд конденсатора через катушку представляет собой кратковременный переменный ток высокой частоты.

Для демонстрации этого явления следует показать медленные электрические колебания. Для того чтобы эти колебания можно было регистрировать демонстрационным гальванометром, электрические колебания должны быть настолько медленными ($T = 2—3$ сек), чтобы стрелка гальванометра успевала следовать за изменением тока. Для осуществления таких медленных колебаний необходимо взять конденсатор емкостью $C = 50—100$ мкф и катушку с индуктивностью L порядка нескольких тысяч генри. Приборы соединяют по схеме, изображенной на рисунке 93.

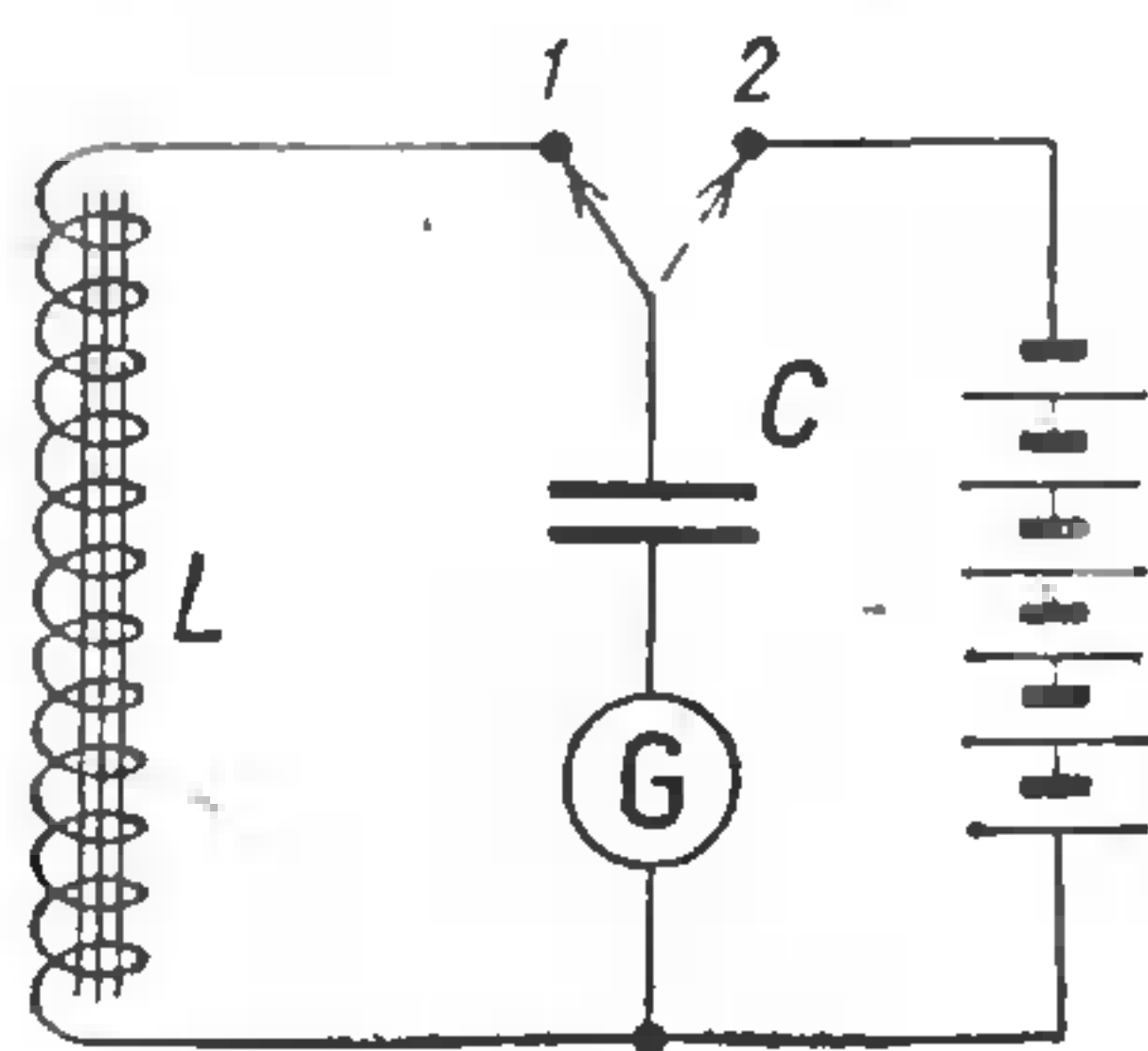


Рис. 93

Замкнув переключатель на клемму 2, заряжают конденсатор. Перебросив переключатель на клемму 1, разряжают конденсатор C через катушку индуктивности L . При этом учащиеся наблюдают, что стрелка гальванометра совершает затухающие колебания. Отклонение стрелки в разные стороны от нулевого деления свидетельствует о том, что разряд конденсатора через катушку представляет собой кратковременный переменный ток. При наличии в школе электронного осциллографа можно показать, что, изменяя величину емкости и индуктивности, возможно получить в аналогичных опытах кратковременный высокочастотный ток, частота колебаний которого во много раз превышает частоту колебаний тока осветительной системы.

2. Физические процессы в колебательном контуре с малым активным сопротивлением. На первом уроке было экспериментально показано, что разряд конденсатора через катушку представляет собой кратковременный переменный ток. Поэтому естественно перед учащимися поставить вопрос: какие физические процессы, происходящие

при разрядке конденсатора через катушку, приводят к возбуждению высокочастотного электрического тока?

Для лучшего уяснения сущности этих процессов следует сначала предположить, что активное сопротивление цепи равно нулю ($R=0$), и рассматривать протекающие процессы с точки зрения учения о токе и с точки зрения учения об электрических и магнитных полях.

Для наглядности следует иллюстрировать течение процессов графиками, выражающими зависимость напряжения и тока от времени, а также зависимость напряжения электрического и магнитного полей от времени (рис. 94).

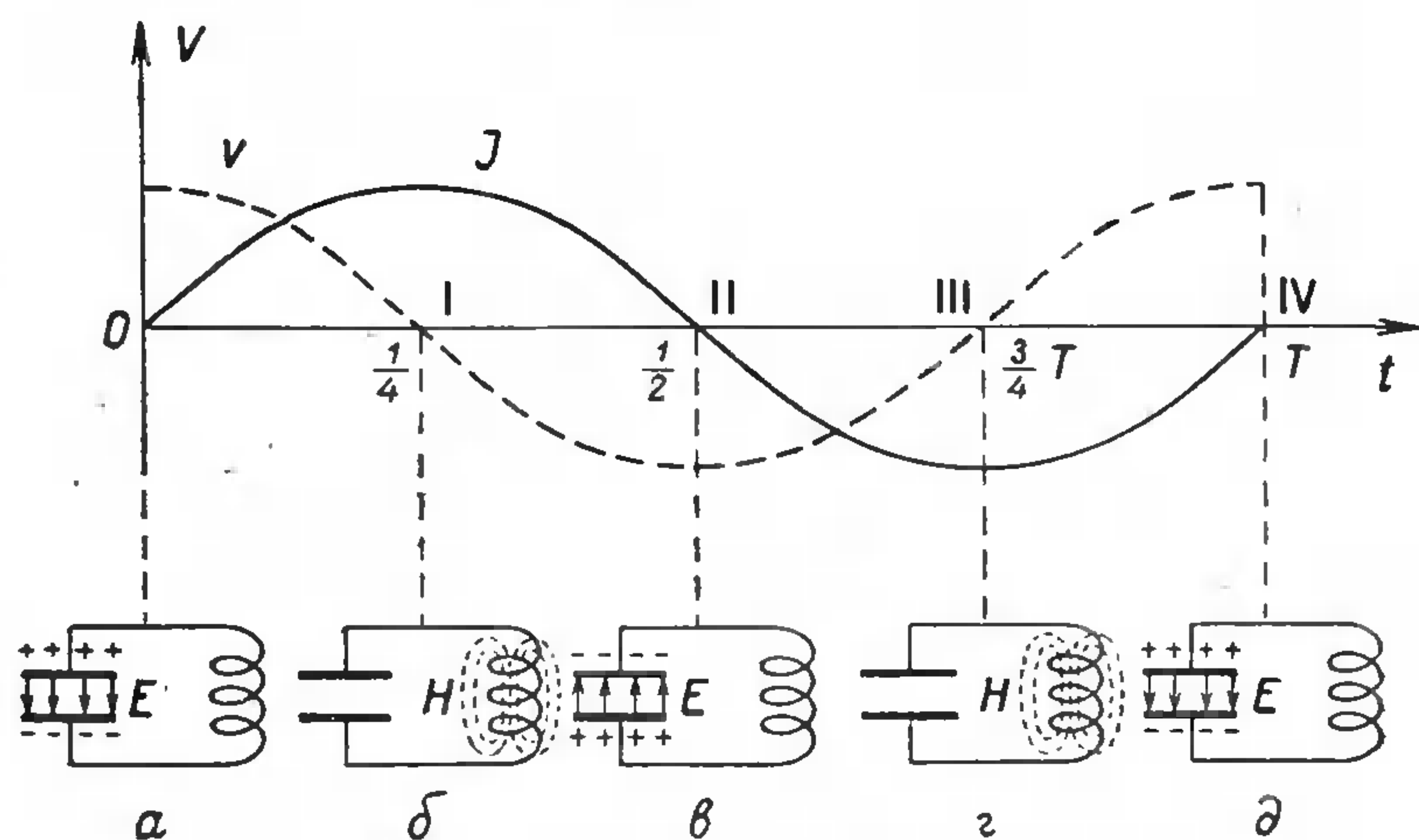


Рис. 94

После этого следует ввести понятия о свободных электрических колебаниях и колебательном контуре.

В целях закрепления новых понятий следует сначала хорошо разъяснить учащимся различие между механическими и электрическими колебаниями, а затем провести аналогию между ними.

Наконец, нужно раскрыть физическую сущность отдельных характеристик колебательного контура: периода, линейной и угловой частоты. После этого дается без вывода формула периода колебаний в колебательном контуре и проводится анализ этой формулы.

3. Физические процессы в колебательном контуре с активным сопротивлением. На следующем уроке следует перейти к рассмотрению процессов, протекающих в колебательном контуре с активным сопротивлением. Здесь надо разобрать влияние активного сопротивления на затухание колебаний и ввести понятие о коэффициенте затухания.

При наличии в школе электронного осциллографа крайне желательно с помощью осциллограмм показать зависимость частоты колебаний от параметров колебательного контура, а также влияние активного сопротивления колебательного контура на коэффициент затухания колебаний.

1. **В ы н у ж д е н н ы е к о л е б а н и я.** Поскольку разряд конденсатора через индукционную катушку представляет собой серию высокочастотных электрических колебаний, интересно выяснить, возможно ли использовать такой разряд в качестве своеобразного «генератора» высокочастотного тока в радиотехнике.

По-видимому, этого сделать нельзя, так как из-за затухания возникших колебаний время работы такого «генератора» обычно не превышает долей секунды. При разрядке конденсатора энергия возникшего высокочастотного тока в течение долей секунды полностью расходуется на нагревание и на излучение. Для того чтобы он вновь получил высокочастотный ток, надо вторично зарядить конденсатор.

Естественно, что для практики необходимо иметь генератор, возбуждающий высокочастотный ток в течение любого произвольного отрезка времени, а для этого необходимо возбуждать в колебательном контуре незатухающие колебания.

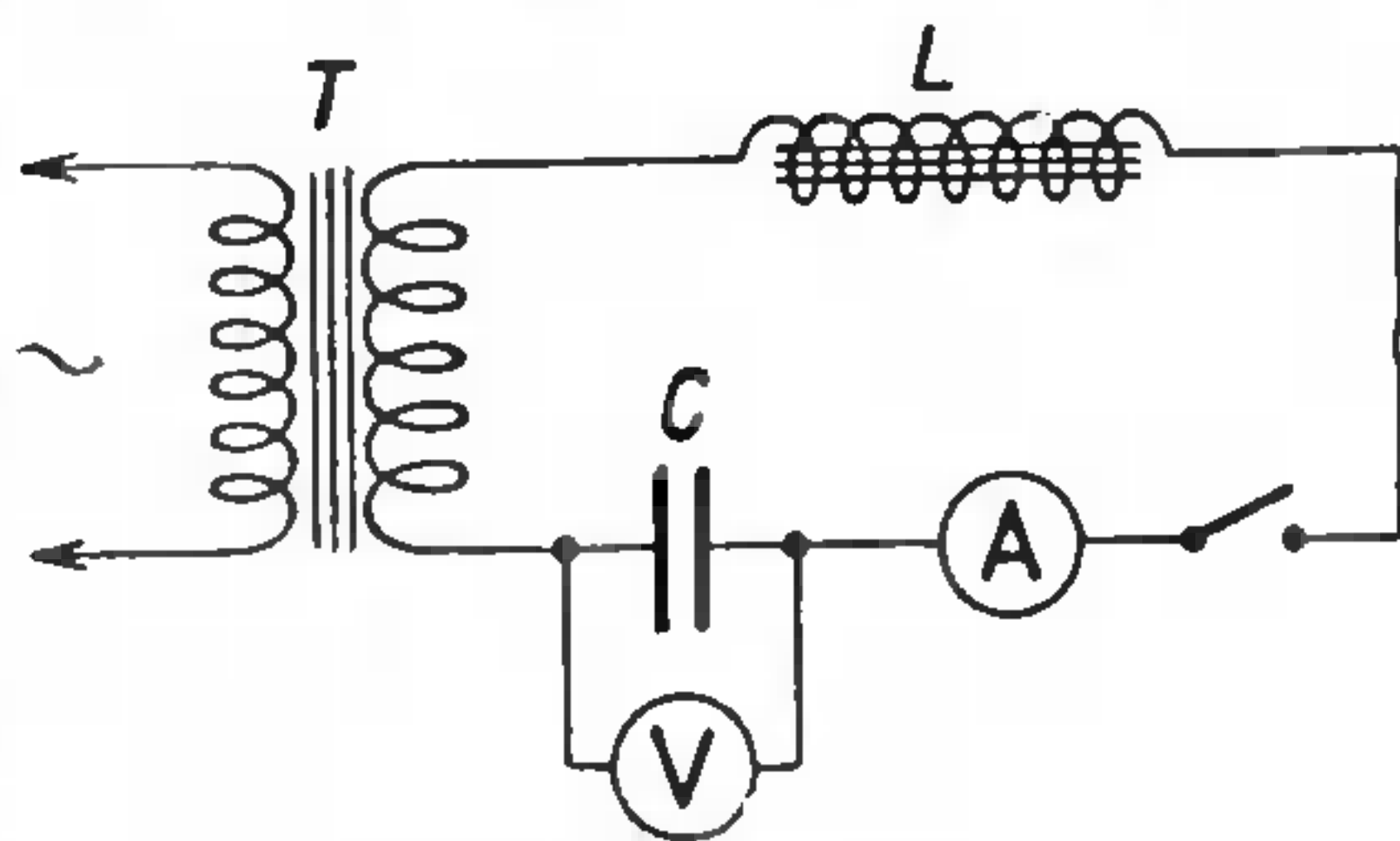


Рис. 95

После этого следует сформулировать условия возбуждения незатухающих колебаний. По аналогии с условием возбуждения вынужденных механических колебаний устанавливают, что электрические колебания, возбуждаемые в колебательном контуре, на который действует внешняя сила—источник переменного тока,—являются вынужденными электрическими колебаниями.

Для демонстрации вынужденных электрических колебаний можно воспользоваться следующей простой установкой, изображенной на рисунке 95. На базе этой демонстрации следует установить основные свойства вынужденных электрических колебаний и сравнить их со свойствами свободных колебаний.

Особо следует обратить внимание на явление электрического резонанса. Резонанс можно продемонстрировать на установке, изображенной на рисунке 95. Затем надо дать определение явлению резонанса, установить условия возникновения резонанса, рассмотреть график явления резонанса и, наконец, остановиться на значении резонанса для радиотехники.

2. **А в т о к о л е б а т е л ь н а я с и с т е м а.** На этом уроке следует учащимся разъяснить, что вынужденные незатухающие колебания, возникающие в колебательном контуре, на который действует внешняя переменная э. д. с., не могут служить генератором высокочастотного тока для радиотехнических целей.

На предыдущем уроке было показано, что установившиеся вынужденные колебания, возбуждаемые в колебательном контуре, обладают частотой, равной частоте вынуждающей э. д. с. С другой стороны, при рассмотрении машинных генераторов высокочастот-

ного тока должно быть указано, что в силу ряда технических трудностей в них невозможно возбуждать ток столь большой частоты, которая необходима для радиотехнических целей.

Каким же образом удастся возбуждать незатухающие электрические колебания достаточно высокой частоты?

Для получения высокочастотных незатухающих колебаний используют зависимость частоты свободных колебаний, возникающих в колебательном контуре, от его параметров—индуктивности и емкости,—связанных формулой Томсона $T = 2\pi\sqrt{LC}$, $\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.

Изменяя индуктивность и емкость колебательного контура, можно получить колебания широкого диапазона частот: от 1—2 гц до 10 000 000 гц и выше.

Поэтому в технике очень большое значение имеет возбуждение незатухающих колебаний, частота которых определяется только параметрами самой колебательной системы.

Учащиеся уже знают, что в реальном колебательном контуре возникают затухающие колебания. Для возбуждения незатухающих колебаний необходимо пополнять запас энергии в колебательном контуре. Если известна величина энергии, расходуемая контуром за период колебаний, то, вводя в течение периода в колебательный контур энергию в виде отдельных порций, мы получим незатухающие колебания. Для создания в реальном колебательном контуре незатухающих электрических колебаний необходимо поддерживать в нем запас энергии постоянным.

Из сказанного следует, что принципиально процесс возбуждения незатухающих электрических колебаний чрезвычайно прост. Для возбуждения незатухающих колебаний нужно воспользоваться таким автоматическим реле, которое обладает очень малой инерцией. В радиотехнике таким реле является электронная лампа-триод (Пер. III, § 113).

Автоколебательные системы представляют собой устройства, в которых за счет посторонних источников энергии возбуждаются незатухающие колебания, причем поступление энергии в систему регулируется самими колебаниями.

Надо учащимся напомнить, что при изучении механических колебаний они встречались с механическими автоколебательными системами, например с часовым механизмом. Поэтому, прежде чем перейти к рассмотрению лампового генератора, желательно вновь продемонстрировать модель часового механизма и показать опыты со спиралью Роже. На основе этих опытов возможно установить особенность автоколебательной системы и колебаний, возникающих в ней, а также сравнить их со свойствами свободных и вынужденных электрических колебаний. После этого следует перейти к рассмотрению устройства лампового генератора электрических колебаний (Пер. III, § 114).

В заключение следует продемонстрировать работу лампового генератора. В порядке закрепления следует провести аналогию

между электрическими и механическими автоколебательными системами.

Автоколебательные системы имеют широкое распространение. К автоколебательным системам относятся двигатели внутреннего сгорания, паровая машина, духовые музыкальные инструменты. Целый ряд явлений природы имеет автоколебательный характер. Многие процессы в живом организме представляют собою автоколебания. Например, дыхание и работа сердца.

Любая автоколебательная система состоит из четырех частей: 1) постоянный источник энергии; 2) клапан; 3) колебательная система; 4) обратная связь. Схема автоколебательной системы дана на рисунке 96.

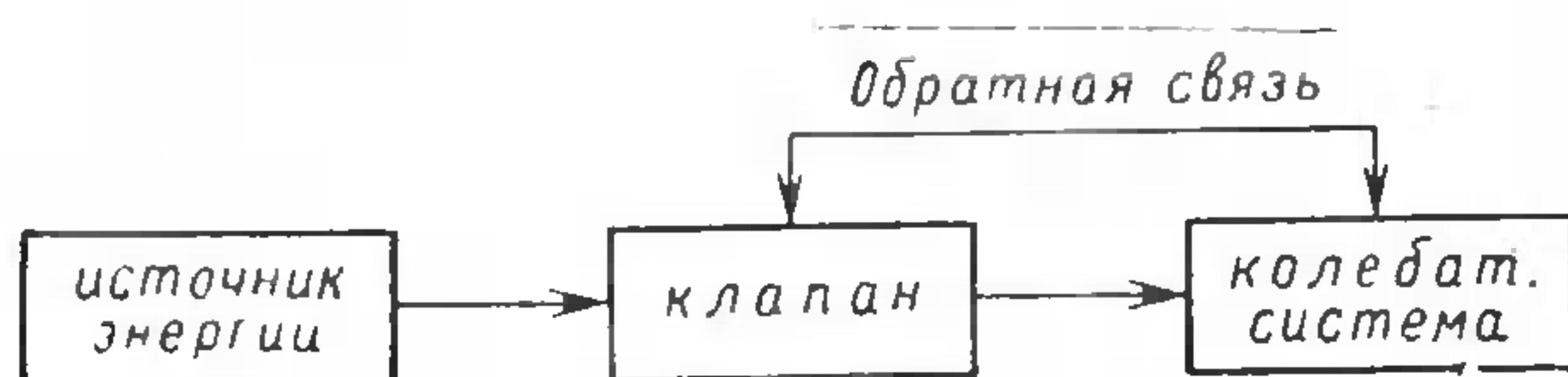


Рис. 96

135. Электромагнитное поле.

1. Взаимоотношение постоянных магнитных и электрических полей. На этом уроке нужно ввести очень сложное для учащихся понятие об электромагнитном поле, являющееся важнейшим понятием современной физики.

Предварительно следует напомнить учащимся основные свойства постоянных электрических и магнитных полей и опыты, обнаруживавшие наличие постоянных электрических и магнитных полей.

Дальше решается вопрос о взаимодействии между собой постоянных электрических и магнитных полей.

Если на демонстрационном столе установить несколько наэлектризованных шариков на изолирующих подставках и поднести к ним магнитную стрелку, а затем подвижной проводник, обтекаемый постоянным током, то учащиеся из наблюдения явления сами дадут правильный ответ.

Таким образом, электростатическое поле, т. е. поле неподвижных относительно друг друга и неизменных по величине электрических зарядов, действует только на электрические заряды и никаких магнитных действий оно не обнаруживает. Электростатическое поле графически изображается силовыми линиями, которые начинаются и кончаются на электрических зарядах (как источниках электрического поля).

Постоянное магнитное поле, т. е. поле постоянных токов, протекающих по неподвижным относительно друг друга проводникам, или постоянных неподвижных относительно друг друга магнитов,

действует только на токи или магниты и никаких действий на неподвижные электрические заряды оно не оказывает. Постоянное магнитное поле графически изображается замкнутыми силовыми линиями.

Следовательно, постоянные электрические и магнитные поля не связаны между собой. Это означает, что если в некоторой области пространства существуют постоянные электрические и магнитные поля, характеризуемые напряженностями E и H , то эти два поля, не взаимодействуя, остаются неизменными как по величине, так и по направлению.

2. Взаимоотношение переменных магнитных и электрических полей.

Английский физик Максвелл, обобщая результаты многочисленных экспериментальных исследований Фарадея относительно электрических и магнитных явлений, установил, что физические свойства быстропеременных электрических и магнитных полей отличны от свойств постоянных полей.

а) Первое положение Максвелла. Напоминаем учащимся явление электромагнитной индукции: если площадь некоторого замкнутого проводника пронизывается магнитным потоком, меняющимся с течением времени, то в этом проводнике возникает э. д. с. индукции (опыт 3 из 1-го урока желательно повторить). С другой стороны, возникновение в замкнутом проводнике э. д. с. индукции является необходимым условием для создания в этом контуре электрического тока. Но учащиеся уже знают, что электрические заряды способны прийти в движение только под действием электрического поля. Отсюда следует очень важный вывод. Образование индукционного тока в замкнутом контуре в конечном счете обусловлено возбуждением переменного электрического поля вокруг изменяющегося магнитного поля. Очень важно хорошо разъяснить учащимся, что по современным взглядам, развитым впервые Максвеллом, наличие проволочного контура, в котором может быть обнаружен индукционный ток, не является существенным фактором в явлении электромагнитной индукции. Главное в явлении то, что независимо от наличия замкнутого проводника в месте изменяющегося магнитного поля образуется и переменное электрическое поле. Таким образом, важно обратить внимание учащихся на то, что замкнутый проводник в опытах по электромагнитной индукции нужен лишь для обнаружения переменного электрического поля (по индукционному току). Это переменное электрическое поле будет существовать в течение всего времени существования переменного магнитного поля.

Так как под действием переменного электрического поля в проводниках возбуждаются замкнутые электрические токи, то графически переменное электрическое поле следует изображать при помощи замкнутых силовых линий.

б) Второе положение Максвелла. Напоминаем, что при рассмотрении темы «Переменный ток», а также при рас-

смотре́нии колебательного характера разряда конденсатора учащиеся видели, что конденсатор для переменного тока представляет собой некоторое сопротивление, зависящее от емкости конденсатора и частоты колебаний тока.

Максвелл установил, что если цепь переменного тока состоит из источника переменной э. д. с. и конденсатора, то оказывается, что не только вокруг подводящих проводов, обтекаемых переменным током, возбуждается переменное магнитное поле, но и вокруг конденсатора также возбуждается переменное магнитное поле.

При этом необходимо обратить внимание учащихся, что, как было установлено при рассмотрении процесса прохождения переменного тока через конденсатор, разность потенциалов на обкладках конденсатора непрерывно меняется. Если же меняется разность потенциалов, следовательно, меняется и напряженность электрического поля между обкладками конденсатора.

Отсюда следует, что переменное электрическое поле, возникающее в конденсаторе, стоящем в цепи переменного тока, создает вокруг себя переменное магнитное поле (рис. 97). Это явление именуется электрической индукцией.

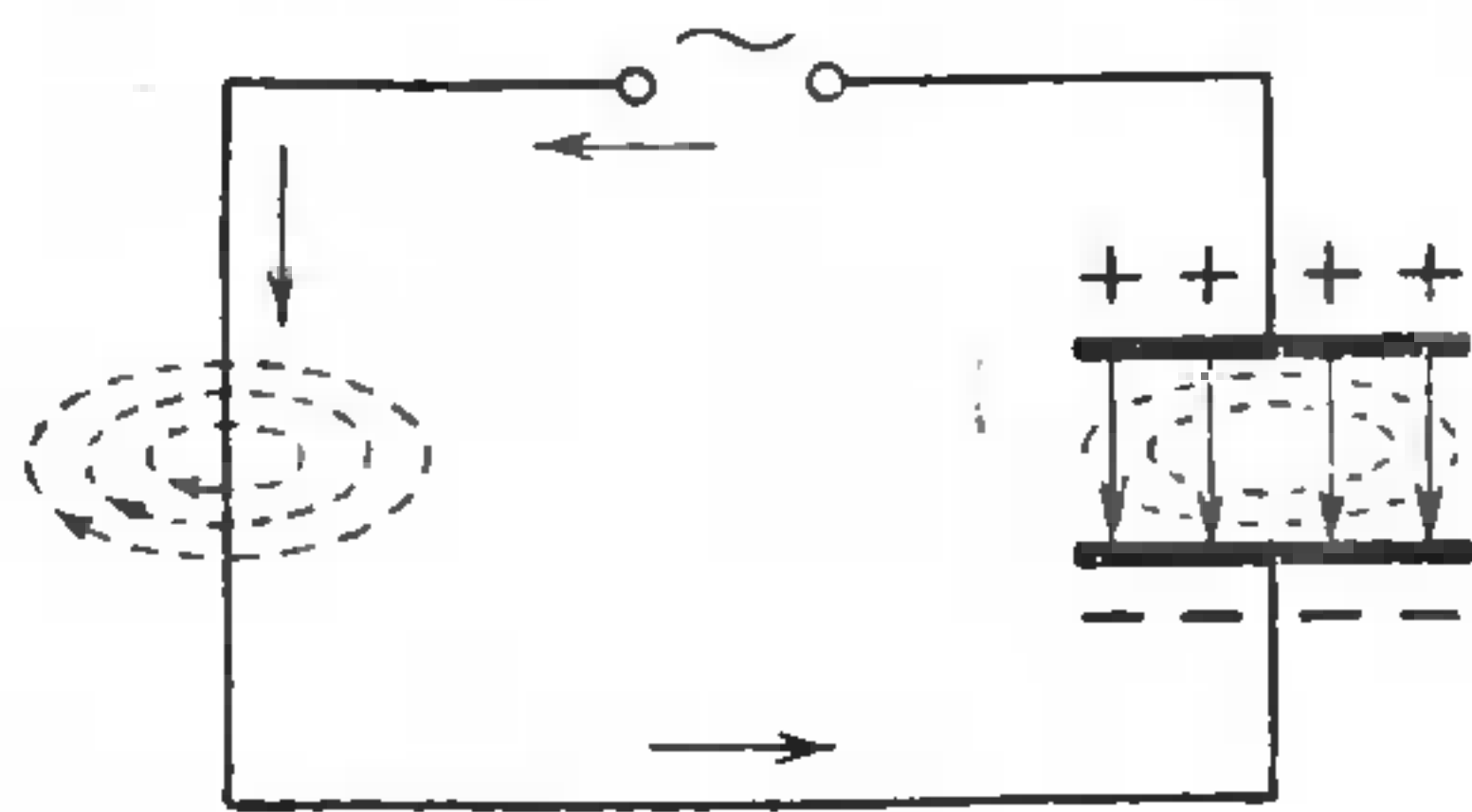


Рис. 97

Из обоих положений Максвелла следует, что если в какой-либо точке пространства происходит изменение магнитного поля, то оно вызывает появление изменяющегося электрического поля, силовые линии которого охватывают линии магнитного поля (электромагнитная индукция). Наоборот, всякое изменение электрического поля вызывает появление изменяющегося магнитного поля, силовые линии которого охватывают линии электрического поля (электрическая индукция). При этом величина напряженности появляющегося поля зависит от скорости изменения первичного поля.

Это и есть основное свойство переменных электрических и магнитных полей, образующих единое электромагнитное поле.

Обращаем внимание учащихся на то, что при работе лампового генератора высокочастотных электрических колебаний вокруг генератора возбуждается электромагнитное поле.

Учащимся следует напомнить, что при изучении механических колебаний (камертона, струны, жидкости и т. п.) они видели, что колеблющееся тело возбуждает в окружающей среде волновое движение. При этом на приведение частиц среды в колебание и образование волн расходуется энергия колеблющегося тела (рассмотреть несколько примеров). Электромагнитные колебания, возникающие в колебательном контуре лампового генератора, будучи совершенно иной природы, чем механические, обладают аналогичным свойством создавать вокруг контура волновое движение. Эту мысль следует учащимся разъяснить, указав, что если в колебательном контуре возникают электромагнитные колебания,

то они возбуждают колебания окружающих контур магнитного и электрического полей. В результате от контура начинает распространяться электромагнитное поле в виде электромагнитных волн.

Каков же механизм распространения электромагнитного поля?

Высокочастотный ток, обтекающий провод, образует переменное магнитное поле, которое индуцирует переменное электрическое поле как в том месте, где непосредственно изменяется магнитное поле, так и в окружающем пространстве. Подобно этому, изменяющееся электрическое поле создает переменное магнитное поле как в том месте, где непосредственно происходит изменение электрического поля, а также в окружающем пространстве и т. д.

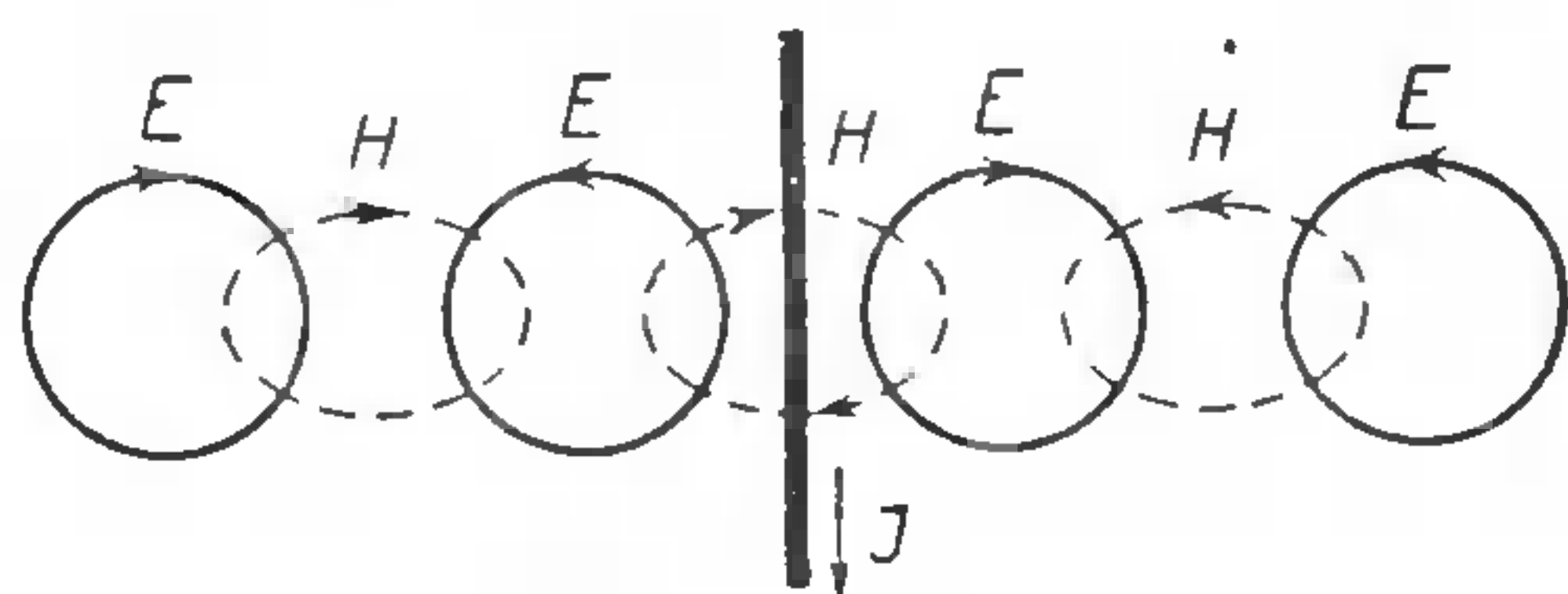


Рис. 98

Этот процесс распространения электромагнитного поля можно проиллюстрировать рисунком 98.

В качестве подтверждения справедливости указанного принципа распространения электромагнитного поля можно показать опыт, известный под названием «цепочка Брэга».

Для этого следует собрать установку, состоящую из цепочки Брэга, образованной из отдельных медных и пермаллоидных колец, не соединенных между собой и расположенных во взаимно перпендикулярных плоскостях, источника постоянного тока—аккумулятора на 6 вольт, купроксного выпрямителя, зеркального гальванометра и ключа (рис. 99).

Опыт показывает, что при кратковременном замыкании источника тока на первое медное кольцо, т. е. при создании в первом кольце импульса переменного тока, в последнем кольце возбуждается электрический ток.

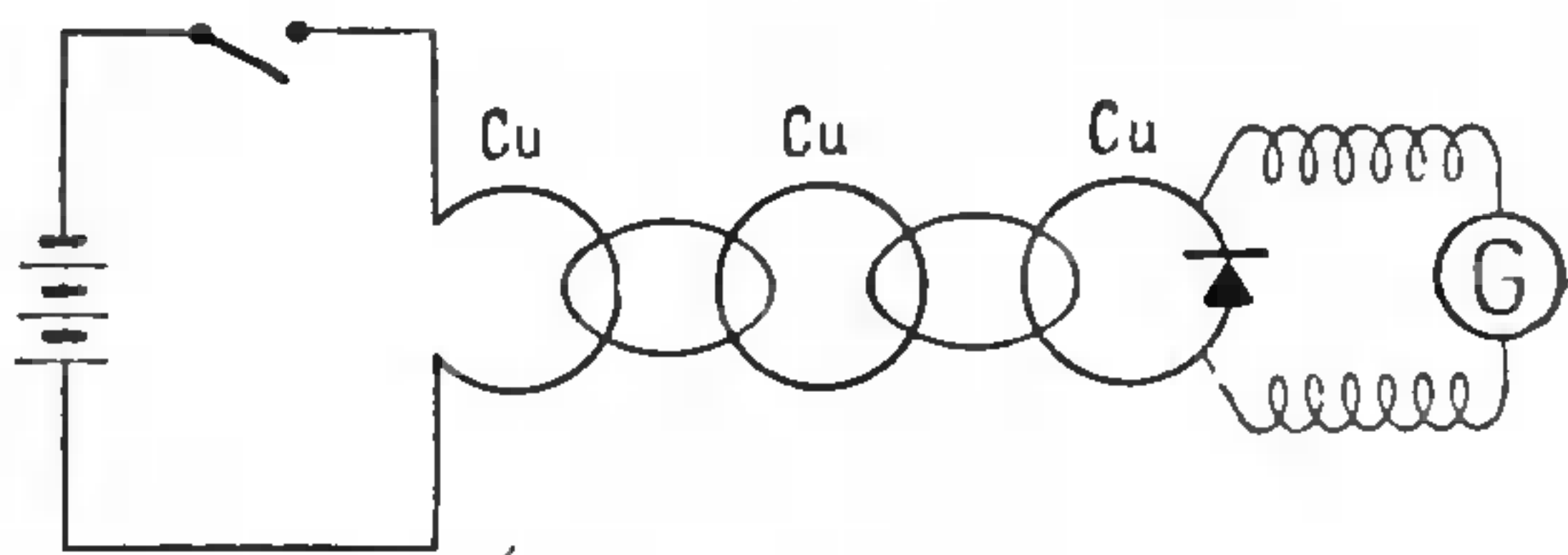


Рис. 99

После опыта следует предложить учащимся объяснить результат демонстрации.

136. Открытый колебательный контур.

На этом уроке надо учащимся показать, что для возбуждения на расстоянии электрического тока в проводах недостаточно наличия одного лишь лампового генератора, возбуждающего в замкнутом колебательном контуре высокочастотный электрический ток. Для этого на демонстрационном столе устанавливают генератор УКВ и показывают, что ток в контуре с лампой обнаруживается только в непосредственной близости к генератору.

Из этого опыта следует, что не всякая цепь, обтекаемая высокочастотным током, способна излучать электромагнитные волны.

Это объясняется тем, что в замкнутом колебательном контуре для каждого его участка с одним направлением тока можно найти другой симметричный участок, в котором в этот же момент времени направление тока противоположно (рис. 100).

Следовательно, на больших расстояниях от витка участки тока i_1 и i_3 , соответственно i_2 и i_4 создают поля, которые или полностью или почти полностью уничтожают друг друга.

Проблему возбуждения электрического тока в проводах на больших расстояниях впервые в мире разрешил гениальный русский изобретатель радио А. С. Попов. Он применил для излучения, а также и для приема электромагнитных волн так называемый открытый колебательный контур, или, как его принято называть в радиотехнике, антенну.

Обращаем внимание учащихся, что открытый колебательный контур может быть образован из замкнутого колебательного контура рядом последовательных преобразований (Пер. III, § 118, рис. 229).

Очень важно хорошо разъяснить учащимся, что при рассмотрении замкнутого колебательного контура предполагалось, что вся индуктивность его сосредоточена в катушке, а емкость в конденсаторе, и совершенно пренебрегали емкостью и индуктивностью соединительных проводов. В действительности каждый линейный проводник характеризуется не только определенным активным сопротивлением, но и некоторым собственным индуктивным сопротивлением и собственным емкостным сопротивлением, распределенными по всей длине. Приблизительно можно считать, что каждый метр длины провода обладает емкостью в 5 пф и индуктивностью в 2 мкГн.

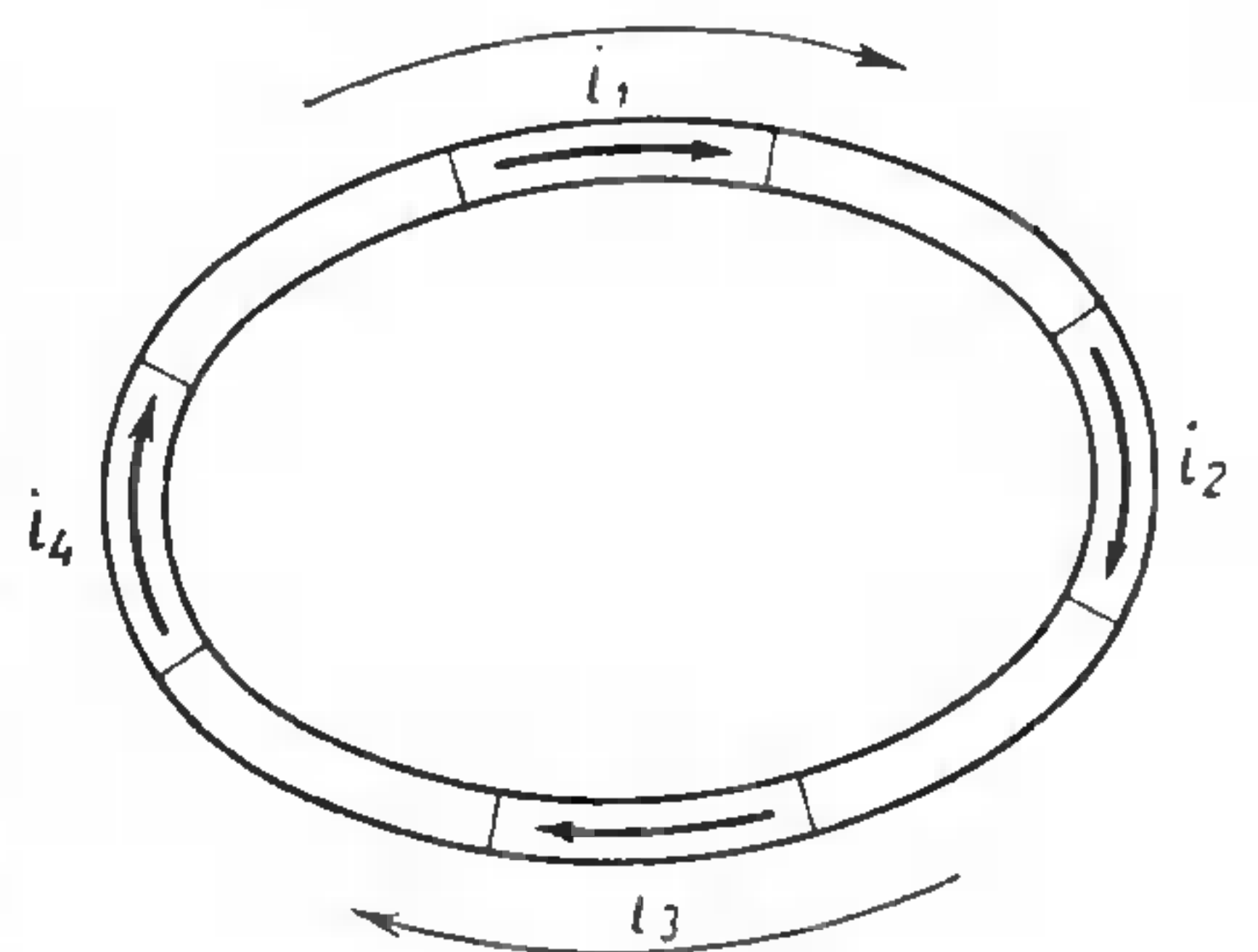


Рис. 100

Поэтому открытый колебательный контур является своеобразным контуром с распределенными по его длине параметрами C и L и, следовательно, имеет вполне определенную собственную частоту.

Поскольку антенна, как и замкнутый колебательный контур, характеризуется параметрами C и L , то в ней возможно возбудить свободные электрические колебания. Поэтому следующим моментом изложения является выявление колебательных свойств антенны.

Для этого следует рассмотреть простейший случай. Можно разделить антенну на две равные части и соединить с зажимами батареи постоянного тока. Для наглядности разбора процессов желательно их иллюстрировать графиками (рис. 101).

На этом рисунке график напряжения и соответствующее ему электрическое поле изображены штриховыми линиями, а график тока и соответствующее ему магнитное поле — сплошными линиями.

Поле разбора процессов, протекающих в антенне в отдельные четверти периода, следует провести сравнение свойств замкнутого колебательного контура и антенны.

1. Процессы, происходящие в антенне, аналогичны процессам, протекающим в замкнутом колебательном контуре.

2. Свободные колебания, возникающие в антенне, как и в замкнутом контуре затухают.

3. Для возбуждения незатухающих колебаний в антенне используют вынужденные колебания. Обычно в радиотехнике антенна передающей станции индуктивно связана с ламповым генератором незатухающих колебаний. При этом для получения максимальной

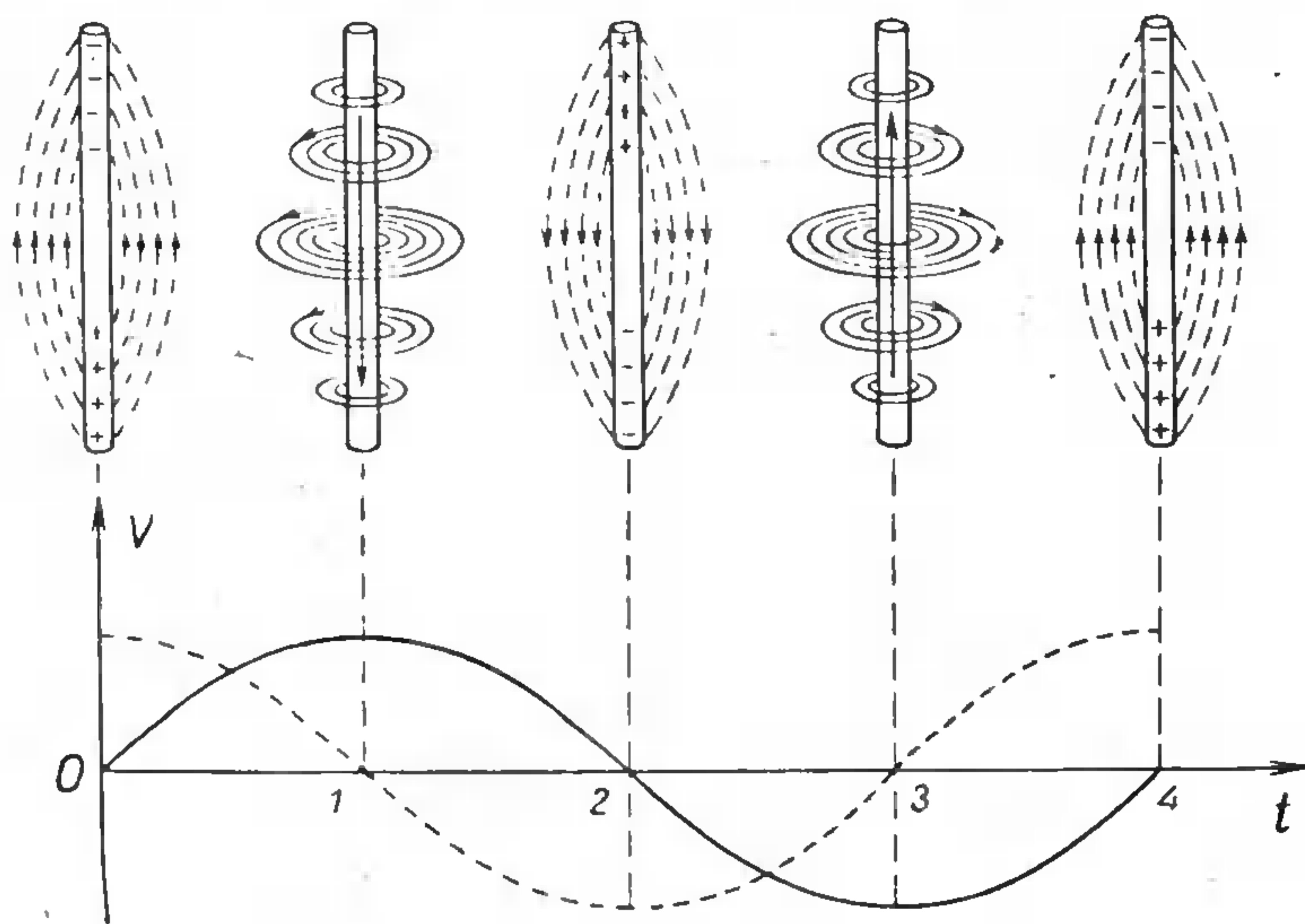


Рис. 101

амплитуды колебаний в антенне необходимо, чтобы собственная частота антенны была равна частоте тока, возбуждаемого генератором (резонанс).

4. В отличие от замкнутого колебательного контура, для которого, как ранее отмечалось, характерно наличие в любой момент времени отдельных симметричных участков цепи с противоположными направлениями тока, в открытом колебательном контуре во всех его частях направление тока в любой момент времени одинаково. Благодаря этому свойству антенна позволяет излучать электромагнитные волны, возбуждающие на больших расстояниях от нее электрический ток в приемных контурах. После этого разбора нужно продемонстрировать учащимся действие антенны.

На демонстрационном столе устанавливают генератор дециметровых волн без антенны и при помощи приемного контура в виде диполя с лампой или диполя с кристаллическим детектором, концы которого соединены с гальванометром, показывают, что ток в приемном контуре возникает лишь в непосредственной близости к гене-

ратору. Затем устанавливают в генераторе излучающую «дипольную» антенну и показывают, что в этом случае возможно обнаружить ток в приемном контуре на большом расстоянии от генератора.

В заключение следует обратить внимание учащихся на аналогию между колебаниями, возникающими в антенне, и колебаниями струны.

Из рассмотрения графика изменения тока в антенне следует, что они аналогичны колебаниям струны, создающим основной тон. Известно из акустики, что при звучании основного тона все точки струны в любой момент времени имеют одинаковые по направлению отклонения, наибольшие в середине струны и постепенно убывающие до нуля к ее концам. Направление тока во всех частях антенны в любой момент времени также одинаково, а величина тока имеет наибольшее значение в середине антенны и постепенно убывает до нуля к ее концам. Таким образом, движение электричества в антенне можно рассматривать как стоячую волну тока с пучностью посередине и с узлами на концах.

Длина электромагнитных волн λ , излучаемых антенной передающей радиостанции, связана простым соотношением с длиной антенны l , а именно $l = \frac{\lambda}{2}$.

Из тех же графиков видно, что распределение напряжения в антенне также оказывается неравномерным. Напряжение в антенне имеет пучность на ее концах и узел в середине.

В качестве подтверждения указанного распределения тока и напряжения в антенне можно показать следующую демонстрацию.

К зажимам антенны генератора УКВ присоединяют столб Зейбта. Индикатором тока и напряжения служит виток, в который включены низковольтная лампа накаливания, реагирующая на ток, и неоновая лампа, реагирующая на напряжение.

Перемещая виток вдоль столба, легко показать учащимся распределение тока и напряжения.

137. Свойства электромагнитных волн.

На этом уроке надо дать экспериментальное подтверждение существованию электромагнитных волн и показать их основные свойства.

Согласно теории Максвелла электромагнитное поле распространяется в виде электромагнитных волн, скорость которых приблизительно равна $300\,000 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$ для вакуума.

Для демонстраций можно использовать ламповый генератор дециметровых волн (без объяснения принципа его работы).

Предлагаемый генератор (рис. 102) собран по двухтактной схеме, в которой колебательный контур представляет собой две параллельно расположенные медные трубки, соединяемые междуэлектрод-

ными емкостями двух ламп (анод — сетка). Этот генератор, работающий на лампах типа «желудь» (6Н15П), дает возможность получить волны длиной порядка нескольких десятков сантиметров.

Затем с учащимися следует выяснить, какие приборы необходимы для обнаружения и исследования электромагнитных волн.

Для постановки демонстрации с современной аппаратурой, помимо источника незатухающих электрических колебаний (лампового генератора дециметровых волн) и излучающей системы (открытого колебательного контура), необходимо иметь приемник

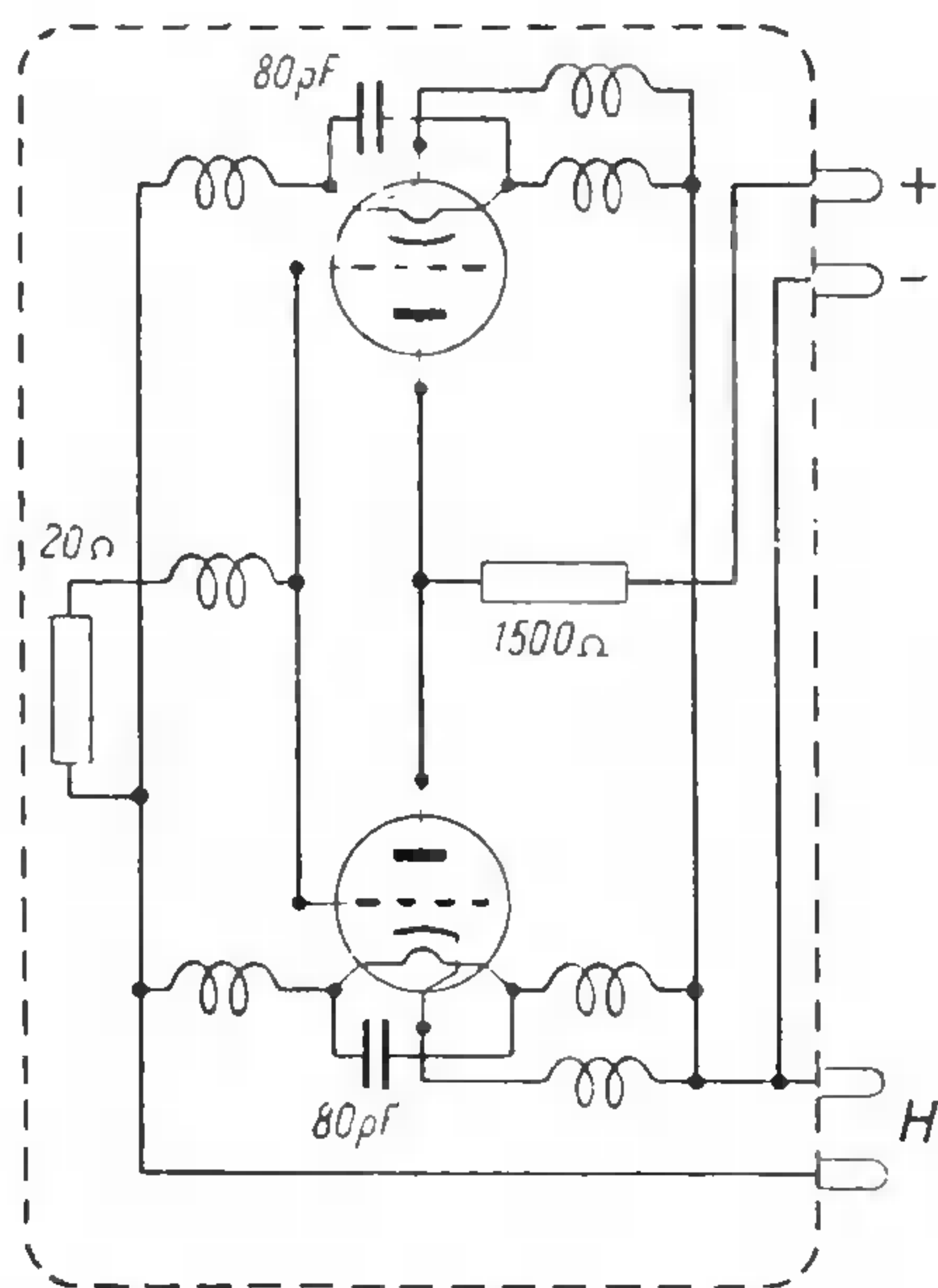


Рис. 102

электромагнитных волн. Для обнаружения и исследования электромагнитного поля можно воспользоваться явлением резонанса. Поэтому в качестве приемника-резонатора, настроенного на частоту колебаний, излучаемых открытым колебательным контуром, служит «диполь». Учащимся должно быть ясно, что приемником, настроенным в резонанс с антенной, может служить другой «диполь», имеющий размеры излучающего «диполя».

В таком «диполе» под действием электрической составляющей электромагнитного поля свободные электроны приходят в колебание и создают в нем ток высокой частоты, равной частоте тока в «диполе» передатчика.

Поэтому для обнаружения тока в приемном «диполе» используются либо «диполи» с низковольтной лампой ($U=1$ в; $I=0,075$ а), либо с кристаллическим детектором, концы которого соединяют с гальванометром.

Поскольку учащиеся еще не знакомы с кристаллическим детектором, нужно дать короткое разъяснение.

1-й опыт. Показывают, что электромагнитное поле распространяется от излучающего «диполя» в виде электромагнитных волн.

Для этого на демонстрационном столе устанавливают генератор дециметровых волн, а на расстоянии 3—4 метров от излучающего «диполя» — металлический лист, играющий роль зеркала (отражающего экрана, рис. 103). Если распространение электромагнитного поля носит волновой характер, то в пространстве между зеркалом и излучающим «диполем» должны встречаться падающие и отраженные электромагнитные волны, в результате чего должна возникать стоячая электромагнитная волна. Для доказательства следует взять приемный «диполь» с детектором, концы которого соединены с гальванометром, расположить его параллельно излучающему «диполю»

и перемещать по линии, перпендикулярной к зеркалу, следя за показаниями гальванометра.

Опыт показывает, что в исследуемом пространстве ток периодически возрастает и убывает. Замечая положения резонатора, соответствующие максимальным и минимальным отклонениям гальванометра, убеждаемся, что они лежат на равных расстояниях друг от друга. Очевидно, максимальные отклонения гальванометра соответствуют положению резонатора в пучностях электрической составляющей стоячей электромагнитной волны, а минимальные отклонения — положению резонатора в узлах. Следует учащимся указать, что исследование волновой природы электромагнитного поля возможно осуществить и с помощью кругового резонатора, ориентируя его так, чтобы он реагировал только на магнитную составляющую электромагнитного поля (рис. 104). Тогда и в этом случае возможно было бы обнаружить узлы и пучности магнитной составляющей

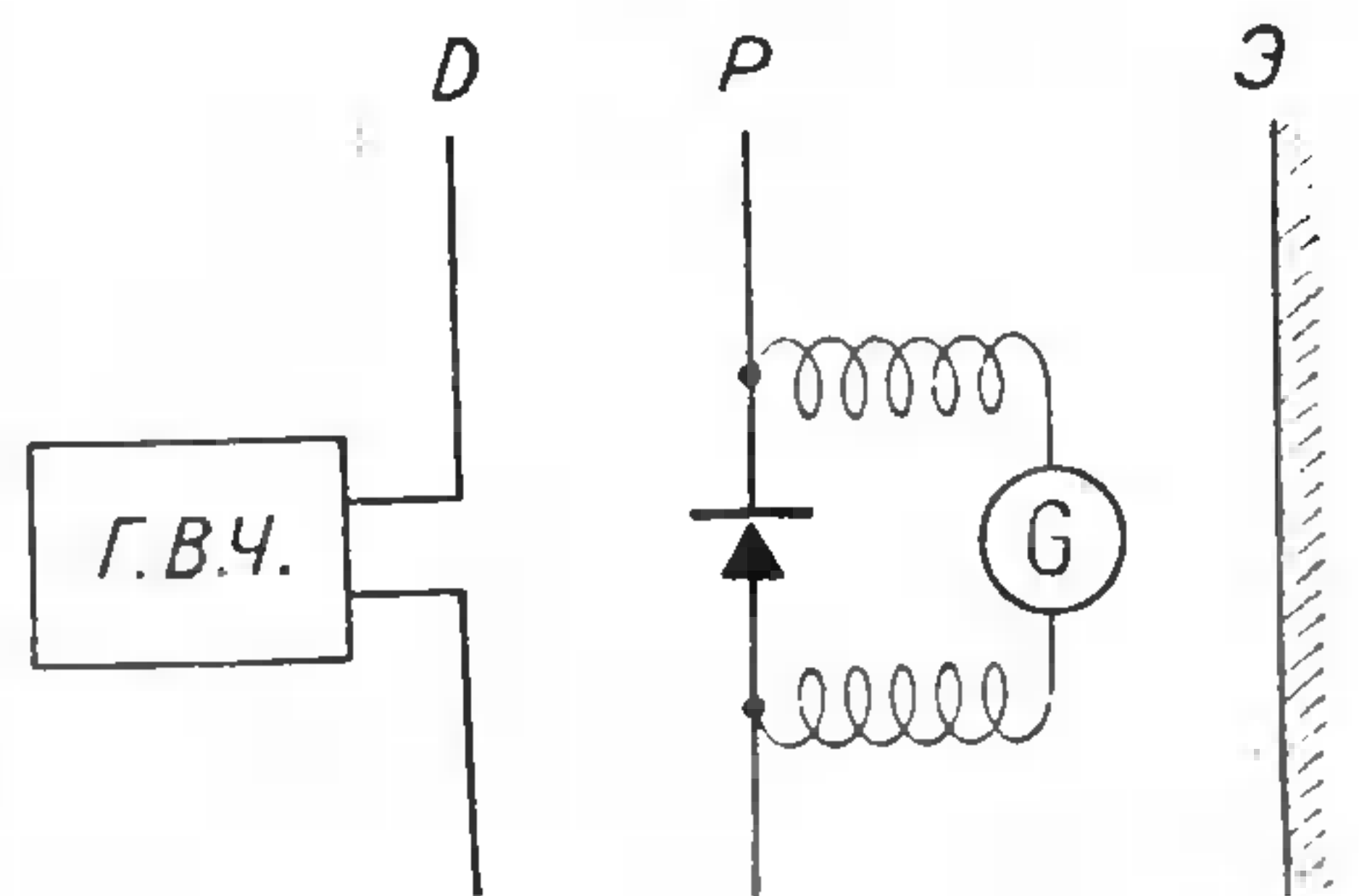


Рис. 103

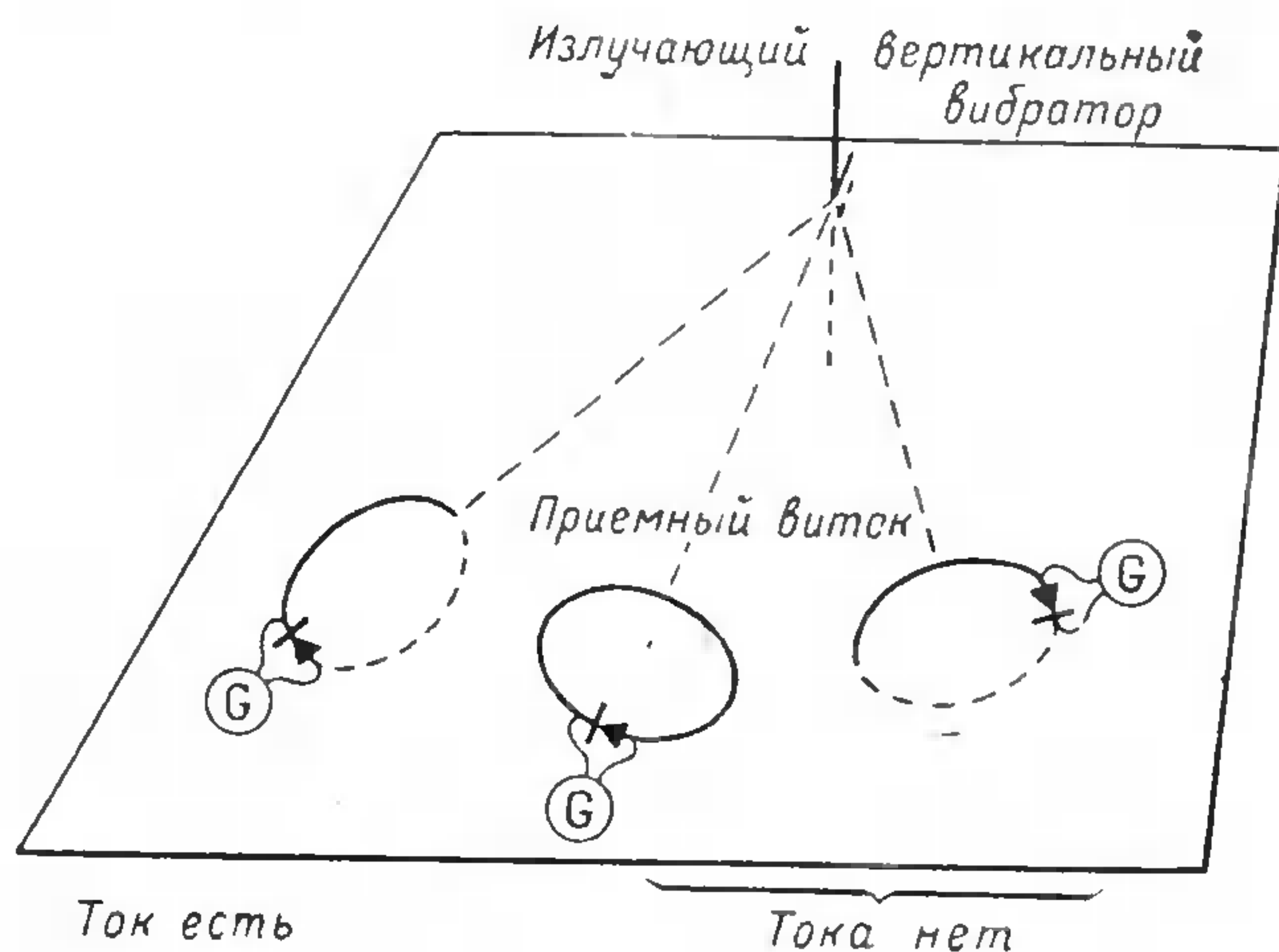


Рис. 104

стоячей электромагнитной волны, расстояние между которыми такое же, как и между узлами и пучностями электрической составляющей.

Из этого опыта следует: а) электромагнитное поле от излучающего «диполя» распространяется в виде электромагнитных волн; б) электромагнитные волны отражаются от металлических поверхностей; в) в волновой зоне (дать короткое разъяснение) колебания электрической и магнитной составляющих находятся в одинаковых

фазах; г) электромагнитные волны обладают определенной энергией; д) зная частоту генератора и длину волны, можно определить скорость распространения электромагнитных волн (§ 117, Пер. III).

2-й опыт. Свойства электрической составляющей электромагнитной волны. На некотором расстоянии от излучающего «диполя» устанавливают приемный «диполь» с гальванометром, по которому обнаруживают электрический ток. Поворачивая приемный «диполь» вокруг его оси, учащиеся отметят, что максимальный ток возникает, когда приемный «диполь» параллелен излучающему «диполю», а минимальный ток возникает, когда приемный «диполь» перпендикулярен ему.

Удаляя приемный «диполь» от вибратора, повторяют в этом новом положении вращение «диполя» вокруг оси.

Из этого опыта следует: а) электрическая составляющая электромагнитной волны ориентирована в плоскостях, параллельных плоскости, проходящей через излучающий «диполь», и перпендикулярных к направлению распространения электромагнитной волны; б) вектор напряженности электрической составляющей электромагнитной волны перпендикулярен к лучу, т. е. электромагнитные волны — поперечные.

По мере удаления приемного «диполя» от излучающего величина тока уменьшается, следовательно, с увеличением расстояния уменьшается величина напряженности электрической составляющей электромагнитной волны.

Можно далее указать учащимся, что исследования магнитной составляющей электромагнитной волны показывают, что она ориентирована в плоскости, перпендикулярной излучающему «диполю», и эта плоскость остается в пространстве неизменной. Вектор же магнитной напряженности, как и электрической напряженности, перпендикулярен к лучу и уменьшается по величине с увеличением расстояния от излучающего «диполя».

Изменение с течением времени напряженности магнитной и электрической составляющих электромагнитной волны зависит от изменения тока в излучающей антенне. Если ток в антенне изменяется с течением времени по закону синуса, то и напряженность электрической и магнитной составляющих электромагнитной волны также меняется по закону синуса.

Как же графически можно изобразить электромагнитную волну?

На основе установленных свойств электромагнитную волну можно представить графиком, изображенным на рисунке 228 учебника. На этом графике изменения вектора напряженности электрического поля изображены синусоидой E , а изменения вектора магнитной напряженности изображены синусоидой H . Концы векторов напряженности лежат на двух синусоидах, совпадающих по фазе и расположенных во взаимно перпендикулярных плоскостях.

Как всякий волновой процесс, электромагнитные волны характеризуются величинами, известными из акустики: длиной волны, периодом и скоростью распространения. Поэтому следует дать

учащимся определение этих величин применительно к электромагнитной волне.

После этого следует перейти к установлению других свойств электромагнитных волн.

3-й опыт. Показывают, что электромагнитные волны распространяются в однородной среде прямолинейно. Для этого между излучателем и приемником ставят металлическое зеркало, размеры которого велики по сравнению с длиной волны.

Опыт показывает, что, когда приемный «диполь» заслонен металлическим листом, ток в гальванометре резко падает. При устранении экрана или при вынесении приемного «диполя» из «тени» ток резко возрастает.

Из этого опыта следует, что электромагнитные волны распространяются в однородной среде прямолинейно. С другой стороны, этот опыт показывает, что электромагнитные волны не могут проникать через металлические экраны, размеры которых больше длины волны.

4-й опыт. На прежней установке можно показать отражение электромагнитных волн от плоских поверхностей и установить законы отражения.

Для этого располагают приемный диполь на расстоянии 3—4 м под некоторым углом к излучающему диполю. Между диполями располагают металлический экран. Включив генератор в сеть переменного тока, показывают, что стрелка гальванометра не отклоняется. Если теперь поворачивать плоское зеркало около некоторой вертикальной оси, то при определенных углах поворота в приемном «диполе» возникает под действием отраженной электромагнитной волны электрический ток.

Сделать вывод из этого опыта.

5-й опыт. На той же установке показывают прохождение электромагнитных волн через диэлектрики. Взяв вместо металлического экрана листы из картона, фанеры, стекла и т. д., показывают, что изолирующие материалы прозрачны для электромагнитных волн.

Следует отметить, что при прохождении электромагнитных волн из воздуха в различные диэлектрики возникает явление преломления электромагнитных волн.

В заключение на основе сделанных опытов следует расширить понятие о поле как о форме материи, отличной от вещества.

Обращаем внимание учащихся на тот факт, что если в данный момент выключить генератор электромагнитных колебаний, то ранее возбужденное электромагнитное поле будет продолжать распространяться в виде электромагнитных волн самостоятельно. Но все то, что реально существует, материально, ибо не могут существовать физические процессы вне материальных тел. В качестве подтверждения материальности электромагнитного поля служит и тот факт, что распространение электромагнитных волн в пространстве, как это было показано на опытах, сопровождается переносом

энергии. Но энергия есть одно из характерных свойств материи, следовательно, понятие об энергии не может быть оторвано от понятия материи.

Электромагнитное поле есть одна из форм материи, существующая наряду с другой формой ее — веществом.

В заключение следует рассмотреть физические основы радиолокации и ее применение в технике.

ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ВНЕКЛАССНЫХ ЗАНЯТИЙ.

1. 50 лет радио. 1895—1945. Издание АН СССР.
2. Б. А. Введенский, А. С. Попов и современное радио. Стенограмма публичной лекции. Издание Академии наук СССР, М.—Л., 1948.
3. И. П. Жеребцов, Основы радиотехники, Связьиздат, М., 1947.
4. С. А. Бажанов, Что такое радиолокация? Воениздат, М., 1949.
5. В. Г. Борисов, Радиокружок и его работа, Госэнергоиздат, М.—Л., 1951.
6. Н. И. Чистяков, Радиоприем и работа радиоприемника, изд. 3, Воениздат, М., 1956.
7. В. И. Шамшур, А. С. Попов и советская радиотехника, Воениздат, М., 1952.
8. С. М. Алексеев, Радио в школе, Учпедгиз, М., 1953.
9. С. Д. Клементьев, Управление машинами на расстоянии, Гос. изд. технико-теоретической литературы, М.—Л., 1951.

IV. ОПТИКА И СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА.

Г л а в а XXIV.

ОПТИКА.

138. Общие замечания.

Отдел «Оптика» изучается в старших классах более углубленно, чем в VIII классе. Учащиеся познакомились в VIII классе с основными явлениями так называемой «геометрической оптики», т. е. с явлениями, объяснение которых построено на понятии «луча света». Кроме этого, они наблюдали явление разложения белого света на цветные лучи и сложение цветных лучей в белый свет.

В программе XI класса учение о свете охватывает три крупные части: геометрическую оптику, волновые свойства света, квантовые свойства света.

При переходе к отделу «Оптика» учащимся рекомендуется возобновить в памяти имевшиеся у них сведения о свете. Повторению этих сведений (выборочному) с демонстрацией, если это будет признано необходимым, самих явлений посвящается 1-й урок.

В начале урока преподаватель обосновывает необходимость изучения оптики с научной и технической точек зрения.

139. Скорость света.

Первым вопросом программы поставлен вопрос о скорости распространения света и ее опытным определении.

Из различных способов определения скорости света достаточно дать два: один—астрономический, другой—физический. Из астрономических способов проще всего способ Рёмера, из физических—интереснее всех способ Майкельсона. Он описан в действующем учебнике X класса. Измерение скорости света методом Рёмера описано в III части Элем. учеб., § 152, изд. 1957 г.

Излагая вопрос в его историческом развитии, надо отметить, что неудачи первых попыток определения скорости света привели ученых к мысли о мгновенном распространении света. Далее надо подчеркнуть, в чем заключалась основная трудность физического приема определения скорости света (измерение чрезвычайно кратких промежутков времени при прохождении светом земных расстояний). В силу последней причины скорость света впервые была определена астрономическим способом.

В заключение надо сообщить об измерении скорости распространения света в различных средах и привести соответствующие данные. Можно здесь же отметить, что эти последние измерения оказали решающее влияние на предпочтение одной из двух теорий света, боровшихся между собой в течение длительного времени. Рассказано об этих теориях будет в конце темы.

140. Основы фотометрии.

При переходе к этой теме надо предложить учащимся повторить сведения, сообщенные им в VIII классе, об естественных и искусственных источниках света. Если такие сведения не были сообщены ранее, то соответствующему материалу и демонстрациям должно быть посвящено начало урока.

Отметив, что все предметы, не являющиеся источниками света, становятся видимыми только при освещении их, преподаватель ставит перед учащимися общий вопрос об освещении предметов источниками света.

Раздел физики, занимающийся вопросами освещения, носит название **ф о т о м е т р и и**.

В фотометрии установлено шесть групп различных фотометрических величин. Конечно, все они не могут быть рассмотрены в средней школе. Надо сделать выбор наименьшего числа необходимых величин. Таковыми являются: световой поток, сила света и освещенность.

При определении светового потока как количества световой энергии, проходящей через какую-либо площадку в единицу времени, необходимо подчеркнуть в этом определении слова: «в единицу времени».

Надо рассказать, что в каждом государстве, примкнувшем к международному соглашению, имеются лампы накаливания (в СССР—24), тщательно сверенные между собой. При рабочем напряжении, указанном в соглашении, каждая из них дает в определенном направлении световой поток строго определенной силы.

Единица силы света называется «свечой».

Таким образом, международная свеча есть определенная доля силы света, даваемого эталонной лампой. Надо отметить, что конкретного образца в одну международную свечу не существует. Международное обозначение свечи *S*, русское — *св*.

Опираясь на данное представление о силе света, преподаватель может дать следующее определение единицы светового потока—люмена: люмен есть световой поток внутри единицы телесного угла (или внутристерадиана), испускаемый из вершины его точечным источником света, дающим в данном направлении свет силой в одну международную свечу.

Можно отметить, что с 1940 г. введена новая единица силы света, а именно свеча, равная $\frac{1}{60}$ силы света, получаемой от 1 см^2 поверхности черного тела в направлении нормали при температуре затвердевания платины $2046,6^\circ\text{K}$.

Так как еще в VIII классе выяснено, что все несветящиеся тела видимы только при освещении их каким-либо источником света и степень видимости их меняется от взаимного расположения их и источника (книга на разных расстояниях от лампы и при разных наклонах), то необходимо характеризовать освещение поверхностей какой-либо величиной. Эта величина получила название освещенности. Формула освещенности $E = \frac{\Phi}{S}$, где Φ —величина светового потока, S —освещенная площадь. За единицу освещенности принят люкс; его определение: «люкс—поверхностная плотность светового потока в 1 люмен, равномерно распределенного по поверхности в 1 м^2 ». Или: «люкс—освещенность поверхности, перпендикулярной к лучам света и находящейся на расстоянии 1 м от источника, посылающего в данном направлении свет силой в 1 св».

Наименование единицы: $\frac{\text{лм}}{\text{м}^2}$.

Элемент времени входит только в первое определение светового потока. Во все дальнейшие определения он входит неявно. Законы освещенности выводятся теоретически и проверяются на опытах (рис. 249, Пер. III).

Для пояснения изменения освещенности при изменении угла падения лучей света можно построить модель из ряда параллельных спиц, перехватываемых двумя площадями—перпендикулярной и наклонной к лучам (рис. 251, Пер. III).

Надо отметить, что изменение освещенности с изменением угла падения имеет место не только при освещении параллельными лучами, но и расходящимися.

Расходящиеся из одной точки лучи падают на плоскость под разными углами, между тем первый закон имеет в виду лучи, перпендикулярные к поверхности (лучи из центра), падающие на концентрические шаровые поверхности.

Для конкретизации изучаемого следует привести данные о яркости различных источников и о нормах освещенности для различного рода работ.

Надо рассказать, какое значение техника освещения (фото-техника) имеет в деятельности человека: борьба с темнотой за удли-

нение времени труда, повышение производительности труда в зависимости от улучшения условий освещенности рабочего места и обрабатываемой детали.

Следует показать учащимся люксометр, служащий для быстрого измерения освещенности.

Лабораторная работа по фотометрии введена в программу. Изучение темы сопровождается различными фотометрическими расчетами.

141. Световые явления на границе двух сред.

1. О т р а ж е н и е и п р е л о м л е н и е. Существенно важным при изложении названной темы является демонстрация одновременного возникновения отражения и преломления на границе двух сред.

При одновременной демонстрации того и другого явления надо обратить внимание учащихся на относительное изменение яркости обоих лучей в зависимости от угла падения и на случай, когда луч падает на границу раздела двух сред под прямым углом.

Законы отражения изучены в VIII классе и могут быть повторены при предыдущей демонстрации. Главное внимание надо обратить на законы преломления. Изучение их можно провести эвристически на лабораторной работе в отличие от рекомендуемой программой проверочной лабораторной работы по измерению коэффициента преломления стекла.

Выполняя лабораторную работу, учащиеся получают ряд данных относительно углов падения и преломления. Сначала учащиеся пытаются найти соотношение между самими углами. Не найдя какого-либо простого отношения, учащиеся по предложению преподавателя занимаются расчетом отношения синусов углов падения и преломления и приходят к законам преломления.

Дается определение «показателя преломления» и сообщается, что показатель преломления равен отношению скорости распространения света в той среде, из которой свет падает, к скорости распространения света в среде, в которую свет переходит.

Обратимость луча обнаруживается учащимися во время лабораторной работы при помощи плоского зеркала, отражающего обратно преломленный луч.

При формулировании законов отражения и преломления необходимо обратить внимание на логику расположения законов: первый закон определяет плоскость, в которой лежит искомый отраженный или преломленный луч; второй — положение луча в отмеченной плоскости.

2. П о л н о е о т р а ж е н и е. Явление полного отражения изучается или на том же приборе, что и закон преломления, или демонстрируется преподавателем на оптической шайбе или на стеклянном сосуде с водой, в который вертикально опущена белая доска, а на дне помещено вращающееся плоское зеркало, улавли-

вающее преломленный луч и обратно отражающее его из воды на поверхность под разными углами (рис. 271, Пер. III). Теория явления излагается в любом учебнике. Надо показать, что явление полного отражения часто встречается в природе (миражи, блеск капель росы, блеск насекомых в воде), в быту (блеск трещин в стекле, воздушных пузырьков в воде, блеск цветных камней), и показать использование его в технике (оборотные призмы и др.).

Сравнивая оборотные призмы с зеркалами, надо отметить преимущество первых перед вторыми: а) нет потери энергии при отражении; б) угол между отражающими поверхностями в призмах остается неизменным; в) в зеркалах наблюдается постепенная порча посеребренного слоя, призмы свободны от этого недостатка.

3. Ход лучей в пластинке с параллельными гранями и в призме демонстрируется на оптической шайбе. Параллельность падающего и выходящего лучей доказывается.

Надо пояснить учащимся, что величина смещения зависит не только от толщины пластинки, но и от показателя преломления и угла падения.

При изучении хода лучей через призму надо остановить внимание учащихся на том, что при помощи призмы получается мнимое изображение предмета.

Обучая вычерчиванию хода лучей на границах сред, преподаватель должен требовать от учащихся, чтобы они сначала проводили пунктиром перпендикуляр к поверхности в точке падения луча на границу сред и только после этого проводили отраженный или преломленный луч.

142. Сферические зеркала и стекла.

1. Построение изображений и формулы. Переходя к этой теме, преподаватель должен отметить, что изучение законов отражения и преломления дает средство управлять ходом лучей. Благодаря этому законы геометрической оптики широко используются в науке и технике, в частности в оборонной технике.

Управление ходом лучей может преследовать две цели: изменение хода светового пучка в желаемом направлении и изменение сечения пучка, т. е. изменение освещенности поверхности, на которую падает пучок света.

Изменение направления луча может быть осуществлено посредством плоского зеркала или призмы. Эти случаи должны быть рассмотрены при упражнении на законы отражения и при разборе действия призм, в частности оборотных призм.

Содержанием рассматриваемой на уроке темы является вторая задача: изменение направления лучей с одновременным изменением сечения светового пучка.

Для этой цели могут быть использованы зеркала с изогнутыми поверхностями или прозрачные среды, ограниченные изогнутыми поверхностями. Так делается переход к изучению свойств сферических зеркал и сферических стекол.

Исследование уравнения сферического зеркала или линзы дает превосходный образец применения математического анализа к изучению физического вопроса. Однако и здесь математика не должна мешать раскрытию физической стороны явления.

Изучение свойств линз может быть проведено следующим образом. Получив изображения при помощи линз или напомним о подобных опытах в VIII классе, преподаватель ставит задачей вывод соотношений между расстояниями от линз до предмета, до его изображения и до главного фокуса. Этот вывод должен быть сделан теоретически.

Соотношение должно быть проанализировано и только потом проверено на опыте, а не выведено из опыта, так как этот вопрос представляет прекрасный случай для применения математики к изучению физических явлений и для показа того, какое мощное орудие представляет собой математический анализ для исследования и предугадывания явлений.

При выводе соотношения вносятся упрощения: предполагается, что линза взята чрезвычайно (бесконечно) тонкая, так что на чертеже она может быть заменена одной прямой линией, и, кроме того, в формулу вводится главное фокусное расстояние линзы, а не радиусы кривизны ее поверхностей.

Так как понятие оптического центра с трудом может быть установлено из непосредственного опыта, то придется дать понятие о нем из известного геометрического построения, выделяющего из линзы участки в виде пластинок с параллельными гранями (параллельными касательными плоскостями).

Это построение позволит показать, что оптический центр есть точка главной оптической оси, обладающая тем свойством, что луч, проходящий через нее, выходит параллельно падающему лучу, испытывая только смещение. При тонкой линзе можно смещением пренебрегать и считать луч, проходящий через оптический центр, прямолинейным (побочная ось). В дальнейшем ставится условие, что прямая, изображающая линзу, проводится через оптический центр и оба фокуса лежат на равных расстояниях от него.

Когда известным приемом будет получен вывод в форме ¹
$$\frac{1}{f} + \frac{1}{f'} = \frac{1}{F},$$
 надо обратить внимание учащихся на то, что расстояния предмета и его изображения относительно линзы занимают в формуле совершенно одинаковые положения и могут быть замещены одно другим без нарушения равенства. Следовательно, и в опыте каждая светящаяся точка и ее изображение могут обмениваться мес-

¹ Стандарт 6145.

тами без нарушения хода луча (связать это обстоятельство со свойством обратимости).

Для исследования расположения изображения при различных значениях расстояния от предмета до линзы надо придать формуле вид:

$$f' = \frac{F}{1 - \frac{F}{f}}.$$

Формула исследуется для случаев:

- 1) $f > 2F$;
- 2) $f = 2F$;
- 3) $2F > f > F$;
- 4) $f = F$;
- 5) $f < F$.

Каждый из исследуемых случаев должен быть вычерчен. Перед вычерчиванием учащиеся должны получить следующие указания.

1) При изображении линзы прямой линией для различения выпуклой и вогнутой линз применяются схематические изображения.

2) Главная оптическая ось проводится перпендикулярно к отрезку, изображающему линзу, через его середину, принимаемую за оптический центр линзы.

3) Положения главных фокусов и точек на двойном фокусном расстоянии следует откладывать по масштабу или по какой-либо другой мерке с большой тщательностью, что повышает качество чертежа.

4) Для построения изображения каждой точки предмета достаточно провести из этой точки на линзу любые два луча, которые после преломления в линзе своим пересечением определяют положение изображения этой точки. Но для вычерчивания хода произвольного луча надо было бы: а) измерить угол падения луча на поверхность линзы; б) по формуле показателя преломления вычислить синус угла и самый угол преломления; в) при помощи транспортира построить самый угол; г) повторить то же для второй поверхности линзы.

Только для трех лучей не требуется таких сложных действий, если проведена оптическая ось и размечены точки оптического центра и обоих главных фокусов, а именно для лучей: а) параллельного главной оптической оси; б) проходящего через оптический центр; в) проходящего через главный фокус.

Ход этих лучей как до линзы, так и после преломления в линзе может быть начерчен при помощи линейки; поэтому для вычерчивания изображения надо пользоваться двумя из перечисленных трех лучей.

5) Только получив изображение одной точки предмета, можно переходить к изображению другой.

6) Когда при помощи пары указанных лучей найдено изображение точки, то легко построить ход любого луча, падающего из данной точки на линзу: его преломленный луч пройдет через найденное изображение точки. Эту задачу всегда надо ставить перед учащимися.

Данные анализа и чертежей должны быть сведены в одну общую картину: учащийся должен представлять себе, в каком направлении и с какой скоростью (сравнительно со скоростью предмета — большей, равной или меньшей) перемещается изображение при движении предмета из бесконечности до линзы¹ и как меняется увеличение, измеряемое отношением $\frac{f'}{f}$.

Надо обратить внимание и дать толкование случаю, когда f' получается отрицательным.

В связи с получением увеличенного изображения надо поставить вопрос о плоскостном увеличении и об изменении освещенности изображения сравнительно с освещенностью предмета, выяснив значение линз в этом отношении.

Для вогнутой линзы формула дается без вывода, число примеров на вычерчивание изображения и число демонстраций не должно быть большим.

При выполнении лабораторной работы, постановка которой общеизвестна, проверяются найденные выше соотношения, качество изображения (действительное или мнимое, прямое или обратное), размер изображения и вычисляется по данным измерений F . Особенно тщательно следует разобрать понятие об оптической силе линз. Учащиеся должны научиться вычислять оптическую силу линзы по ее фокусному расстоянию как для случая выпуклых, так и вогнутых линз (а также уметь решать обратную задачу).

Надо также, демонстрируя изображения, полученные при помощи зеркал и стекол, рассказать учащимся, как представители религиозных пользовались подобными явлениями для внушения религиозным людям веры в загробный мир.

Научное объяснение этих явлений помогает бороться с суевериями.

2. Недостатки линз. На недостатках толстых линз следует остановиться особо. Одним из главных недостатков линз является сферическая аберрация. Для ее демонстрации на оптическую шайбу помещают выпуклую линзу, на которую затем посылают пять параллельных лучей: один по главной оси, два по обе стороны оси, близкие к ней, и два по обе стороны оси, далекие от

¹ Надо отметить, что при получении изображений в зеркалах предмет и его изображение движутся в противоположных направлениях, при изображении же в линзах — в одинаковом, но с различными скоростями.

нее. Последние пересекаются в точке, лежащей ближе к линзе, чем остальные. Надо сообщить о мерах, принимаемых к устранению сферической аберрации.

Вторым важным недостатком линз является хроматическая аберрация. За линзой лучи разного цвета сходятся в разных точках; на экране $S'S'$ (рис. 105), помещенном на дальнем расстоянии, получается фиолетовый ободок; на экране SS , поставленном ближе места схождения лучей, виден красный ободок. Объяснение дается при помощи рисунка 105.

На протяжении разбора явления производятся расчеты на вычисление f, f', F и оптической силы линз.

3. Глаз как оптический аппарат. Описание анатомического строения глаза должно быть ограничено только физическими характеристиками различных составных частей глаза

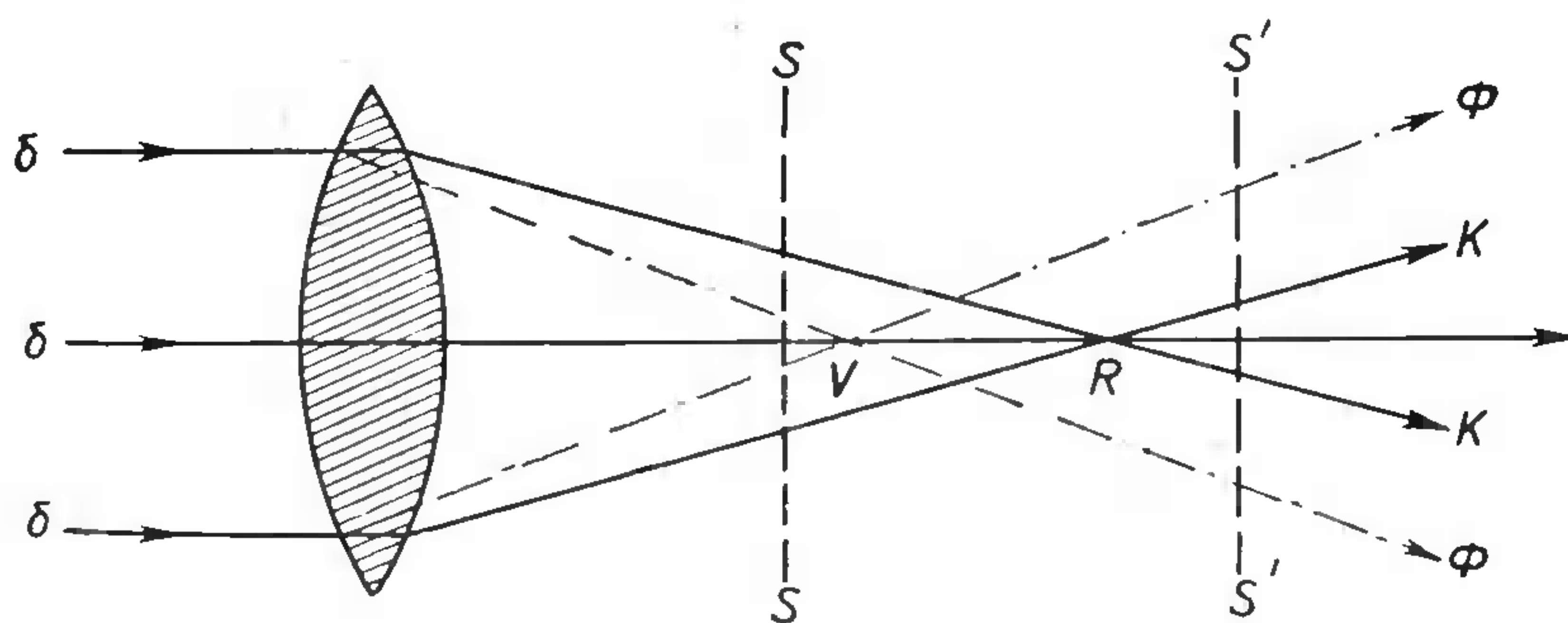


Рис. 105

и изложением физиологического свойства сетчатки без каких-либо подробностей. При этом подчеркивается, что преломление происходит на границе всех структурных сред глаза, а не одного хрусталика.

При объяснении строения глаза следует пользоваться стенными таблицами и разборными моделями глаза; на чертежах достаточно ограничиваться схематическим изображением глаза.

При изложении учения о глазе особенно тщательного разъяснения требуют три вопроса: аккомодация, классификация глаз, условия ясного видения.

Понимание аккомодации облегчается, если при прохождении линз было отчетливо выяснено перемещение изображения в зависимости от перемещения предмета и была продемонстрирована зависимость фокусного расстояния линзы от кривизны ее. Также поможет этому пониманию сравнение с фотоаппаратом, имеющим неподвижную заднюю стенку, но снабженным рядом объективов различной оптической силы.

Но лучше всего продемонстрировать аккомодацию, пользуясь набором линз, как описано в отделе оптики для VIII класса.

Выяснив процесс аккомодации, преподаватель должен проверить его понимание; с этой целью он предлагает вызванным учащимся переводить свой взор с ближних предметов на далекие или наоборот и объяснять, какое изменение происходит каждый раз с хрусталиком.

Разделение глаз на нормальные, близорукие, дальнозоркие производится по тому признаку, где лежит главный фокус глаза при спокойном состоянии мускула, изменяющего кривизну хрусталика: на сетине, внутри глаза или вне его, за сетиной.

Различные виды глаз можно показать на упомянутой выше (для VIII класса) модели.

После того как будет выяснено, что близорукие и дальнозоркие глаза при помощи очков могут быть сведены к нормальному типу, можно перейти к разбору условий ясного видения независимо от типа глаз.

Первое условие, без которого невозможно вообще никакое видение,— это падение на каждый квадратный сантиметр сетчатой оболочки энергии света, мощность которой должна быть выше определенного предельного значения.

При наличии первого условия возможность раздельного видения соседних точек предмета обеспечивается осуществлением второго условия, а именно, чтобы угол зрения предмета был не меньше предельного.

Затем дается определение угла зрения и объясняется, чем вызывается существование его предельного значения: две точки различимы одна от другой, если их изображения попадают на разные колбочки глазного нерва, по крайней мере на две соседние колбочки.

За остроту зрения, равную единице, в медицине принимается такая, при которой различается промежуток, видимый под углом в 1 минуту.

Наконец, при осуществлении первых двух условий для отчетливости видения предмета необходимо третье условие—получение правильного изображения предмета на сетчатой оболочке.

Остальные вопросы — зрение двумя глазами, суждение об относительной величине и расстоянии предметов, продолжительность зрительного впечатления, восприятие цветов—не нуждаются в особых замечаниях.

В заключение можно сравнить два органа—ухо и глаз и показать, что даже один глаз позволяет точно ориентироваться по отношению к источнику света, тогда как одного уха недостаточно для полной ориентировки по отношению к источнику звука.

Но при этом надо отметить, что точность ориентировки по отношению к источнику света существует только при прямолинейном распространении света от точечного источника до глаза. При криволинейном распространении глаз видит предмет по направлению касательной к последнему элементу кривой, следовательно, не там, где предмет находится.

Отмечается и второе отличие органа зрения от органа слуха. Ухо может анализировать сложный тон, тогда как глаз не в состоянии произвести анализ сложного цвета. О цвете тела создается суждение на основании общего ощущения, производимого на глаз всей совокупностью попадающих в него цветных лучей.

Правильное суждение о действительном положении, распространении, размере предмета приобретает особо важное значение в оборонной технике для прицела при стрельбе. Для устранения недостатков глаза в этом отношении изобретены оптические приборы, описанные в книге Внукова «Физика и оборона страны», ч. II.

Приступая к этому отделу, преподаватель должен рекомендовать прочесть соответствующие статьи из этой книги с тем, чтобы учащиеся использовали материал этих статей в своих ответах. Книгу Внукова можно использовать также на кружковых занятиях.

4. О п т и ч е с к и е п р и б о р ы. После разбора свойств глаза изучается устройство приборов, расширяющих пределы человеческого зрения.

Угол зрения, ограничивающий видимость предметов, может быть мал в двух случаях: а) если мал сам предмет; б) если предмет, даже большой, находится на большом расстоянии.

Угол зрения от малого предмета мог бы быть увеличен простым приближением предмета к глазу, если бы существование ближней точки, в которой прекращается аккомодация, не полагало предела такому увеличению угла зрения (надо отметить преимущество в этом отношении близоруких глаз перед нормальными).

Дальнейшее увеличение угла зрения осуществляется при помощи оптических приборов—микроскопов.

Невозможность увеличения угла зрения для невооруженного глаза в случае рассмотрения отдаленных предметов устраняется устройством других оптических приборов—телескопов.

Ход лучей в микроскопе, телескопе, призмной трубе надо показать учащимся на хороших стенных таблицах.

Преподаватель рассказывает о наибольших достигнутых увеличениях оптических приборов и показывает снимки, полученные при помощи самых мощных телескопов¹ и микроскопов.

Исторический очерк развития конструкций оптических приборов и расчет получаемого с их помощью увеличения может составить темы докладов в кружке².

При изложении вопроса об оптических инструментах желательно провести сборку моделей приборов (в качестве классной демонстрации или лабораторной работы). Также желательна экскурсия на астрономическую обсерваторию или в Планетарий.

¹ Изданы плакаты: «Рефлектор», «Рефрактор».

² Литература: П о к р о в с к и й, Пулковская обсерватория; Р о р, Оптические приборы; Г е л ь, Глубина небес.

1. В в е д е н и е. Вопрос о природе света следует поставить между главами, посвященными геометрической оптике, и главой об излучении, чтобы при изложении последней пользоваться понятием о длине волны и о частоте колебаний.

Переходом к новой теме может служить указание преподавателя, что учащиеся изучили большое количество световых явлений и законов, по которым происходит распространение света, но не знакомы еще с теорией световых явлений, т. е. с объяснением явлений с единой точки зрения.

Здесь можно кратко рассказать о ньютоновской теории истечения и вкратце показать, как по этой теории объяснялись явления отражения и преломления света. Следует подчеркнуть, что по этой теории скорость распространения света в любой прозрачной среде должна быть больше скорости света в пустоте.

Сопоставление с сообщенными ранее данными относительно измерения скорости света в воде указывает на противоречие теории опыту.

Помимо этого расхождения, теория истечения не в состоянии была дать простое объяснение целому ряду световых явлений, которые легко объяснялись волновой теорией.

2. И н т е р ф е р е н ц и я света. Темой первого урока будет одно из тех световых явлений, которое лучше всего объясняется волновой теорией света.

Явление демонстрируется следующим образом. Накладывают друг на друга две большие пластинки зеркального стекла и ставят их плоскостью к классу несколько наклонно под острым углом к демонстрационному столу. Перед ними помещается газовая или спиртовая горелка, в пламя которой вносится кусочек асбеста, смоченный раствором поваренной соли.

На поверхности пластинок в отраженном свете наблюдается чередование светлых и темных полос (светлые полосы имеют желтую—цвета пламени—окраску).

Полосы сгущаются, если проложить между пластинками с одного края полоску бумаги и тем придать воздушной прослойке между пластинками клинообразную форму.

Вместо описанного опыта можно произвести другой, раздав учащимся по паре стеклянных пластинок размером примерно $60 \text{ мм} \times 30 \text{ мм} \times 2 \text{ мм}$. Учащимся предлагается сжать пластинки сильно пальцами и наблюдать отражение от них натриевого пламени горелки. Учащиеся опять увидят чередование цветных и темных областей.

Так как нет никаких тел, загораживающих свет в предыдущих опытах, то возникновение темных полос может быть приписано только гашению света светом.

Припоминаются случаи заглушения звука звуком и уничтожения волн на поверхности воды (последнее явление вновь демонстрируется).

Подобное явление, получившее название *интерференции*, возможно только при наличии двух систем волн и невозможно при испускании двух потоков частиц.

Опыты позволяют сделать предварительный вывод: существует интерференция света; это свидетельствует о волновом характере распространения света.

Для понимания интерференции двух систем кольцевых волн, расходящихся по поверхности воды, полезно предложить учащимся изготовить чертеж, изображенный на рисунке 106.

Из двух близлежащих точек S_1 и S_2 , принимаемых за центры одновременно возникающих кольцевых волн одинакового периода, проводят два ряда дуг. Разность радиусов этих дуг принимается за половину длины волны.

Дуги по очереди вычерчиваются сплошными и штриховыми линиями. Колеблющиеся частицы, находящиеся на сплошных дугах, имеют одну и ту же фазу колебаний; частицы на штриховых дугах — тоже одинаковую фазу, но противоположную первой. В точках пересечения двух сплошных или двух штриховых дуг той и другой системы волн амплитуда колебания увеличивается; в точках пересечения сплошной дуги одной системы волн со штриховой другой системы колебания уничтожаются. По чертежу видно, что те и другие точки располагаются на прямых.

Здесь же необходимо сделать предупреждение, что первые опыты совершенно не указывают на то, что именно подвергается периодическим изменениям при распространении света. Во всяком случае, как будет выявлено впоследствии, у световых явлений, кроме периодичности, нет ничего общего со звуковыми или водяными волнами. Эти явления оказываются внешне похожими, но не тождественными.

Создав представление о волновой природе света, преподаватель переходит к дальнейшим опытам, углубляющим и обосновывающим это первоначальное представление.

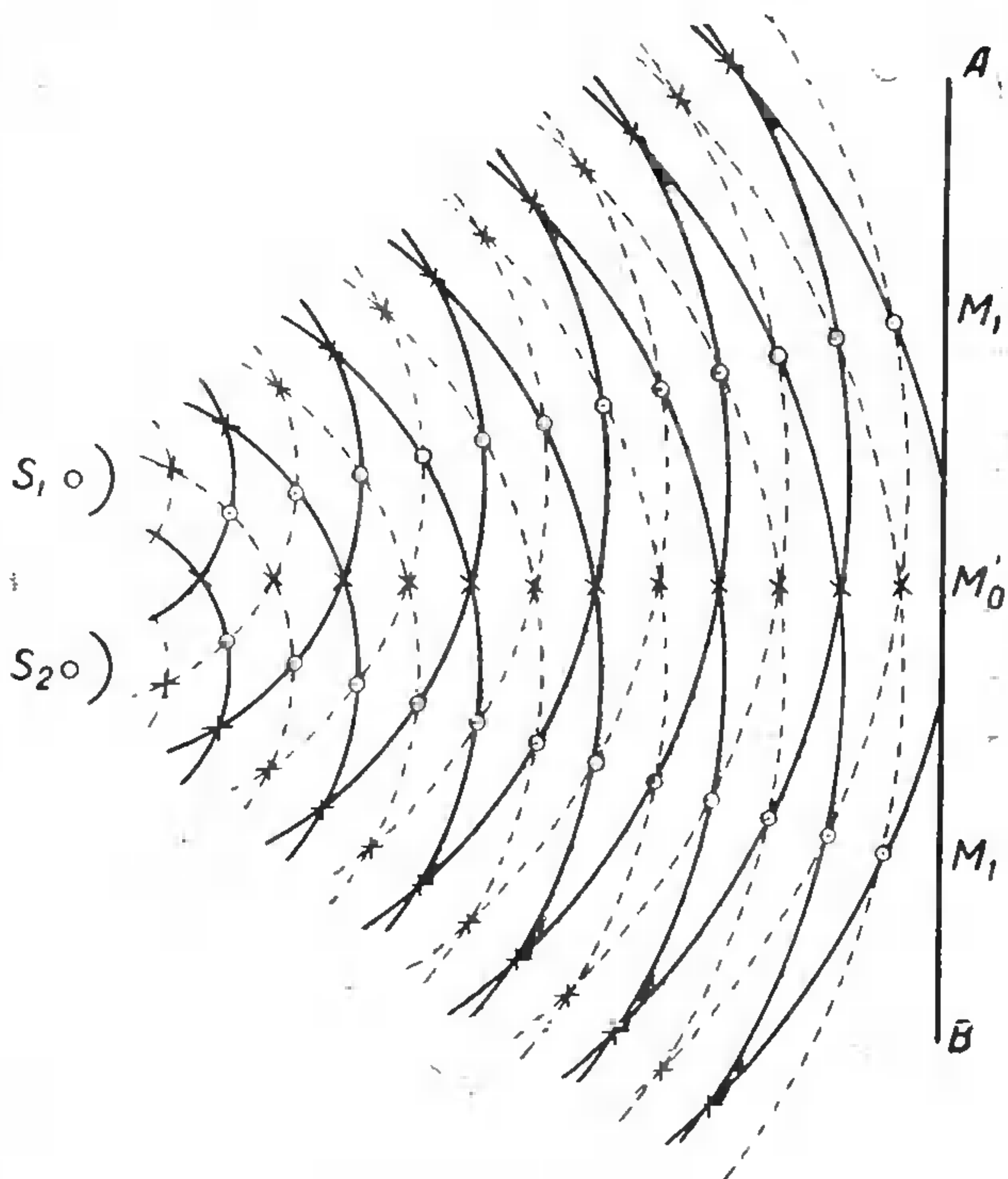


Рис. 106

Преподаватель получает на проволочном каркасе пленку мыльной воды, располагает пленку вертикально и освещает ее фонарем через красное стекло.

На пленке (в отраженных лучах) или на ее изображении на экране (в проходящих лучах) будут видны светлые и темные полосы. Так как нет никаких тел, отбрасывающих тень на пленку или экран, то темные полосы могут быть приписаны только гашению света светом.

Затем демонстрируется интерференция в виде так называемых колец Ньютона (описывается установка опыта). При освещении красным светом снова убеждаются в наличии освещенных и темных мест и каким-либо указателем отмечают размеры колец. Затем освещение производится зеленым или фиолетовым светом. Размеры колец изменяются. Из этого факта можно сделать вывод,

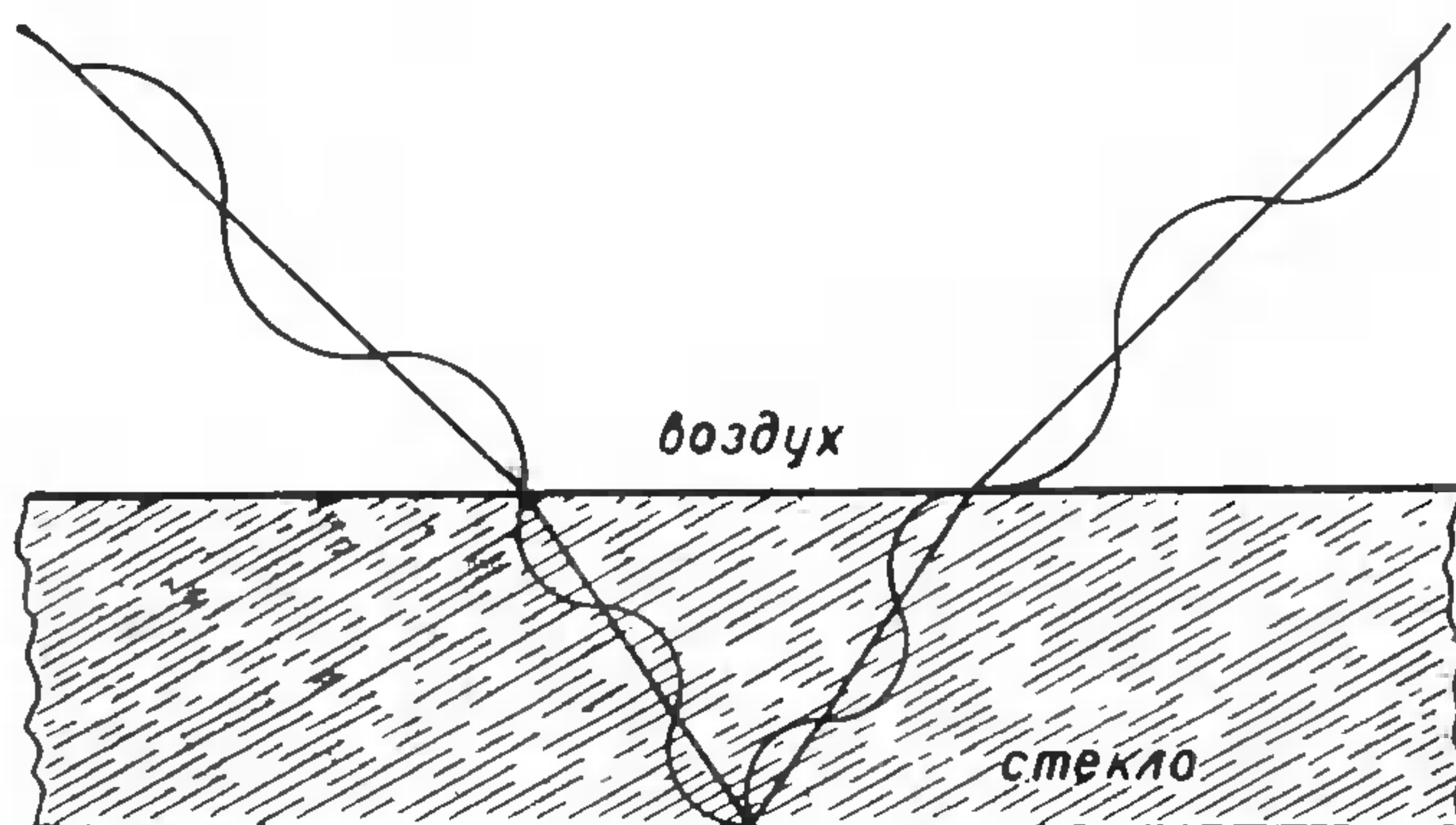


Рис. 107

что если действительно свет имеет волновую природу, то различные цвета характеризуются своей собственной длиной волны. Только в этом случае освещенные и темные кольца будут получаться различными по величине.

Предлагается учащимся сообразить, какая получится картина, если освещение произвести белым светом. После ответа производится освещение белым светом и получаются радужные кольца.

После произведенных демонстраций дается теоретическое объяснение цвета тонких пластинок на основании интерференции лучей.

При объяснении следует подчеркнуть, что скорости света в воздухе и веществе пластинки различны. Это обстоятельство на рисунках можно отметить, изобразив волны в виде синусоид разной длины (рис. 107)¹.

На протяжении разбора интерференции преподаватель должен сопоставлять волновую теорию с эмиссионной теорией света Ньютона и показать, какое значение имело явление интерференции для выбора между эмиссионной и волновой теориями.

¹ Рисунок воспроизводит рис. 67 и 68 «Методики» Знаменского,

Опыты необходимо дополнить наблюдениями интерференции в природе: радужная окраска тонких слоев масла или керосина, цветные полосы на старых стеклах и т. п.

Так как световые явления были сведены к волновым процессам, то необходимо предложить учащимся повторить из курса IX класса понятия об основных величинах, характеризующих колебательное и волновое движения.

3. Д и ф ф р а к ц и я с в е т а. При повторении волнового движения учащиеся вспоминают, что волновое движение сопровождается огибанием волнами малых препятствий при условии соизмеримости размеров препятствий с длиной волны, а также выходом волн за геометрические границы их распространения при прохождении волн через отверстия, соизмеримые с длиной волны. Эти явления огибания волнами краев препятствий получили название **д и ф ф р а к ц и и** волн.

Повторяется или вновь демонстрируется диффракция волн на поверхности воды и звуковых волн.

Естественно поставить вопрос, существует ли диффракция световых волн.

Демонстрируется диффракция от узкой щели. Учащимся раздаются узкие стеклянные пластинки, оклеенные станиолем, по которому бритвенным ножом сделаны один-два прореза (на расстоянии 0,5 мм). Вместо них можно раздать узкие пластинки, вырезанные из темного негатива, по которому также сделаны прорезы.

Учащимся предлагается направить прорезы перпендикулярно спиральке газополной светящейся лампы, сначала закрыв прорез цветным стеклом — красным или зеленым, затем — без стекла. В первом случае учащиеся наблюдают диффракцию в однородном свете, во втором — в белом.

Затем учащиеся наблюдают диффракцию при прохождении света через ткань, птичье перо, через пылевой слой плаунового семени, нанесенный на стеклянную пластинку, через прищуренные ресницы, диффракцию от тонкой проволоки.

Ввиду затруднительности показа диффракционных явлений одновременно всему классу можно дополнить классные опыты показом диапозитивов, изображающих диффракцию от круглого отверстия, от прямоугольной или клинообразной щели, от проволок различной толщины¹.

Опыты удостоверяют существование диффракции света и подтверждают волновую природу света.

Из диффракционных явлений в природе и технике и сопутствующих им явлений рассматриваются: диффракция солнечного света в промежутках густой листвы дерева, цвет крылышек и поверхности тел насекомых и некоторых животных, радуга, круги вокруг луны,

¹ Прибор и опыты по диффракции света описаны Т. И. Шаповаловой в журнале «Физика в школе» № 6, 1955 и в том же номере Н. М. Пазельской.

кольца вокруг солнца и луны, пределы разрешающей способности оптических приборов.

Действие диффракционной решетки исследуется подробно. Демонстрируются диффракционные явления от решеток с различными периодами, показывается диффракционный спектр, устанавливается его отличие от призматического и обосновывается его определение, как н о р м а л ь н о г о с п е к т р а.

Преподаватель рассказывает об определении длины световых волн при помощи диффракционной решетки и приводит данные относительно длины волн различной цветности.

Ставится лабораторная работа по определению длины световой волны при помощи диффракционной решетки или колец Ньютона.

4. П о л я р и з а ц и я с в е т а. Вне современной программы стоит вопрос о поляризации света. Но так как это явление важно для понимания природы света, то уделим место его рассмотрению.

Объединив ряд световых явлений на основе волновых представлений, естественно исследовать, какие колебания имеют место в световой волне — продольные или поперечные колебания, так как учащиеся при изучении других волновых явлений встречались как с тем, так и с другим видом колебаний.

Ответ на поставленный вопрос можно найти с помощью следующих опытов. Берут два поляроида — тончайшие пластинки любого прозрачного вещества, покрытые мелкими кристаллами герапатита (сернокислого йод-хинина¹), или прибор, изготавливаемый Главучтехпромом.

Сначала пропускают узкий пучок света через одну пластинку, получают на экране некоторую освещенность; затем пропускают тот же пучок через одну вторую пластинку, получают такую же освещенность; пропускают свет через обе пластинки, сложенные продольно, освещенность становится несколько слабее вследствие поглощения света двумя пластинками. Вращают одну пластинку относительно другой: освещенность экрана, соответствующая прохождению света через две пластинки, постепенно уменьшается и исчезает при скрещенном положении пластинок.

Опыт показывает, что луч, прошедший через первую пластинку, приобрел какое-то новое свойство.

Объяснению явления помогает грубая механическая модель двух деревянных решеток (рис. 108). Решетки ставятся вертикально; в промежутки между стержнями обеих решеток пропускается резиновая трубка, одним концом накрепко привязанная. В ней возбуждаются вертикальные поперечные колебания. Волна свободно проходит через обе решетки. При повороте второй решетки на 90° волна с поперечными колебаниями, прошедшая через первую решетку, задерживается второй.

Проверочный опыт: волны с продольными колебаниями пропускаются обеими решетками при любом их взаимном положении.

¹ Имеется в продаже.

Аналогия наводит на следующий вывод из опыта с поляроидами: световые колебания — поперечные колебания.

Преподаватель дает понятие о поляризации и поляризованном луче. Надо здесь подчеркнуть, что приведенная модель является только грубой моделью, показывающей различие между продольными и поперечными колебаниями, но ничего не говорящей о том, какова природа световых колебаний.

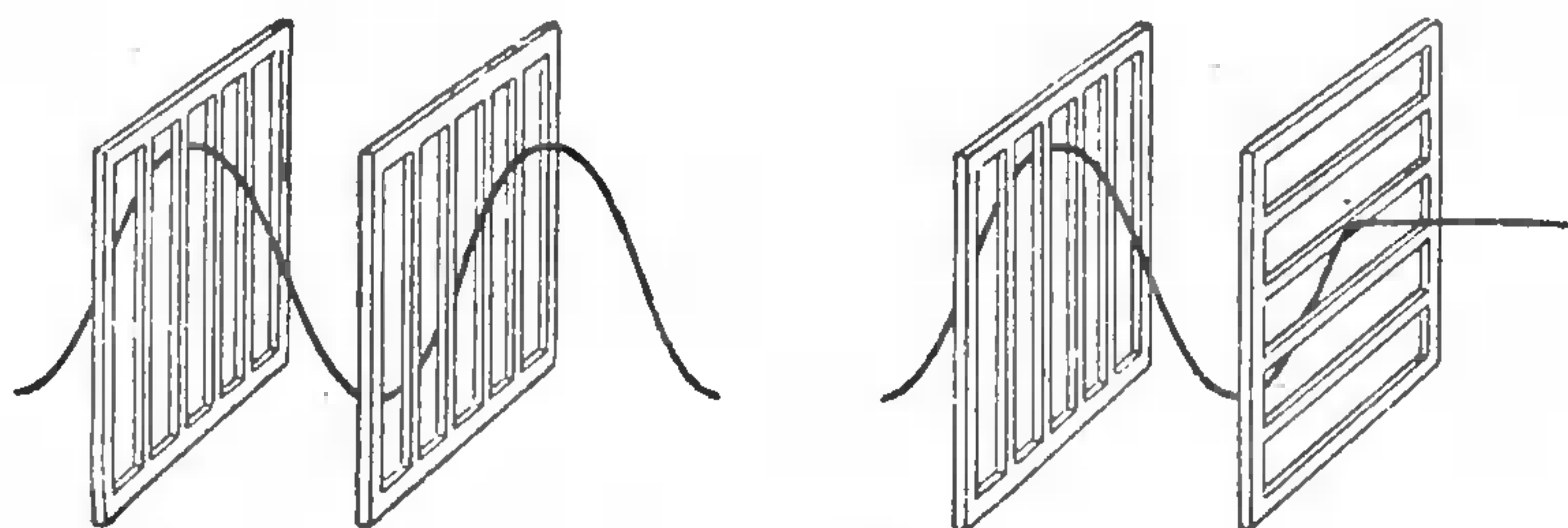


Рис. 108

Возникновение направленности колебаний носит название **поляризации**. Существование поляризации — признак **поперечности** колебаний.

Второй прибор, обнаруживающий поляризацию падающего на него луча, получает название анализатора, тогда как первый, вызывающий поляризацию, называется поляризатором. Затем дается определение поляризованного луча.

144. Дисперсия и излучение.

1. **Общие замечания.** Этот раздел курса вводит новые понятия об излучении и поглощении энергии телами, дает законы температурного излучения, обосновывает метод спектрального анализа, приводит результаты спектрального анализа из химической и астрономической областей, раскрывает противоречие между некоторыми световыми явлениями и волновой теорией, подводит к новой — квантовой теории света и заканчивается широким обобщением световых и других электромагнитных явлений на основе теории электромагнитных колебаний.

Так как содержание главы тесно связано с явлением дисперсии, то для прочности усвоения необходимо повторить основные опыты и объяснения по разложению белого света и сложению цветов, известные из курса VIII класса.

2. **Состав и источники белого света.** Собрав установку для опыта и начертив на доске ее схему, преподаватель при помощи установки получает спектр.

Так как выше было отмечено, что показатель преломления равен отношению скоростей света в пустоте и веществе, то различная преломляемость различных цветных лучей указывает на различную скорость распространения в веществе волн различной длины. Дис-

персия потому и происходит, что скорость волн различных периодов в рассматриваемом веществе неодинакова. Надо указать, у каких волн скорость наибольшая, у каких — наименьшая. Следует подчеркнуть, что показатель преломления вещества зависит не только от рода и состояния вещества, но и от рода лучей, через него проходящих, т. е. от длины волны; поэтому нет показателя преломления вещества вообще, а существуют показатели преломления каждой длины волны в данном веществе (приводятся примеры).

Так как показатели преломления волн одинаковой длины для разных веществ различны, то различны и длины отдельных частей спектров, полученных от призм из разных веществ (привести примеры).

Опыт по спектральному разложению белого света должен быть проверен противоположным опытом — сложением спектральных цветов.

Дисперсия белого света и синтез его доказывают, что белый свет — сложный, заключающий множество волн разной длины. Волны различных длин вызывают различные цветовые ощущения. В сплошном спектре белого света выделяют семь цветов.

После этих опытов можно рассказать о первых опытах Ньютона и отметить, от каких светящихся тел может быть получен сплошной спектр.

2. Невидимые части спектра. Вслед за исследованием видимой части спектра делается попытка обнаружить невидимые части спектра со стороны более длинных и более коротких волн.

Флюоресцирующий экран или фотографическая пластинка позволяют заключить, что имеется поток энергии за пределами фиолетового конца. Лучи, несущие энергию в этом месте общего потока энергии, невидимы и отличаются большей преломляемостью, чем фиолетовые. Эти лучи названы ультрафиолетовыми, т. е. сверхфиолетовыми.

Термостолбик, соединенный с гальванометром, или самодельный теплоприемник¹ помещается перед красным концом спектра. Прибор своим нагревом подтверждает присутствие потока энергии и в этой части² спектра, не воспринимаемой зрением.

Вывод: до красных лучей сплошного спектра имеются лучи невидимые и с меньшей преломляемостью, чем красные. Преподаватель

¹ Описание специального теплоприемника. Выбирается стеклянная пробирка с возможно более тонкими стенками ($l=15$ см, $D=3$ см). Внутри пробирки помещается гильза из черной глянцевої бумаги, покрытая густым налетом копоти. Гильза насаживается на пробковый диск, приклеенный к резиновой пробке, закрывающей пробирку. Как в пробковом диске, так и в резиновой пробке должно быть отверстие, через которое пропускается стеклянная трубочка. На наружный конец стеклянной трубочки насаживается резиновая трубка, другой конец которой присоединяется к горизонтальному показателю — к стеклянной трубке со столбиком подкрашенного керосина.

² Тепловое действие обнаруживают все лучи.

сообщает их название: инфракрасные лучи (т. е. предшествующие красным).

Таким образом, продемонстрировав наличие невидимых участков спектра, преподаватель расширяет первоначальное понятие о составе белого света (следовательно, и о составе сплошного спектра). Эти же опыты позволяют расширить представление об излучении.

Инфракрасные и ультрафиолетовые лучи обнаруживаются в призматическом и дифракционном спектрах. Это обстоятельство указывает на то, что невидимые лучи распространяются по тем же законам отражения, преломления, интерференции и дифракции, как и видимые лучи.

Преломление инфракрасных лучей можно показать на следующем простом опыте. Круглодонная колба наполняется раствором йода в сероуглероде, который поглощает все видимые лучи, но пропускает инфракрасные. Отверстие проекционного фонаря, из которого вынут конденсор, закрывают экраном, в прорез которого вставлена колба с раствором. Колба, подобно линзе, собирает инфракрасные лучи в фокусе. Помещенная в фокусе пироксилиновая вата вспыхивает (или помещенный там термометр нагревается).

3. В и д ы с п е к т р о в и с п у с к а н и я. Сплошной спектр получается от раскаленных твердых тел, жидкостей (расплавленные металлы) и газов при больших уплотнениях. Сплошной спектр сравнивается со спектрами тел в различных агрегатных состояниях и спектрами различных элементов. Демонстрируется спектр электрической дуги, в уголь которой, в просверленную сердцевину, вставляются железные, медные и другие металлические стержни. Для этих опытов лучше пользоваться спектроскопами прямого зрения или дифракционными решетками. Указанные спектры являются линейчатыми. Учащиеся знакомятся с некоторыми из них также при выполнении лабораторной работы.

Сопоставление линейчатых спектров со сплошным помогает убедиться в крестном различии этих двух видов спектров.

Линейчатые спектры представляют собой совокупность определенных цветных лучей различной длины волны, пространственно разделенных между собой. Источниками линейчатых спектров могут быть раскаленные газы и пары при небольших собственных плотностях. Надо показать типичные линейчатые спектры. Надо упомянуть о полосатых спектрах, свойственных химическим соединениям, и противопоставить полосатые молекулярные спектры линейчатому атомному.

Попутно при изучении спектров объясняется устройство спектроскопа и вычерчивается ход лучей в нем.

4. З а к о н ы и з л у ч е н и я¹. Надо отметить с самого начала, что законы излучения найдены для абсолютно черного тела.

¹ Тема не включена в программу и может быть разобрана на внеклассных занятиях.

Не ограничиваясь определением абсолютно черного тела, надо показать модели его: цилиндр, выстланный внутри черной бумагой, с малым отверстием в основании; внутренность глаза и т. п.

Очень важно показать учащимся, что абсолютно черное тело излучает и даже может испускать видимые лучи. Для этой цели удобно пользоваться электрической печью в виде цилиндра с отверстием. Повышая силу тока, можно докрасна накаливать внутренность

этого цилиндра, который по определению может служить моделью абсолютно черного тела.

При изложении этого вопроса надо пользоваться таблицами или диапозитивами, изображающими кривые распределения энергии по длинам волн при разных температурах для абсолютно черного тела, таблицей распределений энергии в солнечном спектре (рис. 109) и др.

Разбирая зависимость излучения от температуры, надо подчеркнуть, что красное каление, наблюдаемое при температуре около 500° (так же, как и другие цвета, наблюдаемые при других соответствующих температурах),

становится для нас видимым не потому, что, начиная с этой температуры, тело впервые испускает волны видимого красного участка спектра (или соответственно других участков спектра), а потому, что эти волны, испускаемые и при низших температурах, при указанной температуре становятся настолько интенсивными, что начинают действовать на глаз.

Следует сообщить о законах С т е ф а н а — Б о л ь ц м а н а и В и н а.

5. С п е к т р ы п о г л о щ е н и я. Уже в VIII классе учащимся были показаны спектры, полученные после прохождения света через поглощающие среды. Для полноты изложения придется повторить эти опыты. Опираясь на них, надо подчеркнуть мысль об избирательном поглощении света веществами.

В XI классе понятие о прозрачности тел следует расширить на случай невидимого излучения. Особенно отмечается, что понятие прозрачности тел должно использоваться не вообще, а конкретно: можно говорить о прозрачности данного вещества только по отношению к волнам определенной длины. Надо привести примеры прозрачных и непрозрачных тел для разных видов излучения.

От поглощения света несветящимися телами преподаватель переходит к поглощению светящимися газами и парами. Демонстри-

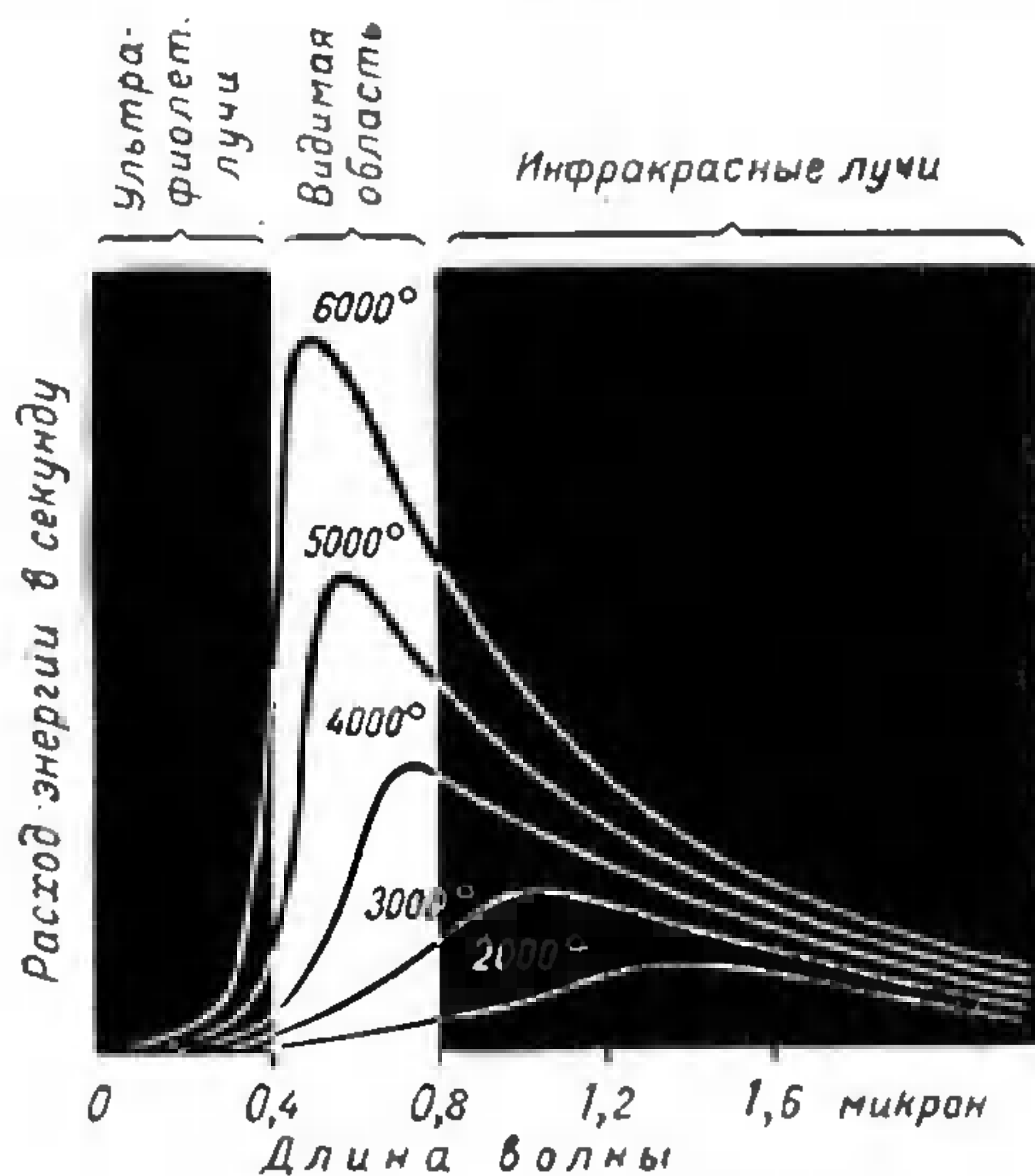


Рис. 109

руется спектр поглощения раскаленных паров натрия. Необходимо также показать на таблицах спектры поглощения паров и газов. Опыт с парами натрия и таблицы спектров испускания и поглощения газов позволят подчеркнуть их обратимость.

Обратимость спектров подводит к общей формулировке закона Кирхгофа для испускания и поглощения. Закон дается без математического вывода, как обобщение явлений, ряд которых учащимся был продемонстрирован.

В заключение обзора дается объяснение обратимости спектров на основании резонанса. Сопоставляются испускательная и поглощательная способности тел.

6. С п е к т р С о л н ц а. Показывается на таблице (или через спектроскоп прямого зрения) спектр Солнца, отмечаются фраунгоферовы линии и дается объяснение их. Солнечный спектр — спектр поглощения. Не забыть отметить здесь, что в момент полного солнечного затмения темные линии солнечного спектра обращаются в цветные. Учащиеся теперь сами могут объяснить такое обращение.

В зависимости от времени и по соглашению с преподавателем астрономии преподаватель физики рассказывает с большими или меньшими подробностями, как можно по спектрам судить о составе и движении небесных тел.

7. С п е к т р а л ь н ы й а н а л и з. После того как изучены спектры испускания и поглощения, переходят к знакомству со спектральным анализом. Рассматривается устройство спектроскопа. Затем разбирается значение спектрального анализа для химии. Он позволяет определить присутствие в телах ничтожных количеств вещества, что сделать другими методами почти невозможно.

С его помощью определяют относительный количественный состав входящих в соединение элементов.

Эти основные черты спектрального анализа иллюстрируются примерами и историческими данными.

Выясняется значение спектрального анализа для науки и техники, в частности для астрофизики.

8. Р е н т г е н о в с к и е л у ч и. Преподаватель напоминает, что еще при изучении потока электронов (так называемых катодных лучей) было сделано указание, что от внезапной остановки летящих электронов при их ударе о препятствие возникает новый вид излучения.

Эти лучи были открыты в 1895 г. Р е н т г е н о м и получили название рентгеновских.

а) Рентгеновские лучи не отклоняются ни магнитным, ни электрическим полем, поэтому они не представляют потока электрических частиц, а подобны световым лучам.

б) Они и о н и з и р у ю т газы. Надо показать разряжение под их воздействием заряженного электроскопа.

в) Они вызывают с в е ч е н и е различных веществ. Показать свечение экрана, покрытого платиново-синеродистым барием.

г) Они действуют на фотографическую пластинку. Во время урока должны быть показаны различные рентгенограммы.

д) Обладают сильной проникающей способностью. По тени на светящемся экране надо показать различную степень проникновения их через свинец, алюминий, другие металлы, клетчатку, дерево, кости, ткани. Интересно обнаружить содержимое закрытого деревянного ящика, в котором находятся предметы из различных веществ, и показать кости запястья учащегося. Надо обстоятельно выяснить использование этого свойства в технике и медицине (рентгентехника).

е) Они испытывают диффузное отражение от зеркал, преломление и полное отражение: они поляризуются и диффрагируют. Диффракция их наблюдается на пространственной решетке кристалла. Полученные рентгенограммы кристаллов позволили русскому ученому Юрию Викторовичу Вульффу (1863—1925) изучить строение пространственных решеток кристаллов.

ж) Они производят физиологическое действие, об использовании которого в медицине надо рассказать.

з) Наконец надо отметить отношение рентгеновского излучения к ранее изученным видам излучения и сравнить длины волн и частоты известных излучений.

Конечно, надо показать трубки Рентгена, Кулиджа, рассказать об их устройстве и о рентгеновских установках. Надо отметить, что поскольку в трубке с подогревным катодом происходит несамостоятельный разряд в разреженном газе, то она может работать при меньшем напряжении, чем рентгеновская трубка.

Следует собрать в физическом кабинете коллекцию рентгеновских снимков.

9. Электромагнитная теория света. Заканчивая учение о волновых свойствах света, надо дать краткий исторический обзор существовавших теорий света.

В этом историческом обзоре должны быть отмечены следующие положения. Первая наиболее полная теория света была создана Ньютоном. Основываясь на своих работах по оптике, он с единой точки зрения объяснил явления прямолинейного распространения света, отражения, преломления, дисперсии. Ньютон выдвинул гипотезу о существовании частиц особой светонесущей материи, летящих от источника света по всем направлениям прямолинейно. Эта теория получила название эмиссионной. По эмиссионной теории скорость распространения света в любом веществе должна бы быть больше, чем скорость в пустоте.

Ньютон допускал также возможность объяснения световых явлений на основе волнового движения, но не развил этой идеи.

Высокий научный авторитет Ньютона в глазах его учеников и последователей привел к тому, что эмиссионная теория, или теория истечения, безраздельно утвердилась в науке.

Надо отметить, что в том же XVIII в. были противники теории истечения и среди них русские академики Ломоносов и Эйлер. Ломоносов разрабатывал волновую теорию.

В первой четверти XIX в. на основе волновых представлений Юнг дал простое объяснение интерференции света, затем Френель объяснил многие явления, в том числе и прямолинейность распространения света, считая, что свет — это проявление поперечных колебаний в упругой среде.

Окончательный удар теории истечения нанесли измерения Фуко скорости света в воде, которая оказалась в $\frac{4}{3}$ раза меньше, чем в пустоте, в полном согласии с волновой теорией и в противоречии с теорией истечения.

Но во время наибольшего торжества волновой теории стал назревать ее кризис. Оказались несовместимыми два основных положения этой теории: упругость светонесущей среды, превосходящая упругость стали (что вытекало из сотен миллиардов колебаний в секунду в световой волне), и исчезающе малая плотность среды (вытекающая из тысячелетней ненарушимости движения планет в этой среде).

Противоречие было устранено в третьей четверти XIX в. Максвеллом, принявшим, что световые явления вызываются волнообразным распространением колебаний векторов напряженности электрического и магнитного полей, перпендикулярных к направлению распространения волны.

Так была выдвинута и получила признание электромагнитная теория света.

Надо собрать те факты, которые указывают на связь электромагнитных и световых явлений, а именно: одинаковая скорость распространения в пустоте световых и электромагнитных волн; связь между показателем преломления и диэлектрической проницаемостью веществ для данной длины волны; изменение длин волн при помещении источника света в сильное магнитное поле (явление, открытое Зееманом); изменение длин волн при помещении источника света в электрическое поле (явление, открытое Штарком); вращение плоскости поляризации светового луча прозрачными веществами, помещенными в магнитное поле (явление, открытое Фарадеем); изменение плоскости поляризации светового луча при отражении его от поверхности намагниченного тела; наконец, выделение электронов при падении на тело световой энергии (фотоэффект, исследованный Столетовым).

С историей оптических теорий можно познакомиться по сочинениям, посвященным истории физики, и по следующим книгам:

Г. С. Ландсберг, Оптика, ГИТТЛ, М.—Л., 1940 глава I «Основные этапы развития оптики».

Р. Вуд, Физическая оптика, ОНТИ, 1936, глава I, стр. 17—22.

П. С. Кудрявцев, История физики, Учпедгиз, 1948. «Оптические исследования Ньютона», стр. 202—209, «Оптика Гюйгенса», стр. 209—210.

10. О б з о р э л е к т р о м а г н и т н ы х к о л е б а н и й. За обзором световых теорий должен следовать еще более широкий по охвату обзор всех электромагнитных колебаний. Физический кабинет должен иметь таблицу шкалы электромагнитных колебаний, составленную профессором Д. Д. Г а л а н и н ы м и изданную Учпедгизом, или заказать рисунок по ее образцу.

За неимением такой таблицы следует самим изготовить таблицу, содержащую названия восьми областей волн, на которые делится шкала, длины соответствующих волн и частоты колебаний.

Надо отметить работы русской ученой Александры Андреевны Глаголевой-Аркадьевой, сумевшей получить волны, перекрывающие на шкале электромагнитных волн участок между самыми длинными инфракрасными волнами и самыми короткими волнами, возбуждаемыми обычно электрическими методами.

Электромагнитные волны в разных областях шкалы отличаются друг от друга по способу, каким они возбуждаются, а также по средствам, при помощи которых они проще всего обнаруживаются. При всем своем различии они все имеют единую электромагнитную природу.

В этом явлении природы, как и в других явлениях, обнаруживается великий диалектический принцип: единство в многообразии.

Кроме того, прослеживая шкалу волн, мы видим постоянный переход количества в качество: количественное изменение длины волны приводит к приобретению ею нового качества — иного воздействия на тела.

При обзоре шкалы электромагнитных волн шкала в виде таблицы должна быть выставлена в классе.

145. Действия света.

1. О б щ и е з а м е ч а н и я. Заключительная тема по оптике, несмотря на малое число часов, рекомендуемое программой на ее изучение, имеет громадное значение в методологическом и политехническом отношениях. Она дает окончательное экспериментальное обоснование одному из существенных понятий современной физики — световому кванту — и современной теории света, представляющей синтез корпускулярной и волновой теорий. Она же служит основой таких всеобъемлющих технических изобретений, как фотоэлементы, фотореле, люминесцентные лампы, звуковое кино.

На первом уроке преподаватель обобщает наблюдение учащихся относительно того, что энергия света, падающего на тело, вообще может распадаться на три части: одна часть отражается от тела, другая — поглощается, третья — пропускается.

Действия света могут проявляться в следующих четырех формах: фотоэлектрической, фотохимической, световой (с изменением частоты световых колебаний) и механической.

2. **Фотоелектрическое действие.** После классификации действий света преподаватель переходит к фотоэлектрическому эффекту, его природе и работам знаменитого русского ученого А. Г. Столетова, открывшего закономерности фотоэффекта.

3. **Понятие о световом кванте.** Второй урок посвящается обоснованию введения понятия о световом кванте (на примере фотоэффекта), раскрытию значения квантования света и сообщению о теории фотоэффекта Эйнштейна.

Свой рассказ преподаватель может строить на материалах из Элем. учеб., ч. III, § 177—180 и школьного учебника (ч. III, § 183, 184).

После усвоения понятия о световом кванте учащимся будет интересно познакомиться со сравнением, приведенным академиком О. Д. Хвольсоном: кванты красных лучей — это поток мелкой дроби; кванты фиолетовых лучей — поток ружейных пуль; кванты лучей Рентгена — поток пушечных ядер возрастающего калибра; кванты гамма-лучей — снаряды осадных орудий.

Рассмотрению технического использования фотоэлектрического эффекта в фотоэлементах и фотореле можно уделить следующий урок или отнести его на последний урок по теме с подготовкой силами учащихся демонстраций и докладов¹.

4. **Фотохимическое действие.** Отдельный урок уделяется изучению химического действия света во всех его разнообразных видах. Следует рассмотреть химическое действие, происходящее при поглощении света растениями (органический синтез под действием света); окисление (смолы меняют окраску; выцветание тканей); соединение (хлор и водород на свету соединяются в хлористый водород); разложение (перекись водорода на свету разлагается на кислород и воду); разложение галоидных солей серебра с выделением металлического серебра после обработки определенными веществами (один из основных процессов фотографирования); молекулярные изменения (белый фосфор при освещении переходит в красный, аморфный селен в кристаллический).

При разборе химических действий света надо подчеркнуть, что при фотохимическом преобразовании каждая молекула поглощает или отдает энергию в размере целого числа квантов света.

Из технических применений фотохимического действия наиболее подробно излагается фотографирование.

5. **Фотолюминесценция.** Отдельный урок посвящается фотолюминесценции, т. е. испусканию телами света большей длины волны, чем поглощенный ими свет.

¹ С. Э. Фриш и А. В. Тиморева, Курс общей физики, т. III, стр. 507, 508, рис. 315.

Преподаватель показывает разнообразные опыты по фотолюминесценции, описанные в учебниках, и дает объяснение явления с точки зрения квантовых представлений (Элем. учеб., ч. III, § 183). Из технических применений рассматривается устройство люминесцентных ламп (желательно их показать) и дается понятие о люминесцентном анализе, получившем в настоящее время весьма широкое распространение и большое техническое значение (Элем. учеб., § 184).

6. М е х а н и ч е с к о е д е й с т в и е (д а в л е н и е) с в е т а. Один урок посвящается описанию измерения давления света, осуществленного знаменитым русским физиком П. Н. Лебедевым в 1899 и в 1909 годах (Пер. III, § 19).

7. С в е т — о с о б а я ф о р м а м а т е р и и. Обзор действий света надо закончить обобщающим выводом.

Давление света на поверхность тела означает, что свет несет с собой некоторое количество движения (импульс), подобно тому, как отражающаяся от стенки сосуда молекула, передавая стенке некоторое количество движения, оказывает на нее определенное давление¹.

Все рассмотренные действия света указывают на то, что свет несет с собой и энергию.

Но наличие энергии и количества движения связаны с наличием массы. Таким образом, получается вывод, что свет обладает массой. Опыты П. Н. Л е б е д е в а экспериментально подтвердили взаимосвязь энергии и массы.

Признание массы у светового кванта приводит к следствию, что световые кванты—фотоны—должны притягиваться телами. Действительно, такое притяжение было измерено во время солнечных затмений на лучах от звезд, проходящих возле края Солнца: положение звезд оказывалось отклоненным сравнительно с ранее произведенными наблюдениями.

Таким образом, свет представляет собой материю со всеми ее свойствами (массой, энергией, количеством движения), но материю особого рода, так как в отличие от материи, представленной веществом—молекулами, атомами, элементарными частицами,—фотоны не имеют массы покоя и движутся со скоростью света.

8. Д в а в и д а м а т е р и и — в е щ е с т в о и п о л е. Можно привести сопоставление вещества и поля (свет—явление электромагнитного поля²), сделанное в статьях академика С. И. Вавилова³.

«Существующий материальный мир—движущаяся материя—представляется нам в двух основных формах—как вещество и свет».

¹ Элем. учеб., ч. III, стр. 379.

² См. § 144, 10.

³ С. И. В а в и л о в, Глаз и Солнце, изд. 7, изд-во Академии наук СССР, М., 1956.

Каковы же отличия поля от вещества? Характерным для вещества является то, что оно обладает так называемой «массой покоя»: даже находясь в относительном покое, частицы вещества — электроны, протоны, нейтроны, позитроны и т. д. — обладают вполне определенной для каждой из них массой. Частицы поля — фотоны — «массой покоя» не обладают. Наличие «массы покоя» у частиц вещества означает наличие у них огромных концентраций энергии, так как масса неразрывно связана с энергией. С другой стороны, частицы вещества в отличие от частиц света могут двигаться с любыми скоростями — от очень малых (или равных нулю — в случае относительного покоя) до очень больших, приближающихся к максимальной скорости — 300 тысяч км/сек. Напротив, частицы света могут двигаться в вакууме лишь с одной единственной максимальной скоростью, равной 300 тысячам км/сек, а в средах — со скоростью, вполне определенной для каждой среды, близкой к скорости в вакууме.

«Таким образом, веществом следует называть тот вид материи, который, помимо массы и энергии, характеризуется громадной концентрацией той и другой и возможностью любых скоростей» (С. И. В а в и л о в, «Развитие идей веществ», журн. «Под знаменем марксизма», № 2, 97, 1941).

Однако, несмотря на наличие некоторых качественно специфических черт, отличающих вещество и свет друг от друга, свет и вещество нельзя резко обособлять друг от друга. Грань между ними, указывает Вавилов, условна и относительна, как вообще условны и относительны все грани в природе. Самый факт превращения поля в вещество и вещества в поле свидетельствует о их внутренней близости, о взаимной связи и о неразрывности их существования. Нет вещества, которое не было бы связано с тем или другим полем; поле в свою очередь не существует без вещества. Как вещество, так и поле обладает энергией и массой, корпускулярными и волновыми свойствами.

【ЛИТЕРАТУРА.

1. Г. С и м о н и Р. З у р м а н, Фотоэлементы и их применение, ОНТИ, Главная редакция общетехнической литературы, М.—Л., 1936.
2. С. Д. К л е м е н т ь е в, Фотоэффект и его технические применения, Учпедгиз, 1955.
3. С. О. М а й з е л ь, Новые источники света, Воениздат, М., 1948.
4. И. Л. О р е с т о в, Холодный свет, ГИГТЛ, 1955.
5. «Люди русской науки» ОГИЗ, т. I, 1948 (Столетов — стр. 133—142, Лебедев — стр. 241—249).
6. В. Д. З е р н о в, Петр Николаевич Лебедев. Ученые записки Московского университета, Юбилейная сессия, вып. 2, 1940.
7. Н. А. К а п ц о в, Школа Петра Николаевича Лебедева. Ученые записки Московского университета, Юбилейная сессия, вып. 2, 1940.
8. И. И. А р т о б о л е в с к и й, Выдающийся советский ученый и общественный деятель Сергей Иванович Вавилов. издание «Правда», М., 1951.
9. Э. В. Ш п о л ь с к и й, Сергей Иванович Вавилов, Сборник статей, посвященный памяти С. И. Вавилова, ГИТТЛ, 1951.
10. П. С. К у д р я в ц е в, История физики, Учпедгиз, ч. 2, 1956.

СТРОЕНИЕ АТОМА.

146. Предварительные замечания.

1. Курс физики в средней школе заканчивается изучением раздела «Строение атома», имеющего так же, как и другие разделы, большое познавательное и политехническое значение. Громадные успехи современной физики, позволяющие разрешить проблему использования внутриядерной энергии для мирных целей, настоятельно требуют ознакомить учащихся в доступной форме с важнейшими положениями атомной физики.

2. Вопрос об атомной энергии уже давно перестал быть чисто научной проблемой. Это и вопрос большого политического значения. В вопросе о применении атомной энергии как в зеркале отразилась борьба двух лагерей. Лагерь империализма, возглавляемый США, стремится использовать открытия многих ученых мира для создания средств массового уничтожения людей; лагерь социализма, возглавляемый СССР, направляет свои усилия для использования внутриядерной энергии для мирных целей, для улучшения жизни человека, для быстрого построения коммунистического общества. Поэтому изучение этого раздела имеет большое воспитательное значение.

3. При изложении данной темы в средней школе встречается ряд методических трудностей.

При изложении этого раздела в средней школе имеется возможность остановиться лишь на наиболее существенных, наиболее важных свойствах атома. Атомная физика является одной из самых трудных областей физических знаний. В атомной физике приходится иметь дело с явлениями, в которых проявляются волновые свойства вещества и частицы имеют громадные скорости. Рассмотрение таких явлений требует применения релятивистской квантовой механики. Отсюда следует задача — изложить наиболее важные атомные явления в доступной для учащихся форме, не впадая в вульгаризацию. Успешное усвоение учащимися раздела «Строение атома» во многом зависит от того, как глубоко были изучены учащимися ранее пройденные разделы курса физики. Кроме того, многие вопросы, связанные со строением атома, изучаются по курсу химии. Поэтому преподавание физики должно быть согласовано с преподаванием химии, в особенности при изложении данной темы.

Трудности изложения данного раздела обусловлены еще и тем обстоятельством, что школа ограничена демонстрационной аппаратурой по этому важному разделу. Единственным прибором, которым располагает учитель, это — действующая модель камеры Вильсона. Поэтому при изложении этого раздела учителю необходимо заранее подготовить всевозможный иллюстративный материал (диапозитивы, плакаты, схемы, кинофильм), помогающий уяснить сущность различных атомных явлений.

147. Явления, обнаруживающие сложное строение атома.

На первом уроке надо показать, какие понятия о строении атома учащиеся могут составить, опираясь на полученные ими знания по курсу физики и химии. При этом следует дать краткий исторический очерк развития представлений о строении вещества, начиная с атомистической теории Демокрита и переходя затем ко взглядам материалистов XVII и XVIII веков, в частности ко взгляду М. В. Ломоносова. Подробно следует остановиться на периодической системе Д. И. Менделеева.

Далее рассматриваются явления, позволяющие судить о составе атома. Это в первую очередь явление электризации трением, затем электризация через влияние, электролиз, термоэлектронные явления, катодные и рентгеновские лучи, фотоэффект. Все перечисленные явления с несомненностью показывают, что независимо от физико-химических свойств различных веществ в атоме любого вещества содержатся электроны. При этом следует подчеркнуть, что величина массы и заряд электрона, измеренные в различных явлениях и полученные из различных веществ, одинаковы.

148. Радиоактивность.

Первые сведения о внутриатомной энергии были получены около 60-ти лет назад. Надо рассказать, как было обнаружено, что некоторые элементы — уран, радий, полоний и др. — испускают невидимые глазом лучи.

Преподаватель перечисляет свойства, которыми обладают радиоактивные вещества и благодаря которым их можно обнаружить. 1. Действие на фотографическую пластинку. 2. Возбуждение люминесценции. 3. Разряжение заряженных тел (показать опыт с электроскопом). 4. Ионизация газов (воздуха). 5. Повышение температуры окружающих тел. 6. Разрушение живых клеток (уничтожение болезнетворных клеток, а при длительном действии и нормальных). Далее рассматривается состав радиоактивного излучения и свойства альфа-частиц, бета-частиц и гамма-лучей. Этот обзор сопровождается разбором способов наблюдения частиц, причем демонстрируется камера Вильсона с объяснением ее действия. К наиболее важным свойствам радиоактивных веществ следует отнести их способность непрерывно выделять энергию. Из измерений установлено, что 1 грамм радия выделяет около 140 калорий в час. Такое выделение энергии происходит на протяжении очень большого промежутка времени. Самое удивительное, что при этом сам радий как будто не изменяется. Через сутки, неделю, месяц, год, 10 лет грамм радия все так же испускает ежечасно около 140 калорий. Энергия, выделяемая за 10 лет, громадна, а радий остается таким, как был, и продолжает непрерывно излучать энергию. Казалось, что явление радиоактивности противоречит основному закону природы — закону сохранения энергии. Это кажущее-

еся нарушение закона сохранения энергии было не единственной загадкой, поставленной явлением радиоактивности перед наукой XX века. Вторая загадка была не проще. Науке было хорошо известно, что в периодической системе Менделеева имеется 92 элемента, из которых образованы все окружающие нас тела. До открытия явления радиоактивности основное положение химии состояло в том, что взаимные превращения элементов невозможны. И вот оказалось, что в образцах, обладающих радиоактивностью, появляются элементы, которых там раньше заведомо не было. Это означало, что радиоактивные процессы сопровождаются превращением элементов, чего наука XIX века не признавала. Для того чтобы использовать радиоактивные вещества как источники энергии для практических целей, необходимо, чтобы они выделяли энергию не малыми порциями, а в таких количествах, какие необходимы человеку. Многочисленные исследования показали, что никакие химические и физические воздействия на радиоактивные вещества (нагревание до высоких температур, высокие давления, воздействие сильных электрических и магнитных полей) не могут ни ослабить, ни усилить радиоактивный распад. Следовательно, непосредственное использование естественного радиоактивного распада как практического источника энергии невозможно. С другой стороны, эти же исследования свидетельствуют о том, что радиоактивные излучения являются вестником о процессах, протекающих в глубоких недрах вещества.

149. Строение атома, ядро и электронная оболочка.

Разбор опытов Резерфорда по прохождению альфа-частиц через пластинку из золотой фольги дает возможность ответить на вопрос: как же расположены в атоме составляющие его отрицательно и положительно заряженные частицы?

Эти опыты дали возможность не только создать планетарную модель атома, но и рассчитать величину заряда и размер ядра атома. Очень важно обратить внимание учащихся на относительные размеры атома (10^{-8} см) и ядра (10^{-12} см). Для того чтобы учащиеся лучше себе представили относительные размеры, можно привести такой пример. Если атом представить в виде шара диаметром в 5 км, тогда ядро его имело бы размеры небольшого яблока, расположенного в центре этого большого шара. Сообщается, что масса электрона примерно в 1840 раз меньше массы ядра легчайшего атома — атома водорода. Отсюда они могут заключить, что так как электроны обладают ничтожно малой массой, то практически вся масса атома сосредоточена в его ядре. Следовательно, объем, занимаемый различными телами, крайне неравномерно заполнен веществом. Для того чтобы учащиеся могли яснее это себе представить, следует рассмотреть, в каком объеме сконцентрировано все вещество, образующее кубический метр одного из самых тяжелых металлов — платины. Один кубический метр платины весит 21,5 тонны

и почти вся эта масса сосредоточена в ядрах атомов платины. Но если было бы возможно сложить все эти ядра вплотную друг к другу, то они заняли бы объем в несколько тысячных долей кубического миллиметра (рис. 110).

Отсюда следует, что ядра атомов представляют собой вещество с необычайно большой плотностью.

Затем следует вскрыть недостатки модели атома Резерфорда и показать, что классическая физика не смогла объяснить ни устойчивости атома, ни процесса излучения. После этого следует показать, как в модели атома Бора устраняются недостатки модели Резерфорда и как эта модель позволяет объяснить явления поглощения атомом энергии и излучения.

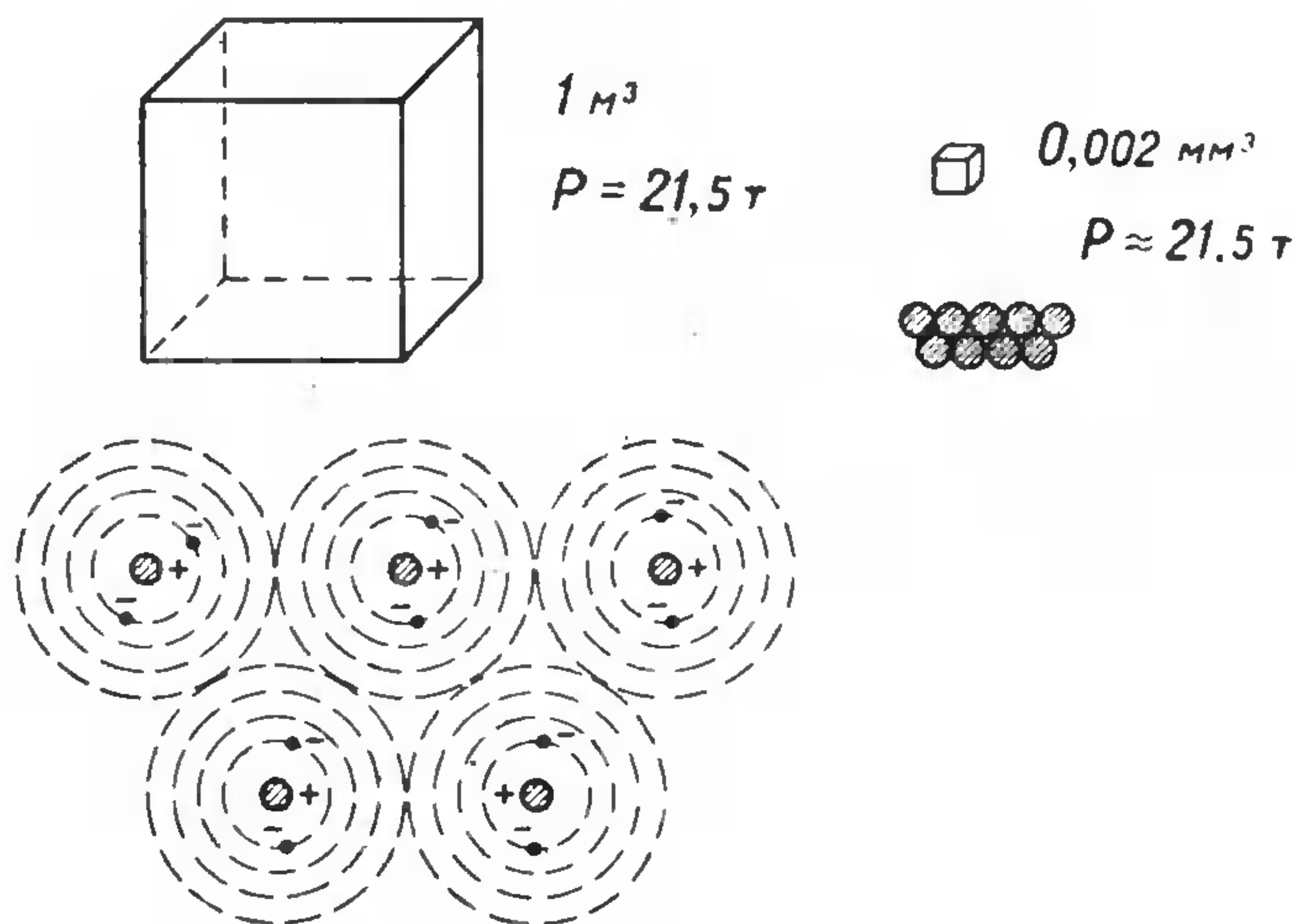


Рис. 110

Окончательно закрепляется у учащихся понятие о строении атома из ядра и электронной оболочки (§ 192 учеб. и рис. 340). В результате учащиеся должны твердо знать, что атом имеет ядро и электронную оболочку (§ 195 и рис. 346, Пер. III).

150. Строение атомного ядра.

Преподаватель сообщает, что начало исследованию строения атомного ядра положено опытами Резерфорда в 1919 году. В этих опытах альфа-частицы одного из радиоактивных веществ, летящие со скоростью около $20\,000 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$, направлялись на некоторые вещества с малым атомным весом. Наблюдения над ними велись при помощи камеры Вильсона. Резерфордом и последующими учеными были изучены фотографии, содержащие свыше 400 000 треков (траекторий) альфа-частиц. Сообщаются результаты исследований: на некоторых снимках были видны «вилки» треков, у которых одна ветвь

была тонкой и длинной, другая — толстой и короткой. Первая могла быть вызвана, судя по измерениям, только частицей, масса которой может быть принята за единицу атомной массы и заряд которой равен единице положительного элементарного заряда. Эта частица (ядро водорода) носит название протона. Далее рассказывается об открытии Ирэн и Фредериком Жолио-Кюри нейтрона и об общепризнанной теперь гипотезе русского ученого Д. Д. Иваненко о строении ядер из нейтронов и протонов.

Нейтроны и протоны удерживаются в ядре особыми ядерными силами, имеющими громадную величину по сравнению с электрическими силами. Поэтому в ядре сосредоточены огромные запасы энергии.

151. Деление ядер урана.

При радиоактивном распаде происходит освобождение внутриядерной энергии, превращение ее в кинетическую энергию вылетающих частиц и в энергию гамма-излучения.

Практическое использование энергии атомного ядра при искусственном расщеплении его путем бомбардировки возможно лишь в том случае, если высвобождаемая энергия превышает затраченную на расщепление.

Опыт показывает, что энергия, выделяющаяся при расщеплении ядра, намного меньше той энергии, которую приходится затратить на бомбардировку вещества, прежде чем одна частица попадет в цель — ядро. Поэтому все обычные ядерные реакции оказываются в конечном счете энергетически невыгодными. Исключение из всех реакций расщепления составляет деление ядер урана, так называемая «ядерная реакция деления».

Далее подробно объясняется «цепная реакция» (рис. 353, Пер. III), осуществление ее в «урановых котлах» и рассказывается об использовании в СССР атомной энергии на атомных электростанциях, на атомоходах, на которых устанавливается атомный двигатель, и в других намечаемых сооружениях.

152. Использование атомной энергии в мирных целях.

Высвобождение атомной энергии с помощью цепной реакции распада урана или плутония — это лишь начало, лишь первые шаги новой ядерной энергетики. Процесс распада высвобождает меньше 0,1 процента энергии атомного ядра. При этом используется энергия ядер очень редкого и трудно доступного элемента — урана. Между тем ядерная энергия заключена во всех окружающих нас телах и запасы ее неисчерпаемы.

Надо противопоставить использование атомной энергии для мирного строительства в СССР использованию ее в империалистических государствах, главным образом в США, где основные усилия в этой области были направлены на создание атомного и термоядер-

ного оружия. Пока еще не достигнуто международное соглашение о запрещении атомного оружия, но все прогрессивное человечество борется за прекращение его испытаний и за последующее его запрещение.

В противоположность лагерю империализма наша страна спокойно и уверенно идет по пути своего развития, намеченного Коммунистической партией. В этом развитии и укреплении нашей страны существенную роль играет семилетний план, предусматривающий широкое использование внутриатомной энергии в народном хозяйстве.

Таким образом, будучи готовой к любым неожиданностям, наша страна преследует прежде всего мирные цели: сделать эпоху атомной энергии эпохой мира народов, эпохой построения коммунистического общества в нашей стране.

ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ВНЕКЛАССНЫХ ЗАНЯТИЙ.

1. В. А. Мезенцев, Атом и атомная энергия, изд. 3, Воениздат, 1957.
2. М. И. Корсунский, Атомное ядро, ОГИЗ, М., 1949.
3. Л. Бертелло, От атома к атомной энергии, Изд. иностр. лит., М., 1948.
4. К. Н. Елизаров, Основы учения о строении атома, изд. 2, Учпедгиз, Л., 1956.
5. Л. И. Резников и В. Ф. Юськович, «Строение атома» в школьном курсе физики, Учпедгиз, М., 1957.
6. Джеймс Аллен, Атомная энергия и общество, Изд. иностр. лит., 1950.
7. В. Ларин, Международное агентство по атомной энергии, Госюриздат, М., 1957.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие	3

А. ПЕРВАЯ СТУПЕНЬ ИЗУЧЕНИЯ ПРЕДМЕТА ФИЗИКИ

1. Введение к курсу первой ступени	5

Г л а в а I. Программа VI класса

2. Введение к программе VI класса	7
3. Измерение длины, площади и объема	10
4. Сила тяжести	11
5. Удельный вес	13
6. Сила и ее измерение	17
7. Давление	—
8. Действие жидкости и газа на находящиеся внутри них тела (закон Архимеда)	31
9. Начальные сведения о механическом движении	37
10. Работа и энергия	43
11. Закон превращения и сохранения энергии в механических процессах	46
12. Простые механизмы	47

Г л а в а II. Теплота.

13. Замечания по программе отдела «Теплота»	51
14. Введение к отделу «Теплота»	52
15. Основы молекулярно-кинетической теории строения вещества	53
16. Тепловое расширение тел	55
17. Передача теплоты	58
18. Тепловое изменение состояния вещества	62
19. Понятие о природе теплоты	64

Г л а в а III. Электричество.

20. Общие замечания к отделу электричества	71
21. Первоначальные сведения об электричестве	72
22. Электрический ток	76
23. Напряжение в цепи электрического тока	81
24. Сопротивление проводников	84
25. Закон Ома	85
26. Энергия и мощность тока	87
27. Тепловое действие тока	89
28. Электромагнитные явления	90
29. Постоянные магниты	92

30. Свойства магнитного поля электрического тока	95
31. Технические применения магнитного поля тока	97
32. Электромагнитная индукция	99

Г л а в а IV. Свет.

33. Целевая установка преподавания отдела оптики и примерное поурочное распределение материала	103
34. Введение к отделу «Свет»	105
35. Распространение света в однородной среде	106
36. Световые явления на границе двух сред	107
37. Разложение белого света на цвета	112
38. Цвет тел и смешение красок	113

Б. ВТОРАЯ СТУПЕНЬ ИЗУЧЕНИЯ ПРЕДМЕТА ФИЗИКИ

І. МЕХАНИКА

39. Общие замечания по разделу «Механика»	115

Г л а в а V. Кинематика.

40. Равномерное движение	117
41. Равномерно-переменное движение	121
42. Свободное падение тел	125
43. Движение тела, брошенного вертикально вверх	126

Г л а в а VI. Динамика.

44. Законы движения тел	128
45. Закон всемирного тяготения	141

Г л а в а VII. Работа, мощность, энергия.

46. Целевая установка раздела	142
47. Понятие о работе	143
48. Понятие о мощности	144
49. Энергия	—

Г л а в а VIII. Статика.

50. Значение раздела «Статика»	148
51. Сложение сил и разложение силы на составляющие	149
52. Равновесие сил, действующих на тело, имеющее неподвижную ось вращения	153
53. Центр тяжести. Центровка тел	157
54. Устойчивость тел. Балансировка машин	158

Г л а в а IX. Криволинейное движение.

55. Значение темы и планирование ее	160
56. Линейная скорость криволинейного движения	161
57. Движение брошенных тел	162
58. Центробежное ускорение	164
59. Угловая скорость. Вращение твердого тела	165
60. Центробежная сила	166
61. Технические применения центробежной силы	168

Глава X. Колбания и волны.

62. Колебательное движение	173
63. Законы колебания математического маятника	178
64. Волновое движение	179

Глава XI. Движение жидкостей и газов.

65. Значение и планирование темы	184
66. Давление в движущихся жидкостях и газах.	185
67. Сопротивление при движении тела в жидкости и газе. Обтекаемые формы тел	189
68. Физические основы полета самолета	193
69. Энергия движущейся воды и ветра	198

Глава XII. Звук.

70. Значение раздела «Звук» в программе средней школы	199
71. Звуковые волны	200
72. Качества звука	202
73. Использование звуковых явлений в технике	204

II. ТЕПЛОТА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

Глава XIII. Теплота.

74. Общие замечания к отделу	206
75. Основы молекулярно-кинетической теории	—
76. Взаимосвязь физических величин: внутренней энергии, теплоты и работы	209

Глава XIV. Свойства газов.

77. Общие замечания по разделу и планирование темы	212
78. Давление газа	213
79. Зависимость между объемом и давлением данной массы газа при постоянной температуре (закон Бойля—Мариотта)	215
80. Зависимость между объемом и температурой данной массы газа при постоянном давлении (закон Гей-Люссака)	216
81. Абсолютная температура	—
82. Уравнение газового состояния	217
83. Применение газовых законов в технике	218

Глава XV. Свойства жидкости.

84. Основное содержание раздела	—
85. Поверхностная энергия и поверхностное натяжение	219
86. Смачивание и несмачивание	220
87. Форма поверхности жидкости у твердых стенок сосуда	—
88. Адсорбция газов	—
89. Влияние кривизны поверхности жидкости на давление в ней	221
90. Капиллярность	222
91. Использование свойств жидкостей в быту и технике	—

Глава XVI. Свойства твердого тела.

92. Содержание и планирование раздела	223

93. Строение твердого тела	223
94. Деформация твердого тела	225
95. Тепловое расширение твердых тел	226
96. Зависимость механических свойств твердых тел от их структуры и термической обработки	228
Г л а в а XVII. Изменение агрегатного состояния вещества.	
97. Содержание раздела	—
98. Плавление и отвердевание	229
99. Парообразование и конденсация	230
100. Тепловые двигатели	233
III. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО	
101. Общие замечания к программе	235
102. Предварительные замечания по отделу «Электричество».	236
Г л а в а XVIII. Электрическое поле.	
103. Экспериментальные основы электронной теории	—
104. Способы электризации тел	237
105. Электрическое поле	238
106. Электроемкость проводника	247
107. Конденсатор	248
Г л а в а XIX. Электрический ток (постоянный).	
108. Условия для создания и поддержания движения электричества по проводникам	249
109. Предварительные замечания к теме «Постоянный электрический ток»	251
110. Ток в вакууме	—
111. Ток в металлических проводниках	254
112. Тепловое действие тока	265
113. Ток в электролитах	267
114. Ток в газах	271
Г л а в а XX. Магнитное поле	
115. Введение к теме	279
116. Изучение свойств магнитного поля	281
117. Взаимодействие магнита и тока	284
118. Железо в магнитном поле. Применения в технике	—
Г л а в а XXI. Электромагнитная индукция.	
119. Общие замечания	285
120. Условия, определяющие величину э. д. с. индукции	—
121. Самоиндукция	290
Г л а в а XXII. Переменный электрический ток	
122. Предварительные замечания	293
123. Тематический и поурочный планы раздела	294
124. Получение и характеристики переменного тока	296
125. Действия переменного тока	297
	373

126. Активное сопротивление в цепи переменного тока	299
127. Индуктивное сопротивление в цепи переменного тока	302
128. Емкостное сопротивление в цепи переменного тока	306
129. Трехфазный ток	310
130. Вращающееся магнитное поле. Электродвигатель трехфазного тока	313
131. Трансформация тока	315

Г л а в а XXIII. Электромагнитные колебания и волны.

132. Значение и основное содержание раздела	318
133. Физические процессы в колебательном контуре	320
134. Вынужденные электрические колебания и автоколебания	323
135. Электромагнитное поле	325
136. Открытый колебательный контур	328
137. Свойства электромагнитных волн	331

IV. ОПТИКА И СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА.

Г л а в а XXIV. Оптика.

138. Общие замечания	337
139. Скорость света	—
140. Основы фотометрии	338
141. Световые явления на границе двух сред	340
142. Сферические зеркала и стекла	341
143. Основы волновой теории света	348
144. Дисперсия и излучение	353
145. Действия света	360

Г л а в а XXV. Строение атома.

146. Предварительные замечания	364
147. Явления, обнаруживающие сложное строение атома	365
148. Радиоактивность	—
149. Строение атома, ядро и электронная оболочка	366
150. Строение атомного ядра	367
151. Деление ядер урана	368
152. Использование атомной энергии в мирных целях	—

Иван Иванович Соколов

МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ФИЗИКИ
В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ

Редактор *Ю. Н. Дрожжин*
Обложка художника *Е. А. Десятова*
Художественный редактор *П. В. Любарский*
Технический редактор *Н. Н. Махова*
Корректор *В. Г. Соловьева*

Сдано в набор 25/VI 1959 г. Подписано к печати
13/XI 1959 г. 60×92¹/₁₆. Печ. л. 23,5. Уч.-изд. л.
24,82. Тираж 32 тыс. экз. А 10233. Заказ № 534.

Учпедгиз. 3-й проезд Марьиной рощи, 41.
Полиграфический комбинат Ярославского
совнархоза. Ярославль, ул. Свободы, 97.

Цена без переплета 6 р. 70 к. Переплет 80 к.

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать	По чьей вине
282	6 снизу	US	IS	типографии
316	18 сверху	$W = U_0^2 R_1$	$W = I_0^2 R_1$	типографии

Зак. 534. И. И. Соколов. Методика преподавания физики.

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УЧЕБНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ПРОСВЕЩЕНИЯ РСФСР**

Выпускает в 1960 году по физике следующие книги:

Мур Д. М. (сост.)

Сборник по методике и технике физического эксперимента

Гирке и др.

Демонстрационный эксперимент по оптике

Глазырин А. И.

Самодельные приборы по физике и демонстрационные опыты с ними

Резников Л. И.

Графический метод в преподавании физики

Маркович М. М. и Уваров П. Я.

Физика и техника (материалы о достижениях современной техники)

Цена 7 р. 50 к.