А. А. МАРГОЛИС, Н. Е. ПАРФЕНТЬЕВА,
И. И. СОКОЛОВ

ПРАКТИКУМ ПО МЕТОДИКЕ ФИЗИКИ

УЧПЕДГИЗ • 1960

МАРГОЛИС А. А., ПАРФЕНТЬЕВА Н. Е.,
СОКОЛОВ И. И.

53(077)
М-253.

ПРАКТИКУМ ПО МЕТОДИКЕ ФИЗИКИ

ПОСОБИЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ
ПЕДАГОГИЧЕСКИХ ИНСТИТУТОВ

ОБР.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УЧЕБНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ПРОСВЕЩЕНИЯ РСФСР
Москва 1960

DENOV TADBIRKORLIK
VA PEDAGOGIKA
INSTITUTI ARM
№ 17427

ПРЕДИСЛОВИЕ

Авторы представляют данное руководство для занятий по школьному физическому эксперименту, основанное на многолетнем опыте работы лаборатории методики физики Московского государственного педагогического института имени В. И. Ленина.

Закон «Об укреплении связи школы с жизнью и о дальнейшем развитии системы народного образования в СССР» требует приблизить высшую школу к жизни и производству.

В частности, педагогические институты должны улучшать подготовку учителей для общеобразовательных политехнических школ.

Умения и навыки, приобретаемые студентами в методическом практикуме, играют важную роль в профессиональной подготовке будущих преподавателей физики.

Студенты должны освоить основы методики и техники школьного физического эксперимента и уметь его применять для постановки любого опыта на уроке.

В главе I этой книги даются основные теоретические положения методики проведения и техники постановки демонстраций. В главах II и III рассматриваются основные положения постановки школьных фронтальных лабораторных работ и физического практикума, показано существенное различие в методике проведения демонстраций, лабораторных работ и физического практикума.

Главное внимание обращено на методическую работу, которую должен проводить учитель при подготовке каждой фронтальной лабораторной работы или работы физического практикума.

Глава IV знакомит студентов с содержанием и видами практических работ, которые разделены на четыре группы:

1. Изучение основного оборудования физического кабинета.
2. Постановка демонстраций.
3. Постановка лабораторных фронтальных работ.
4. Постановка работ физического практикума.

Наибольшее внимание уделено демонстрационным работам.

Глава V знакомит студентов с организацией методического практикума, в главах с VI по IX даны подробные описания четырех указанных видов работ.

Предисловие, главы I, II, III, IV, V и работы 3—8, 14, 16, 20, 21, 23, 25, 27—32, 34, 35, 42 написаны А. А. Мартоляком; работы 9, 11, 15, 17, 18, 19, 22, 33, — И. И. Соколовым; работы 2, 37—39 — Н. Е. Парфентьевой; работы 1, 12, 13, 36 — Д. М. Мурой; работы 10, 24, 26, 40 — Б. А. Ивановой; работа 41 — А. Л. Егоровым.

ГЛАВА I

МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ДЕМОНСТРАЦИОННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

ЗНАЧЕНИЕ ШКОЛЬНОГО ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Осуществление связи политехнического обучения с производительным трудом в средней школе настоятельно требует в первую очередь поднять научно-методический уровень преподавания физики.

Современная техника широко использует достижения физической науки, поэтому без глубоких и прочных знаний физических законов учащиеся не смогут ознакомиться с основами современной техники. Качество обучения во многом определяется содержанием уроков.

«От того, как излагает предмет преподаватель, какое содержание он вкладывает в вопросы программы, что считает важным и существенным, а что второстепенным, на каких связях знаний он останавливается, как обосновывает теоретические заключения на опытных фактах — от всего этого зависит основное идейно-теоретическое направление преподавания»[1].

Школьный физический эксперимент можно разделить на четыре вида:

1. Демонстрационный эксперимент.
2. Лабораторные работы.
3. Физический практикум.
4. Внеклассные экспериментальные работы учащихся.

Кроме общих задач, разрешаемых всеми видами школьного эксперимента, каждый вид имеет свою особенность, свое более узкое целевое назначение.

Все эти четыре вида школьного физического эксперимента содействуют более глубокому изучению законов физики, а также приобретению учащимися практических навыков в области физического эксперимента.

---

[1] Д. Д. Гальский, О политехническом обучении и подготовке учащихся к практической деятельности в процессе преподавания физики, изд. АПН РСФСР, М., 1953, стр. 73.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ДЕМОНСТРАЦИЙ

Каждая демонстрация должна быть органически связана с излагаемым материалом. Совершенно недопустим ее отрыв от темы, изучаемой на уроке.

Для успешного проведения демонстрации нужно сообщать учащимся ее целевое назначение.

Необходимость какой-либо демонстрации должна быть строго мотивирована. При эвристическом методе ведения урока в большинстве случаев беседа преподавателя должна привести к постановке вопроса, ответ на который должна дать намеченная демонстрация.

Но в некоторых случаях демонстрация имеет цель поставить перед учащимися определенный вопрос, который в дальнейшем разрешается в беседе учителя с учащимися.

Предварительное сообщение результатов демонстрации уменьшает активность и интерес учащихся к ней. Многие методисты советуют давать учащимся возможность выступать до производства опытов с предположением об их результатах.

Демонстрационные опыты должны быть предельно убедительными, отчетливыми и ясными, что во многом определяется техникой постановки демонстраций.

Если опыт сложный, то следует расчленить его на отдельные операции и дать целевую установку каждой из них.

Чтобы учащиеся могли оценить результат опыта, необходимо раскрыть целевое назначение и рассмотреть технику его постановки. Для этого преподаватель на доске с помощью рисунка или схемы, а в случае сложной демонстрации с помощью диапозитива или плаката объясняет принципиальную схему собранной установки. Если демонстрация несложная, то установка собирается непосредственно на уроке.

Надо всегда иметь в виду, что при осуществлении различных демонстраций преподаватель может пользоваться лишь те приборы, принцип работы которых учащимся уже известен.

В случае необходимости можно использовать отдельные приборы, устройство которых учащимся неизвестно, при этом следует предварительно объяснить принцип их работы.

Желательно повторять отдельные быстро протекающие опыты для лучшего усвоения их учащимися.

Для вывода закономерностей или для установления сущности физического явления нельзя ограничиваться единичным опытом. Желательно продемонстрировать одно и то же явление в нескольких вариантах, например при изучении инерции тел, атмосферного давления, электрического и магнитного полей и т. п.

Но это не значит, что можно увлекаться большим количеством демонстраций, связанных с одним и тем же явлением.

При постановке большинства демонстраций рекомендуется придерживаться следующей последовательности:

1. Целевое назначение опыта.

2. Объяснение принципиальной стороны опыта с помощью схемы, рисунка, выполненных на доске учителем, или с помощью плаката, диапозитива.
3. Размещение на приборах собранной установки.
4. Выделение объекта наблюдения, на котором обнаруживается эффект опыта.
5. Проверка видимости учащимися эффекта демонстрации.
6. Выводы учащихся из данной демонстрации.
7. Подведение итога преподавателем.

Предлагаемая последовательность не является строго обязательной при постановке всех демонстраций (многое зависит от специфики данного опыта).

ТЕХНИКА ПРОВЕДЕНИЯ ДЕМОНСТРАЦИЙ

Техника демонстрирования тесно связана с методикой проведения демонстраций. Техника демонстрирования должна обеспечить эффект опыта и его наилучшее восприятие при соблюдении правил безопасности.

Осуществление этих требований зависит от теоретических знаний и практических навыков преподавателя, связанных с устройством и эксплуатацией физических приборов, и от качества этих приборов.

Оборудование физического кабинета можно условно разбить на два класса: основное оборудование физического кабинета и оборудование по отдельным темам курса физики (демонстрационное оборудование).

Высокое качество приборов, используемых при различных демонстрациях как основное оборудование (например, насосы, химические источники тока, электрораспределительный щит, выпрямители, электроизмерительные приборы, трансформаторы, просвечивающая аппаратура и др.), во многом определяет эффективность ряда опытов.

Преподаватели физики должны в совершенстве изучить приборы и приобрести практические навыки по их эксплуатации.

Демонстрационные приборы должны быть прежде всего достаточных размеров для лучшей их видимости, просты по идее и несложны по конструкции.

Наглядность преподавания требует, чтобы в демонстрационных приборах все главнейшие детали и сама монтажная схема были видны. Для этого используют открытые механизмы, панели из органического стекла, цветные провода и т. п.

В практике работы преподавателю физики приходится часто пользоваться самодельными приборами.

Для демонстраций следует приносить лишь те из них, которые обладают высокими техническими качествами и хорошо внешне оформлены.

Успех демонстраций зависит от особенностей техники их постановки. Так, например, успешность проведения опытов по электростатике независимо от других факторов во многом определяется влажностью воздуха в классном помещении и состоянием изолирующих частей электростатических приборов.

Качество демонстраций во многом зависит от интенсивности физического эффекта. Если эффект слабый, то приходится использовать различные приемы для усиления его интенсивности. Для этих целей используют усилители, трансформаторы, электронный осциллограф, электронный переключатель, зеркальный гальванометр высокой чувствительности, фотоумножители и т. д. или применяют всевозможные виды проецирования, усиление освещенности демонстрационного прибора, различные экраны.

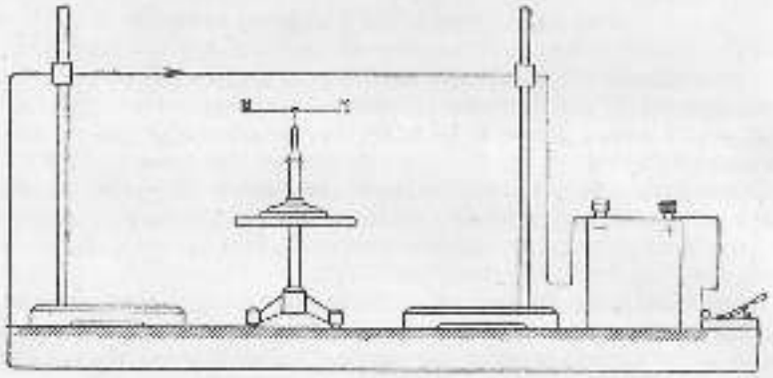


Рис. 1

Педагогическую ценность имеют лишь те демонстрации, которые не только эффективны в техническом отношении, но и отчетливо видны с последней парты.

Это важное требование учитель должен всегда выполнять. Для этого целесообразно использовать всевозможные приемы и средства, повышающие видимость демонстраций.

1. На демонстрационном столе должна находиться лишь одна установка, которая используется в данный момент урока. Все остальные, даже необходимые для одного и того же урока, желательно временно убрать.

2. Отдельные части установки следует размещать на разных высотах. Например, источник тока, магнитную стрелку, провода (рис. 1) устанавливают так, чтобы одни части не загораживали другие и чтобы учащиеся могли видеть всю установку в целом.

3. Для усиления освещенности демонстрируемой установки следует пользоваться специальными подсветами. Они бывают двух типов: направленные — лампы с рефлекторами, и рассеивающие — прозрачные экраны с подсветом (рис. 2,*а*, *б*).

Если же демонстрируется световое явление, то его надо показывать при затемнении.

4. При демонстрации явлений, происходящих в одной плоскости (например, при демонстрации вращательного или колебательного движения), нужно добиться, чтобы плоскость, в которой происходит движение, была перпендикулярна лучу зрения учащихся, сидящих в середине класса.

5. При демонстрации физических явлений, непосредственно не воспринимаемых органами чувств (электрические и магнитные поля, невидимые лучи, изменение химического состава вещества, плотности и т. д.), широко применяются различные индикаторы. Так, например, для обнаружения электрического поля заряженного шара можно воспользоваться легкими частицами рогозы, для обнаружения магнитного поля — железными опилками, для рентгеновских лучей — специальными экранами, покрытыми сернистыми солями и т. д.

6. Видимость демонстрационной установки или отдельных приборов значительно улучшается при подборе фона, на котором рассматривается демонстрационная аппаратура.

Для этой цели применяются подвижные экраны, имеющие с одной стороны черную, а с другой — белую поверхности (рис. 3).

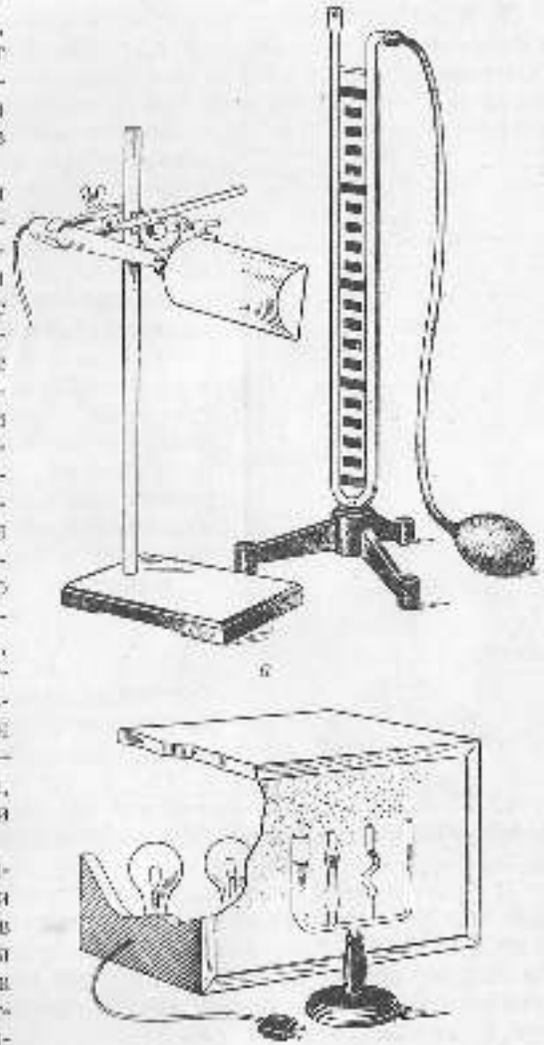


Рис. 2

7. При демонстрации явлений, происходящих в бесцветных телах, например в бесцветных жидкостях, последние подвергаются окрашиванию.

Индикаторами для кислотных и щелочных реакций служат лакмус и фенолфталеин.

8. Если демонстрируемые прибор или установка в целом имеют горизонтальное положение, то для лучшей их видимости пользуются большим плоским зеркалом, поставленным под углом 45° к поверхности прибора. Например, при демонстрации силовых линий магнитного поля тока (рис. 1), меняя положение зеркала несколько раз, можно обеспечить видимость демонстрируемого явления для всего класса.

Рис. 3

Если прибор, например магнитная стрелка, вращается в горизонтальной плоскости, то на различные его части наклеивают вертикально поставленные разноцветные легкие флажки (см. рис. 1).

9. Если при демонстрации опыта происходят изменения положения тел или изменения уровней, высот, объемов, длин, то во всех этих случаях можно пользоваться различными отметками: резиновыми кольцами, наклеенными бумажками, приставленными масштабами, стрелками и др. (рис. 5).

Например, при демонстрации расширения жидкости или газа первоначальный уровень может быть отмечен резиновым кольцом. При демонстрации опыта Торичелли надо укрепить на высоте первоначального уровня в горизонтальном положении линейку (рис. 6).

10. В тех случаях, когда ни одно средство не дает возможности обеспечить хорошую видимость, приходится применять проецирование на экран.

В простейшем случае пользуются теневым изображением прибора или установки при освещении их пучком лучей от точечного источника света. Так, например, непосредственно наблюдать конвекционные потоки воздуха от нагретой гири или пламени горелки невозможно, в то же время теневая проекция обеспечивает отчетливую видимость этого явления.

Для многих демонстраций нельзя воспользоваться теневой проекцией, поэтому в этих случаях применяют световое проецирование на экран.

С помощью светового проецирования обычно показывают подъем и опускание жидкостей в капиллярных трубках, силовые линии электрического поля, по которым располагаются кристаллы

хинина в вазелине, давление движущейся жидкости на стенки сосуда, движение частиц в камере Вильсона и много других явлений.

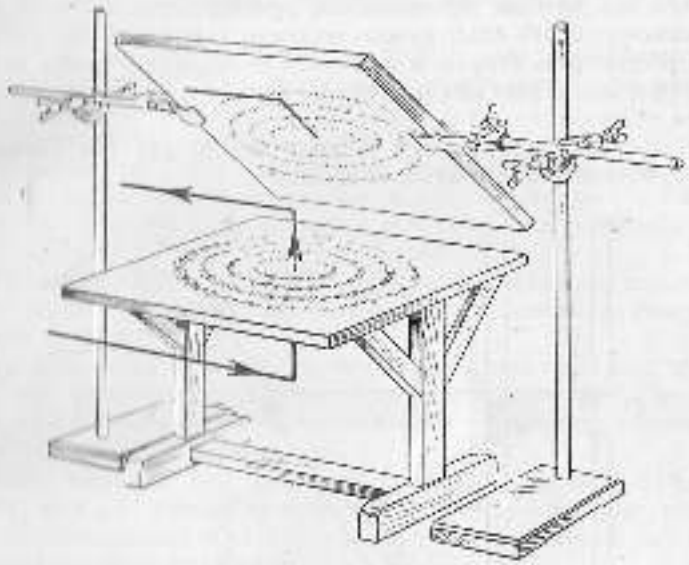


Рис. 4

В курсе физики приходится изучать ряд быстро протекающих периодических явлений, которые невозможно наблюдать ни непосредственно, ни с помощью светового и теневого проецирований,

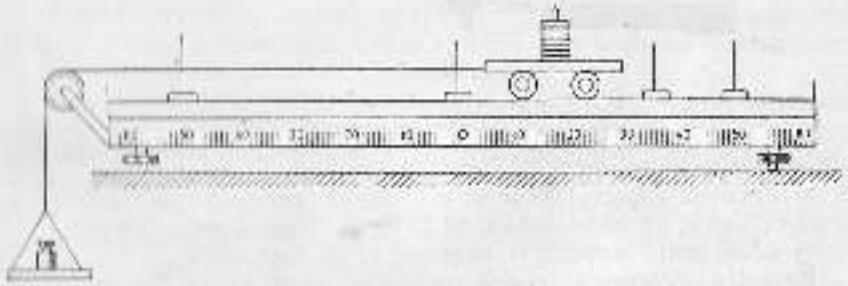


Рис. 5

например колебание ножек камертона, волны на поверхности воды, колебание струны и много других периодических процессов. В этих случаях применяется стробоскопический метод проецирования.

Несмотря на большое значение метода проецирования, при постановке различных демонстраций следует всегда иметь в виду,

что наблюдение явлений непосредственно на приборе предпочтительнее, чем на его световом или теневом изображении.

Понятно, что приведенными приемами и средствами не исчерпываются все методы, применяемые преподавателями физики.

Демонстрировать опыт нужно не очень быстро, чтобы учащиеся успели рассмотреть его, но и не слишком медленно, чтобы не получилось разрыва с рассказом учителя. Это можно осуществить следующим образом:

а) подобрать эффективную демонстрацию, для постановки которой требуется минимальное время;

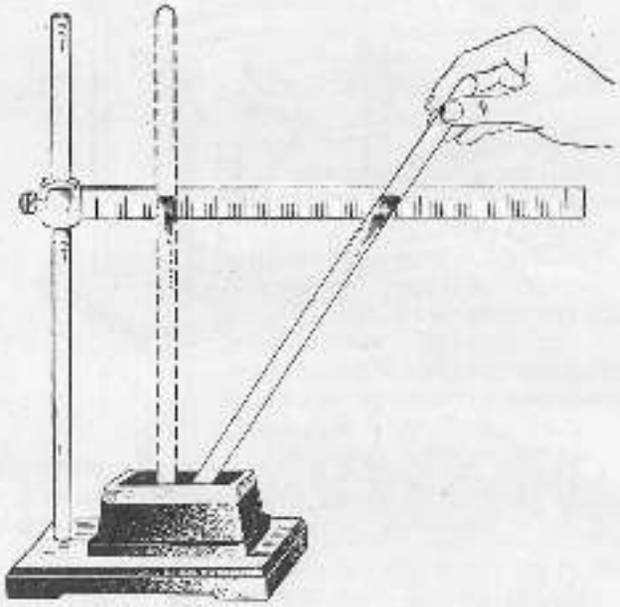


Рис. 6

б) предварительно проверить демонстрационные качества отдельных приборов, используемых в опыте;

в) обеспечить быстрый отсчет показаний приборов при постановке демонстраций, устанавливающих количественные зависимости;

г) обеспечить хорошую видимость демонстрации.

Важным условием, содействующим наилучшему восприятию демонстрационных опытов, следует считать выразительность демонстраций. Каковы же средства, обеспечивающие постановку выразительных демонстраций?

1) Использование наиболее простых по конструкции приборов;

2) учет психологических особенностей учащихся при подготовке каждой демонстрации. Распространенная ошибка молодых преподавателей физики, и в особенности студентов, состоит в том, что

при постановке демонстрационных опытов они не учитывают этих особенностей учащихся;

3) постановка опытов с повышенной интенсивностью демонстрируемого явления;

4) осуществление графических иллюстраций, отражающих результаты измерений или наблюдений, получаемых при демонстрациях (графики, таблицы, рисунки);

5) эстетическая сторона демонстраций.

«Общеизвестно, что восприятие красивого всегда привлекает человека, повышает у него интерес к данному предмету. Наоборот, отсутствие красоты в оформлении действует отталкивающим образом»[1].

Поэтому следует уделить серьезное внимание не только получению ярких эффектов, но и оформлению демонстрационных установок.

Все физические приборы должны иметь опрятный вид, в особенности это относится к демонстрационной аппаратуре. При подготовке каждой демонстрации нужно продумать расположение приборов на демонстрационном столе.

Часто внешний вид демонстрационных установок ухудшается потому, что для приборов используются нестандартные подставки (иногда даже книги). Учитель должен иметь различные по размерам одинакового типа подставки.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДЕМОНСТРАЦИЙ

При постановке всех физических опытов учитель должен соблюдать правила техники безопасности. Эти требования относятся и к студентам.

Неаккуратность, невнимательность, недостаточное знакомство с приборами, свойствами веществ и правилами техники безопасности могут повлечь за собой несчастный случай.

При использовании мощных источников света, в особенности источников, богатых ультрафиолетовыми лучами, преподаватель должен принять меры к защите глаз, используя дымчатые или цветные стекла.

При работе с рентгеновскими лучами необходимо пользоваться просвинцованными перчатками, свинцовыми защитными экранами и свинцовыми стеклами.

При использовании кварцевых ламп следует защищать глаза специальными очками со стеклами, поглощающими ультрафиолетовые лучи. Надо избегать облучения открытых частей тела, так как при длительном облучении возможны ожоги.

---

[1] Г. И. Жорехов, Политехническое обучение в демонстрационных опытах, Учпедгиз, 1957, стр. 22.

При проведении опытов с едкими веществами необходимо иметь наготове нейтрализующие вещества. В случае ожогов кислотами нужно применять раствор соды, при ожогах щелочами — слабый раствор уксусной эссенции.

Едкие, ядовитые и огнеопасные вещества следует хранить в месте, совершенно недоступном для учащихся.

В каждом физическом кабинете на видном месте должна находиться маленькая аптечка.

Работа с газовыми горелками и воспламеняющимися веществами

1. При работе с открытым пламенем газовых и спиртовых горелок во избежание пожара сосуды с огнеопасными жидкостями надо держать от пламени на расстоянии не менее 1 м.

2. Переливание из сосуда в приборы бензина, эфира, спирта и тому подобных легко воспламеняющихся жидкостей нужно производить над специальным газом или кюветой не ближе 3 м от открытого пламени.

3. Разлитый горящий керосин нельзя гасить водой, в этих случаях следует применять пенный огнетушитель. Можно также набросить на горящую жидкость шерстяную тряпку.

В физическом кабинете должны быть наготове огнетушители двух типов, ведро с песком, асбестовое одеяло или большая шерстяная тряпка.

4. Пользуясь газом и газовыми горелками, надо помнить, что газ ядовит и взрывоопасен. Неправильное и небрежное обращение с газовыми горелками и газовыми приборами может вызвать отравление, пожары и взрывы. Надо следить, чтобы пламя не проникало внутрь горелки. Если пламя проскочит, надо немедленно закрыть кран, дать горелке остыть и лишь после этого снова зажечь ее, уменьшив предварительно приток воздуха.

Газовая сеть после проведения опыта должна быть выключена. Выключающие приспособления располагают в препараторской или в ином месте, недоступном для учащихся.

5. В случае обнаружения запаха газа в лаборатории надо немедленно открыть окна и проветрить помещение, проверить, закрыты ли краны газовой сети, запретить зажигать огонь, включать и выключать освещение и различного рода электрические приборы.

Работа с электрическим током. Поражение людей электрическим током может произойти как при низком, так и при высоком напряжении. Известны случаи поражения током низкого напряжения со смертельным исходом. Объясняется это отчасти пренебрежением к технике безопасности, ошибочным мнением, что опасно для жизни только высокое напряжение.

1. Все открытые токопроводящие части должны быть снабжены соответствующими кожухами (рубильники, реостаты, плавкие предохранители). Рубильник, включающий ток во всем физическом кабинете, следует располагать в препараторской.

2. Для защиты от поражений электрическим током корпусы электромеханического оборудования, мощных выпрямителей и трансформаторов заземляются. При наличии правильно выполненного и исправного защитного заземления прикосновение к металлическим корпусам безопасно. Но следует помнить, что при одновременном прикосновении к токоведущим частям электрооборудования, находящимся под напряжением, и к заземленным корпусам опасность поражения электрическим током не только остается, но даже возрастает.

3. Если загораются электрические провода, надо выключить рубильник и потушить пожар.

Работа со ртутью. Металлическая ртуть и ее пары — сильно действующий яд. Случайно пролитая и неубранная ртуть может вызвать постепенное отравление. Скорость испарения зависит от величины открытой поверхности ртути, от температуры ртути и состояния воздуха. Капли ртути, находящейся в мелкораздробленном, часто невидимом для глаза состоянии, представляют значительно большую опасность, чем несколько килограммов ртути, собранной в сосуд с узким горлом.

В целях обеспечения безопасности работы со ртутью следует:

а) на отверстия U-образных манометров ставить ловушки, предупреждающие выброс ртути;

б) на выходе паров ртути ставить поглотители — фильтры с активной двуокисью марганца, и др.;

в) все работы со ртутью проводить в обязательном порядке над металлическим, окрашенным масляной краской подносом или кюветой;

г) для собирания капелек ртути нужно иметь в лаборатории амальгамированную медную или из белой жести пластинку, которую хранят в сосуде, закрытом резиновой пробкой. Капельки ртути, прилипшие к этой пластинке, стряхивают в сосуд с водой.

При постановке физических опытов учитель должен проявлять заботу о безопасности физической аппаратуры, используемой в опытах, бережно относиться к физическим приборам. Все приборы должны содержаться в безукоризненной чистоте.

В этой главе нами указаны наиболее общие положения, связанные с методикой проведения и техникой постановки демонстрационных опытов. Большое количество методических приемов и особенностей техники постановки демонстрационных опытов связано со спецификой демонстраций по отдельным разделам и курсам физики и будет рассмотрено в представленных ниже демонстрационных работах.

ГЛАВА II

МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

ЗНАЧЕНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Лабораторные занятия учащихся — второй вид школьного эксперимента. Они содействуют более глубокому усвоению курса физики. Кроме того, лабораторные занятия дают возможность учащихся приобрести практические умения и навыки в обращении с простейшими физическими приборами, в измерении различных физических величин, развивают у учащихся наблюдательность и интерес к явлениям природы.

Существуют такие физические явления, которые можно воспроизвести как в демонстрациях, так и в лабораторных работах.

При этом следует иметь в виду, что как бы ни было тщательно поставлена и проведена демонстрация, все же для многих наблюдателей могут выпадать из внимания отдельные ее звенья. При самостоятельной лабораторной работе, проводимой в соответствии с определенной методикой, создается гораздо большая цельность и полнота впечатлений, позволяющая довести познание физического явления до полной ясности.

Еще большее значение приобретают лабораторные занятия при рассмотрении в курсе физики таких вопросов, которые невозможно сопровождать демонстрациями. Так, «проверку» большинства физических законов с количественной стороны, измерение некоторых физических постоянных можно осуществить только на лабораторных работах.

Следует отметить, что лабораторные работы содействуют повышению полезности демонстрационного эксперимента.

«Учащиеся, проходя лабораторную практику, приобретают своего рода «грамотность», позволяющую им увереннее следить за опытами учителя, не относиться к ним, как к «фокусам», которые всецело зависят от ловкости и умения экспериментатора. Вместе с тем у учащихся создаются самостоятельные суждения об окружающих явлениях, на которые они смотрят уже своими глазами, а не сквозь призму чужих слов» [1].

---

[1] П. А. Знаменский, Методика преподавания физики, Учпедгиз, 1954, стр. 71.

Из отмеченного выше следует, что самостоятельные занятия учащихся — одно из важнейших средств политехнического обучения. Не умаляя роли и значения демонстрации в процессе преподавания курса физики, следует помнить, что наилучший педагогический эффект достигается при разумном сочетании демонстраций и лабораторных работ учащихся.

КЛАССИФИКАЦИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Лабораторные работы принято в методике классифицировать по четырем признакам: месту и времени проведения; содержанию; способам проведения; приемам постановки.

1. По месту и времени проведения можно все лабораторные работы разбить на три группы:

1) Классные лабораторные работы.

2) Внеклассные лабораторные работы.

3) Домашние лабораторные работы.

В свою очередь классные работы можно подразделить на следующие виды:

а) лабораторные работы, занимающие целый урок. К ним относится значительное большинство работ;

б) лабораторные работы в виде физического практикума. На каждую такую работу отводится два академических часа;

в) кратковременные лабораторные работы, на которые отводится 5—10 минут урока. Эти небольшие по времени работы в последнее время получили широкое распространение в практике работы учителей.

Большое значение кратковременных лабораторных заданий обусловлено тем, что они содействуют активизации работ учащихся на уроках физики. В течение года имеется возможность в каждом классе поставить значительное число таких экспериментальных заданий.

Каждая такая экспериментальная задача имеет узкое целевое назначение. Но ценность их состоит еще в том, что, будучи органически связаны с изложением учебного материала учителем и теми демонстрациями, которые иллюстрируют изложение, они дают учащимся возможность осмысленно выполнять в течение короткого времени небольшую экспериментальную задачу. Такие лабораторные работы могут носить как качественный, так и количественный характер (например, изучение магнитных спектров постоянных магнитов, проверка законов отражения или преломления света, измерение штангенциркулем и др.).

Ограниченное число часов, отводимое программой на проведение классных лабораторных работ, не дает возможности учителю удовлетворить желание учащихся, интересующихся физикой. Для таких учащихся организуются внеклассные лабораторные занятия.

DENOV TADQIQOTLIK VA PEDAGOGIKA INSTITUTI ARM № 17427

Опыт работы передовых учителей показывает, что при правильной организации внеклассной работы получаются хорошие результаты, при этом учитываются желания и интересы учащихся.

Внеклассные занятия строятся в первую очередь с учетом индивидуальных интересов и наклонностей учащихся.

На таких занятиях учащиеся имеют возможность не только осуществлять различные эксперименты, но и заниматься изготовлением и конструированием различных приборов и установок.

Одной из форм активизации работы учащихся при изучении курса физики следует считать широкое внедрение физического эксперимента во все виды их самостоятельной работы. За последние годы в практике работы многих учителей стала употребляться еще одна форма эксперимента — домашние лабораторные работы. Практика показывает, что учащиеся могут дома без специальной физической аппаратуры проделать много важных и нужных опытов по самым различным темам.

Большинство домашних лабораторных работ носит качественный характер, и целевое назначение их состоит в наблюдении явлений за несложных опытах.

К числу таких лабораторных работ можно отнести следующие: обнаружение атмосферного давления, определение условий плавления тел, наблюдение инерции тел, явления конвекции в жидкостях и газах, определение центра тяжести тел и многие другие.

2. По содержанию лабораторные работы можно разделить на две группы:

1) Качественные лабораторные работы.

2) Количественные лабораторные работы.

Качественные работы воспроизводят явление и устанавливают основные его признаки. К числу таких работ можно отнести виды передачи теплоты, явление электромагнитной индукции, распространение света в однородной среде, действие жидкости на погруженное в нее тело и т. д.

Количественные работы имеют цель: 1) проверить физические законы, т. е. установить количественную зависимость между физическими величинами (например, закон Ома, Джоуля — Ленца, газовые законы, законы отражения и преломления света и т. д.); 2) измерить различные физические величины (например, объем тела, вес, силу трения, электроемкость, величину тока и др.); 3) определить физические постоянные (например, механический эквивалент теплоты, теплоты плавления, теплоемкости и др.).

Особо следует отметить лабораторные работы, имеющие своей целью ознакомить учащихся с устройством и работой различных технических приборов и установок. Этот вид работ нельзя строго отнести ни к количественным, ни к качественным работам, так как они бывают как качественного, так и количественного характера (например, изучение принципа работы тепловых двигателей, сборка

оптических приборов, определение к. п. д. нагревательного прибора, определение к. п. д. трансформатора и др.).

3. По способу проведения лабораторные работы делят на фронтальные и индивидуальные.

1) Фронтальные лабораторные работы делает весь класс (рабочие подгруппы) одновременно, при этом выполняется одна и та же экспериментальная задача и используется одинаковое оборудование. Число учащихся в рабочих подгруппах может быть различным (обычно 2—3 человека). Это определяется умением и навыками учащихся и спецификой лабораторного оборудования.

Однако выполнение некоторых лабораторных работ, связанных с приобретением учащимися прочных навыков по использованию наиболее простых измерительных приборов (штангенциркуль, весы и др.), следует осуществлять самостоятельно каждым учеником. Также самостоятельно ученикам следует выполнять лабораторные работы, не требующие сложной и дорогой аппаратуры (например, оптические работы, выполняемые методом булавок, и др.).

2) Индивидуальные лабораторные работы делают все учащиеся класса, которые разбиваются на рабочие подгруппы из 2—3 человек и в одно и то же время выполняют различные экспериментальные задачи, связанные с различными темами курса физики.

Большинство программных лабораторных работ, а также краткосрочные лабораторные работы осуществляются фронтальным способом, так как он имеет ряд преимуществ:

1) самостоятельный эксперимент учащихся становится органической частью изучения данного раздела курса физики;

2) дает возможность по окончании работы обсудить всем классом результаты отдельных бригад и найти средние результаты;

3) облегчает работу учителя. Учитель имеет возможность в начале урока дать объяснение для всех учащихся. Кроме того, в процессе выполнения учащимися одной и той же лабораторной работы облегчается работа учителя.

Следует иметь в виду, что фронтальный способ проведения лабораторных работ имеет и свои недостатки. Этот способ не дает возможности учащемуся произвести те или иные измерения или наблюдения по его собственному плану и уделить наблюдению за явлением столько времени, сколько ему потребуется для полного понимания. Этот недостаток в гораздо большей степени сказывается при постановке лабораторных работ в старших (IX—X) классах и не имеет существенного значения при постановке лабораторных работ в младших (VI—VII) классах, где большинство учащихся еще не имеет экспериментальных навыков. Поэтому очень важно с самого начала изучения курса физики дать возможность учащимся приобрести элементарные навыки по методике проведения и технике постановки физических опытов, независимо от их тематики, на примерах простейших лабораторных работ. Естественно, что осуществление этого важного требования можно быстрее и лучше выполнить при проведении лабораторных работ фронтальным способом.

Индивидуальный способ тоже имеет свои положительные стороны. Он предоставляет учащимся гораздо больше самостоятельности при выполнении экспериментальных работ. Эти работы развивают у учащихся более творческое отношение к эксперименту. Но вместе с тем такой способ имеет и свои недостатки:

1) оторванность лабораторных работ, выполняемых отдельными учащимися, от изучаемой в данное время темы;

2) непоследовательный порядок проведения работ;

3) нельзя обсуждать в классе результаты работ отдельных бригад;

4) работа преподавателя при проведении работы значительно усложняется.

Поэтому индивидуальный способ в основном применяют при постановке физического практикума и внеклассных лабораторных работ.

4. Различают следующие приемы постановки лабораторных занятий: исследовательский, эвристический и иллюстративный, или «проверочный».

Исследовательский прием состоит в том, что учащимся сообщается лишь тема или цель работы и предоставляется большая самостоятельность в выборе метода и техники измерения или наблюдения. Этот прием ценен тем, что предоставляет большую самостоятельность учащимся, развивает их творчество. Но постановка лабораторных работ таким приемом возможна лишь в старших классах, так как они вызывают много трудностей. Кроме того, эти работы требуют времени значительно больше, чем отводится программой. Раньше этот прием применялся главным образом во внеклассной экспериментальной работе, но сейчас он получил в школах более широкое распространение в связи с введением в IX—X классах физического практикума, который еще в большей мере, чем лабораторные работы, содействует развитию творческой инициативы учащихся.

Наиболее распространены эвристический и иллюстративный приемы.

Эвристическим приемом называется такой, при котором учащимся дается тема для изучения и намечается путь работы, результат которой неизвестен. Цель — получить этот результат. Обычно эвристическим приемом ставятся работы, связанные с качественным изучением какого-либо явления или с изучением закономерностей явления.

Иллюстративным, или «проверочным», приемом называется такой, при котором учащимся до начала работы известен результат экспериментальной задачи. Обычно этим способом ставится большинство лабораторных работ, связанных с «проверкой» ранее изученного закона или с измерением физической константы.

Большинство программных лабораторных работ носит иллюстративный характер.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

Постановка лабораторных работ обязательна для всех преподавателей, при этом минимальное количество их и примерная тематика определяются требованиями программы.

Основное методическое требование, предъявляемое ко всем лабораторным работам — это органическая связь их с излагаемым материалом. Отсюда следует, что постановка лабораторных работ индивидуальным способом не удовлетворяет этому требованию. Поэтому основным способом проведения классных лабораторных работ следует признать фронтальный способ.

Лабораторная работа ставится тогда, когда в процессе изложения нового материала преподаватель подвел учащихся к тому вопросу, ответ на который они должны получить из самостоятельно проведенной лабораторной работы, или когда закончено изложение той темы, по которой учащиеся должны проделать иллюстративный опыт.

Лабораторная работа, оторванная от изучаемого материала, не имеет большой ценности.

Кратковременные фронтальные лабораторные работы больше всех других удовлетворяют основному методическому требованию.

Перед каждой лабораторной работой ставится совершенно определенная цель. Опыт работы показывает, что если преподаватель не поставил перед учащимися точной и ясной цели экспериментальной задачи, то такая работа не может дать необходимого эффекта. Это объясняется тем, что в подобных случаях учащиеся часто механически выполняют работу и, не представляя ясно целевого назначения эксперимента, не приобретают нужных знаний.

Хорошо известно, что «проверку» одного и того же закона или измерение одной и той же физической константы можно осуществить различными методами и способами. Поэтому при рассмотрении конкретных экспериментальных задач очень важно научить учащихся наиболее рациональным методам и способам.

Кроме того, необходимо разъяснить учащимся технику измерений, исходя из постановки экспериментальной задачи. Это требуется особенно тщательно осуществлять в начальном периоде при постановке работ фронтальным способом, когда учащиеся не имеют достаточных навыков по технике производства опытов.

Только объяснение учащихся цели, а также техники эксперимента дает возможность их осмысленно осуществлять экспериментальную работу.

Большое значение при выполнении лабораторных работ имеет организация учащихся в отдельные бригады. Опыт работы показывает, что бригады для выполнения лабораторных работ нужно комплектовать так, чтобы они были примерно однородными по знаниям и навыкам учащихся. Это вызвано необходимостью, так как включение «слабого» учащегося в бригаду «сильных» приводит к тому, что «сильные» учащиеся захватывают инициативу в свои руки и не

дают «слабым» учащимся их совместно следить за ходом работы, их приобретать практические навыки. Успех работы повысится, если учитель во время выполнения лабораторных работ будет оказывать больше внимания отдельным «слабым» бригадам. Конечно, при комплектовании бригад следует учитывать и пожелания отдельных учеников.

Важным вопросом является и распределение работы между отдельными членами бригады. Исходя из специфики той или иной лабораторной работы, следует продумать такое число измерений или наблюдений на каждого учащегося, чтобы все члены бригады смогли по очереди это сделать.

Все указанные вопросы, связанные с методикой проведения фронтальных способом как эвристических, так и иллюстративных лабораторных работ, преподаватель разъясняет до начала работы в пояснительной беседе, на которую следует затратить не более 10—12 минут урока.

В этой беседе преподаватель рассматривает следующие вопросы:

1) Тема лабораторной работы.

2) Целевое назначение лабораторной работы.

3) Ход работы (метод, используемый в работе, последовательность производства измерения или наблюдения).

4) Техника измерения.

5) Техника вычисления.

6) Организация работы учащихся в отдельных бригадах.

7) Техника безопасности при проведении опытов.

8) Требования к письменному отчету учащихся.

Указанную последовательность вступительной беседы не следует понимать как строго обязательную при постановке каждой лабораторной работы.

Учитель должен творчески подойти к использованию этой рекомендации, учитывая специфику каждой лабораторной работы.

Ограниченное время, отводимое на вступительную беседу, требует от преподавателей четкой предварительной подготовки к ней. Опыт работы показывает, что качество этой беседы во многом определяет успешное выполнение лабораторного задания учащимися.

При проведении вступительной беседы на демонстрационном столе уже находится комплект приборов, принадлежностей и материалов, необходимых для данной лабораторной работы.

Поэтому изложение отдельных вопросов преподаватель иллюстрирует на приборах, с которыми должны самостоятельно работать учащиеся.

В практике работы ряда школ при проведении лабораторных работ получили распространение письменные инструкции для учащихся, в которых освещены те же вопросы, что и во вступительной беседе учителя. По таким инструкциям проводятся обычно индивидуальные лабораторные работы и физический практикум.

После того как учащиеся прослушали вступительную беседу учителя и записали в тетрадях тему, цель и форму записи результатов измерения лабораторной работы, дежурные по классу раздают заранее заготовленные комплекты оборудования, и учащиеся приступают к выполнению лабораторных заданий.

За 3—5 минут до конца урока учитель требует от отдельных бригад сообщения полученных ими результатов. Результаты всех бригад записываются на доске. Эти данные позволят установить среднее значение (при измерении каких-либо констант), оценить наилучшие результаты или дать в случае проверки закона более строгую его формулировку.

Отчеты для большинства лабораторных работ следует требовать от учащихся сразу же после ее выполнения.

В отчетах должно быть указано:

Дата.

Тема лабораторной работы.

Цель работы.

Необходимое оборудование.

Схемы цепей или рисунок установки.

Таблица результатов измерений.

Вычисления.

Вывод из работы или окончательный результат измерений.

Ответы на вопросы.

ТЕХНИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Техника выполнения лабораторного эксперимента проще, чем демонстрация, так как нет необходимости обеспечивать видимость эксперимента всему классу и осуществлять другие требования к демонстрационному эксперименту, отмеченному нами выше.

Но осуществление лабораторных работ тоже связано с определенными трудностями, так как их выполняют учащиеся, не имеющие достаточных навыков по технике эксперимента. Вот почему при постановке лабораторных работ и для их успешного выполнения необходимо детально продумать технику экспериментирования. В свою очередь техника эксперимента, естественно, зависит как от специфики отдельных тем, так и от предложенной методики проведения эксперимента.

Эти вопросы будут освещены ниже в отдельных заданиях, связанных с постановкой лабораторных работ по отдельным темам.

Несмотря на это, имеется возможность указать ряд общих положений по технике лабораторного эксперимента, которые распространяются на все лабораторные работы.

1. Перед каждой лабораторной работой во вступительной беседе учителя (при проведении лабораторной работы индивидуальным способом) необходимо раскрыть условия, обеспечивающие безопасность проведения опытов. Здесь же уместно напомнить и требования, которые бы обеспечили целостность приборов, используемых в лабораторной работе.

2. На технику выполнения любой лабораторной работы влияет культура труда учащихся. Учитель должен требовать от учащихся бережного отношения к физическим приборам и аккуратности при выполнении работы. Перед тем как приступить к выполнению опытов, учащиеся должны проверить розданные комплекты приборов и материалов, а затем приступить к выполнению работы. За 3—5 минут до конца урока учащиеся должны разобрать установки и в чистом виде подготовить комплект приборов для сдачи их дежурным лаборантам.

3. Важным моментом, влияющим на технику выполнения лабораторной работы, является объем экспериментальных заданий. Поэтому учителю необходимо при подготовке лабораторной работы проверить, какое количество отдельных экспериментальных задач можно поставить в работе, с тем чтобы учащиеся могли их выполнить без излишней торопливости. Перегрузка заданиями приводит к поспешности выполнения, при этом ухудшается техника выполнения; недогрузка приводит к ослаблению дисциплины учащихся, что также вредно сказывается на результатах эксперимента. Учитель должен заранее подготовить ряд дополнительных экспериментальных задач для «сильных» учащихся.

4. Техника эксперимента во многом определяется предложенной учителем методикой эксперимента. Поэтому во время проведения лабораторных занятий учитель должен следить за работой учащихся и научить их ставить эксперимент в соответствии с данной методикой.

5. Необходимо осуществлять самоконтроль при выполнении экспериментальных работ. Учащиеся должны повторять отдельные наиболее важные измерения и вычисления, перед тем как дать окончательный ответ на экспериментальную задачу.

6. При выполнении сложных экспериментов, в особенности с использованием источников высокого напряжения, учащиеся не должны испытывать собранные установки и включать собранную цепь в сеть без предварительной проверки их учителем.

7. В каждой экспериментальной работе необходимо указать учащимся, как устранить при наблюдениях или измерениях влияние побочных факторов, ухудшающих результат экспериментальной работы. Степень точности измерения зависит от особенностей отдельных работ. В практике работы школ принято, что допустимая ошибка в измерительных работах не должна превышать 10%.

ТЕХНИКА ПОДГОТОВКИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Из требований, предъявляемых к методике и технике выполнения всех лабораторных работ, следует, что для успешного их осуществления учащимися учитель должен проводить подготовительную работу. Эта работа сводится к методическому исследованию каждой лабораторной работы, а именно к выявлению особенностей

действия различных приборов, используемых в лабораторной работе; экспериментальной проверке различных методов и приемов измерения; комплектованию оборудования.

На каждую лабораторную работу должна быть составлена карточка, в которую заносятся все приборы и материалы, необходимые для выполнения данной работы. В эту же карточку следует занести сведения, касающиеся особенностей действия приборов. Наличие такой карточки намного облегчает комплектование оборудования, необходимого при проведении лабораторных работ.

Для того чтобы учитель мог быстро выставить приборы, необходимые для проведения лабораторной работы, комплекты следует перенумеровать. Все приборы и принадлежности, входящие в состав одного комплекта, должны иметь общий комплектный номер, различаясь частными номерами в пределах комплекта.

Кроме этого, необходимо установить количество экспериментальных заданий в каждой лабораторной работе и время их выполнения; выявить побочные факторы, влияющие на выполнение отдельных экспериментальных заданий, пути и средства их устранения; проверить возможности использования самодельных приборов.

ГЛАВА III

МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ФИЗИЧЕСКОГО ПРАКТИКУМА

ЗНАЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО ПРАКТИКУМА

В целях успешного осуществления политехнического обучения наряду с фронтальными лабораторными работами в IX—X классах введен в программу физический практикум.

Это вызвано тем, что фронтальный метод, несмотря на его положительные стороны, дает учащимся (VI—VII классы) лишь начальные экспериментальные навыки и умения, которые недостаточны для учащихся, оканчивающих общеобразовательную политехническую среднюю школу.

Физический практикум расширяет и углубляет практические умения и навыки постановки наиболее сложного эксперимента по сравнению с лабораторными работами.

Каковы существенные отличия физического практикума от лабораторных работ?

1. Физический практикум ставит экспериментальные задачи более широкие, чем лабораторные работы, связанные или с определенным разделом, крупной темой курса физики, или с углубленным изучением какого-либо явления. Такая постановка экспериментальных задач предоставляет возможность учащимся приобрести более разносторонние экспериментальные умения и навыки и содействует повторению теоретического материала.

2. Фронтальные лабораторные работы выполняются на простых по своей конструкции приборах, в то время как экспериментальные задачи практикума могут быть выполнены на более сложной физической аппаратуре, технических приборах и установках.

3. Проведение фронтальных лабораторных работ органически связано с прохождением определенных отдельных тем курса физики; физический же практикум проводится преимущественно или в конце учебного года, или два раза в году.

4. Практикум в форме индивидуальных экспериментальных задач повышенной трудности способствует развитию большей самостоятельности учащихся, чем фронтальные лабораторные работы.

5. Физический практикум знакомит учащихся с методами измерений, используемых в современной технике.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ПРАКТИКУМА

Как было указано выше, постановка фронтальных лабораторных работ позволяет органически слить теорию и эксперимент. Так как отдельные экспериментальные задачи физического практикума ставятся в каждом классе не параллельно с изучением теоретического материала, то настоятельно требуется перед постановкой физического практикума организовать самостоятельное повторение нужных разделов курса физики с последующей проверкой учителем.

Естественно, что педагогическую цельность могут принести экспериментальные задачи лишь в том случае, если учащиеся будут своевременно, до выполнения работ физического практикума, ознакомлены с теорией отдельных работ. Поэтому при составлении календарных планов преподаватель должен предусмотреть дополнительный материал, который нужно включить в отдельные разделы и темы, чтобы обеспечить эффективность проведения физического практикума.

Так как физический практикум проводится индивидуальным способом, то для каждой экспериментальной задачи преподаватель должен составить письменную инструкцию для учащихся или дать соответствующее печатное руководство.

Повторение теоретического материала, связанного с постановкой работ физического практикума, возможно осуществить коллективно под руководством учителя или индивидуально учащимся. Коллективное повторение проводится на уроке в специально отведенное для этой цели время.

Для индивидуального повторения для каждой практической работы дается теория вопроса и дополнительная литература в письменной инструкции. Раздавая учащимся заблаговременно письменные инструкции или соответствующее руководство, учитель подготавливает их к выполнению практических работ.

В письменной инструкции необходимо указать:

1. Тему экспериментальной задачи.
2. Цель работы.
3. Теорию вопроса (если не было повторения на уроках).
4. Методику проведения измерений или наблюдений:
   а) отдельные экспериментальные задания;
   б) ход работы;
   в) схемы установок;
   г) форму записи результатов измерений;
   д) вопросы к отдельным заданиям;
   е) условия безопасности проведения опытов.
5. Необходимое оборудование.
6. Требования к письменному отчету.

Отсутствие в школах по многим работам практикума типового фабричного оборудования создает большие трудности в осуществлении работ. В связи с этим в зависимости от имеющегося оборудования можно несколько видоизменять постановку отдельных

экспериментальных задач, не забывая при этом о программных работах.

Наилучший результат получается в том случае, когда каждый ученик самостоятельно выполняет работу. Но опыт работы показывает, что для многих школ такая форма неприемлема из-за ограниченности оборудования. В большинстве школ отдельные работы практикума выполняются двумя учащимися.

Исходя из числа комплектов отдельных работ, учитель составляет график, согласно которому работают учащиеся. Очень важно при составлении работ продумать, какие умения и навыки в области физики и техники должны приобрести учащиеся в результате выполнения отдельных экспериментальных задач.

Успешное проведение практикума во многом определяется четкими требованиями.

Очень важно до начала занятий эти требования довести до сведения учащихся, а во время работы неуклонно следить за их выполнением.

Необходимо, чтобы учитель проверял теоретическую подготовку учащихся непосредственно перед выполнением работ. Но отсутствие специального времени не позволяет это делать в полной мере. Опыт работы показывает, что учащихся можно научить готовиться к практическим работам, если перед каждым занятием учитель выборочно проверяет подготовленность не всей подгруппы, а отдельных учеников. А для такой проверки учителю нужно всего лишь 5—8 минут.

Во время занятия преподаватель должен внимательно следить за качеством выполнения работ отдельными учениками, с тем чтобы свои замечания учесть при просмотре и оценке письменных отчетов учащихся.

ТЕХНИКА ПОДГОТОВКИ ФИЗИЧЕСКОГО ПРАКТИКУМА

При постановке физического практикума подготовительная работа учителя имеет более важное значение, чем при постановке фронтальных работ, так как экспериментальные задачи практикума гораздо больше по объему и труднее по содержанию и, кроме того, при выполнении практикума учащимся предоставляется значительно большая самостоятельность.

Подготовку отдельных экспериментальных задач физического практикума можно осуществлять в следующей последовательности:

1. Уточнение тематики экспериментальных задач по отдельным классам.
2. Выбор методики и проведения отдельных экспериментальных задач.
3. Комплектование работ приборами, принадлежностями и материалами.
4. Выявление особенностей действия приборов и установок по отдельным работам.

5. Исследование выбранной методики проведения эксперимента.
6. Составление письменной инструкции для учащихся с учетом проведенного методического исследования или указания к печатным руководствам.
7. Окончательная регулировка приборов и установка их на рабочие места.
8. Составление графика работы учащихся.

Опыт работы школ показывает, что учащиеся старших классов с большим желанием и интересом оказывают учителям посильную помощь в подготовке работ физического практикума.

ГЛАВА IV

СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИКУМА ПО МЕТОДИКЕ И ТЕХНИКЕ ШКОЛЬНОГО ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

ВИДЫ ЗАНЯТИЙ В МЕТОДИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

В лаборатории методики физики студенты должны получить знания и навыки, связанные с методикой и техникой всех видов школьного физического эксперимента.

Исходя из этого, все работы, которые необходимо поставить в методической лаборатории, можно разбить на четыре вида:

1. Изучение основного оборудования физического кабинета.
2. Постановка демонстраций по наиболее сложным в экспериментальном отношении темам курса физики.
3. Постановка фронтальных лабораторных работ.
4. Постановка физического практикума.

В отличие от работ практикума по общей физике в методическом практикуме студенты должны осуществлять большинство экспериментов в виде демонстраций. При этом все демонстрации производить так, как это делает учитель на уроке.

Поэтому качество своих опытов в практикуме студенты должны расценивать только с точки зрения восприятия своих воображаемых учеников[1].

В методическом практикуме все работы укомплектованы набором различных физических приборов и принадлежностей, необходимых для проведения экспериментов по всей теме. В процессе работы студенты должны выбрать из этого набора приборы, нужные для постановки отдельных демонстраций.

Кроме того, в методическом практикуме студенты имеют в своем распоряжении только школьные физические приборы, резко отличающиеся по своей чувствительности от приборов, используемых в практикуме по общей физике.

Очень важно, чтобы каждый студент овладел культурой техники постановки различных школьных экспериментов, с тем чтобы в дальнейшем воспитывать культуру труда у своих учеников.

[1] В. Е. Горшков, С. И. Иванов, А. А. Покровский, Методика и техника школьного физического эксперимента, Учпедгиз, 1940, стр. 4.

РАБОТЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО КАБИНЕТА

Постановка этой группы работ имеет цель изучить устройство приборов, относящихся к основному оборудованию физического кабинета, и их применение для различных демонстраций.

Подавляющее большинство демонстраций требует применения приборов основного оборудования. Поэтому качество постановки их во многом определяется знаниями преподавателя устройства и правил эксплуатации основного оборудования физического кабинета.

Практика показывает, что во многих школах часто не показываются на уроках многие демонстрации только из-за незнания учителем устройства и правил эксплуатации приборов.

В работах по изучению основного оборудования студенты должны ознакомиться с устройством приборов разных систем и конструкций, которые сейчас выпускаются и выпускались раньше промышленностью.

Это вызвано тем, что в большинстве старых школ физические кабинеты оснащены основным оборудованием, представляющим собой приборы старых конструкций.

Студенты должны научиться:

1. На основе принципиальных схем приборов разбираться в монтажных схемах.
2. Правильно разбирать и собирать приборы.
3. Быстро проверять исправность приборов.
4. Устранять небольшие дефекты в работе приборов.
5. Включать, выключать и регулировать приборы.

Для изучения основного физического оборудования предлагаются следующие работы:

Насосы.
Химические источники тока.
Электроизмерительная аппаратура.
Трансформаторы.
Выпрямители.
Электрораспределительный щит.
Проекционная аппаратура.
Виды проецирования.

РАБОТЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ МЕТОДИКИ И ТЕХНИКИ ДЕМОНСТРАЦИЙ

Цель работ — дать студентам знания и навыки по методике и технике демонстраций наиболее сложных в экспериментальном отношении тем курса физики.

Важно, чтобы все эксперименты, предложенные в заданиях, выполнялись в виде демонстраций.

Студенты при проведении той или иной демонстрации должны продумать, как можно ввести то или иное физическое понятие или установить какую-либо закономерность.

Во всех работах данной группы число демонстраций, предлагаемых в описаниях, значительно больше, чем имеется возможность выполнить студенту в течение одного занятия. Поэтому из общего числа демонстраций студент должен отобрать для выполнения тот минимум, который необходим для полноценной той или иной темы. При этом не просто выбрать отдельные демонстрации, а указать, как их расположить в логической последовательности, какие опыты предложить для домашнего выполнения, какие можно отнести на кружковую работу. Всем этим пунктам необходимо дать логическое обоснование.

Для развития творческого отношения к выполнению экспериментальных работ во многих заданиях указываются не рисунки всей установки, а лишь их принципиальные схемы. Некоторые задания даются без обстоятельных пояснений по методике и технике их выполнения.

Кроме того, в руководствах поставлены вопросы, ответы на которые можно получить лишь из опытов, не описанных в руководствах.

Работы должны содействовать в приобретению студентами навыков по технике постановки демонстраций. Очень важно, прежде чем использовать то или иной неизвестный прибор, опробировать его и установить технические особенности.

При постановке этих работ студенты должны научиться:

1. Выявлять демонстрационные качества отдельных физических приборов.
2. Собирать по принципиальным схемам наглядные демонстрационные установки.
3. Оценивать методические недостатки и преимущества отдельных демонстраций.
4. Получать эффективные результаты демонстраций.
5. Обобщать экспериментальные данные.
6. Правильно располагать приборы в целях лучшей видимости демонстраций.
7. Давать методические обоснования целесообразности постановки отдельных демонстраций.
8. Обеспечивать безопасность проведения демонстраций.

В данном руководстве предлагается описание по следующим темам курса физики средней школы.

Механика

Действие жидкости и газа на погруженное в них тело (закон Архимеда).
Законы динамики.
Вращательное движение.

Сложение и разложение сил.
Параллельные силы. Центр тяжести.
Механические колебания.
Звук.
Движение жидкостей и газов.

Теплота и молекулярная физика

Обоснование молекулярно-кинетической теории строения вещества.
Передача теплоты.
Молекулярные свойства жидкостей.

Электричество

Электризация тел.
Электрическое поле.
Закон Ома.
Термоэлектронная эмиссия и ее применение в электронных лампах.
Электрический ток в электролитах.
Электрический ток в газах.
Магнитное поле тока.
Электромагнитная индукция.
Взаимная индукция и самоиндукция.
Переменный ток.
Токи высокой частоты.
Электромагнитные волны.

Оптика

Геометрическая оптика.
Обоснование волновых свойств света.
Квантовые свойства света.
Строение атома.

ПОСТАНОВКА ФРОНТАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ И ФИЗИЧЕСКОГО ПРАКТИКУМА

В этих работах студенты знакомятся с методикой и техникой фронтальных лабораторных работ и работ физического практикума в средней школе.

Все экспериментальные задания в работах имеют форму методического исследования, связанного с проверкой каких-либо физических законов, измерением физических констант или наблюдением физических явлений.

Для проведения работ в форме методического исследования они укомплектованы различными лабораторными приборами и установками, позволяющими разрешать одну и ту же экспериментальную задачу в различных вариантах.

При этом в одних заданиях предлагается разрешить определенную экспериментальную задачу, применяя различное оборудование, в других — различные методы при одном и том же оборудовании.

В работах большинство вопросов направлено на выявление положительных и отрицательных сторон различных методов измерений, физических и технических особенностей приборов и установок, а также средств, повышающих точность измерений.

В процессе этой работы студенты должны научиться:

1. Выявлять экспериментальные качества лабораторного оборудования.

2. Проводить методические исследования, связанные с постановкой одной и той же экспериментальной задачи различными методами, используя различное оборудование.

3. Осуществлять подготовку экспериментальных задач эвристических и проверочных приемами.

4. Укомплектовывать лабораторные работы необходимым оборудованием.

5. Составлять инструкции по лабораторным работам для учащихся.

6. Осуществлять проведение лабораторных работ, соблюдая технику безопасности.

В предлагаемом руководстве представлены по данной группе следующие работы.

По методике и технике фронтальных лабораторных работ:

Определение коэффициента трения скольжения.

Работы по теме «Теплота».

Определение поверхностного натяжения жидкости.

Определение теплового эквивалента работы по закону Джоуля — Ленца.

По методике и технике физического практикума:

Определение ускорения свободного падения.

Изучение механических свойств твердого тела.

Определение мощности электродвигателя.

ГЛАВА V

УКАЗАНИЯ К РАБОТАМ МЕТОДИЧЕСКОГО ПРАКТИКУМА

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Успех овладения школьным физическим экспериментом во многом определяется предварительной подготовкой к каждому практическому занятию.

При осуществлении эксперимента необходимо прежде всего выяснить его цель, а затем продумать технику демонстрирования, отвечающую этой цели.

Для этого в первую очередь надо хорошо знать требования программы к содержанию темы по школьному учебнику. Кроме того, необходимо иметь в виду, что ряд вопросов в школьном учебнике освещен в методическом отношении неполно, а некоторые вообще не освещены. Поэтому, для того чтобы иметь ясное представление о цели каждого эксперимента, относящегося к определенной практической работе в методическом практикуме, следует до выполнения работы изучить эту тему не только по школьному учебнику, но и по учебнику под редакцией академика Ландсберга [1].

Для успешного выполнения практических работ в соответствии с графиком студенты должны самостоятельно перед каждым занятием изучить следующие материалы:

1. Требования программы к изложению темы.
2. Изложение темы в школьном учебнике.
3. Изложение темы в «Элементарном учебнике физики» под редакцией Г. С. Ландсберга.
4. Дополнительную литературу, указанную в инструкциях.
5. Содержание работы.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ И СДАЧИ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

В зависимости от вида практической работы последовательность выполнения отдельных заданий различна, и она указана в описа-

[1] Г. С. Ландсберг, Элементарный учебник физики, т. I, II, III, Физматгиз, 1956, 1957, 1958.

ных работ. Поэтому здесь мы хотим остановиться лишь на общих положениях, распространяемых на все виды работ. При выполнении каждого экспериментального задания необходимо придерживаться следующей последовательности:

1. Внимательно прочитать задание в инструкции и выяснить целевое назначение эксперимента.

2. Ознакомиться по инструкции с предложенной методикой проведения эксперимента, а в тех заданиях, где ее нет, самому продумать ее.

3. Выяснить особенности техники проведения эксперимента, после чего приступить к выполнению задания:

а) Прежде всего нужно ознакомиться с устройством и демонстрационными качествами прибора, используемого для демонстрации, или с устройством и техническими возможностями прибора для лабораторной работы.

б) После испытания приборов собрать установку для демонстрации или для лабораторной работы.

в) При проведении демонстрационной работы один из студентов производит эксперимент, а второй, отойдя на некоторое расстояние, наблюдает и оценивает эффект, видимость, выразительность и доступность демонстрации.

Необходимо продумать, как увеличить эффект опыта (если он недостаточен), что следует изменить, чтобы усилить видимость и выразительность демонстраций.

г) После того как произведен эксперимент, нужно подумать и проверить возможность осуществления этой демонстрации в школьной обстановке.

д) Зарисовать в тетрадях установку и отметить особенности методики и техники постановки эксперимента, условия получения максимального эффекта и время, необходимое для проведения демонстраций.

Перед началом работы нужно проверить комплект выставленных приборов, подсобных материалов и инструментов по данной работе по списку оборудования, указанному в инструкции.

После того как студенты собрали сложную установку (требующую большого количества приборов и занимающую много места на демонстрационном столе) и продемонстрировали ее преподавателю, отметив особенность приборов и методику показа, установку следует разобрать, приборы положить на место и приступить к следующему эксперименту.

В тех случаях, когда эксперимент требует для обнаружения эффекта длительное время и не связан с большим количеством приборов, целесообразно подготовить несколько опытов такого рода, демонстрируя их один за другим.

По окончании работы оборудование сдать в полном порядке дежурным лаборантам.

В письменных отчетах студентов по отдельным работам должно быть указано:

а) тема лабораторной работы;

б) библиографический указатель литературы;

в) указание по методике и технике проведения наиболее сложных демонстраций и опытов;

г) чертежи, схемы отдельных установок, снабженные количественными данными;

д) развернутые ответы на поставленные вопросы.

В руководстве приведено больше работ, чем предусмотрено учебным планом института. По усмотрению руководителя методического практикума можно выбрать из имеющихся работ наиболее приемлемые для данного пединститута.

Опыт работы лаборатории методики физики МГПИ имени В. И. Ленина показывает, что двухчасовые занятия неудобны, поэтому мы предлагаем проводить практические работы, рассчитанные на трехчасовое занятие.

ГЛАВА VI

ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО КАБИНЕТА

1. УСТРОЙСТВО НАСОСОВ

Во многих разделах курса физики значительное число демонстраций требует использования различных разрежающих и нагнетательных воздушных насосов. Кроме того, программой предусмотрено изучение простейших типов насосов.

В физических кабинетах средней школы наиболее распространены следующие типы насосов: ручной насос Шинца, водоструйный насос, масляно-воздушный насос конструкции Комовского.

Эти насосы не дают возможности получать достаточного вакуума, необходимого для некоторых демонстраций. Так, опыт замораживания воды под колпаком воздушного насоса, осуществляемый с помощью насоса Комовского (максимальное разрежение $3 \cdot 10^{-1}$ *мм рт. ст.*), трудно осуществим.

Поэтому давно уже назрела необходимость пополнить физические кабинеты более современными насосами. Наиболее подходящий для физического эксперимента — широко распространенный в современных технических установках форвакуумный центробежный масляный насос.

Для того чтобы рационально выбрать тип насоса, нужно хорошо знать его устройство и принцип действия, технические требования к включению и выключению, мощность, максимальную степень разрежения.

Большинство опытов проводится со стеклянными приборами (трубка Ньютона, модель водоструйного насоса, разрядная трубка), поэтому необходимо соблюдать аккуратность в работе.

В работе используются ртуть (ртутные манометры) и кислота. Для обеспечения безопасности проведения экспериментов нужно руководствоваться указаниями, данными на стр. 15.

Литература

Г. Н. Горячкин. Методика и техника физического эксперимента, т. 1. Учпедгиз, 1948, стр. 209—215.

Б. И. Королев. Основы вакуумной техники, Гостехиздат, 1956, стр. 78—83.

С. Э. Фриш и А. В. Тиморева. Курс общей физики, т. 1. Физматгиз, 1959, стр. 180, 253—256.

Г. С. Ландсберг. Элементарный учебник физики, т. 1. Физматгиз, 1958, стр. 275, 276, 301, 302.

РУЧНОЙ НАСОС ШИНЦА

Ручной насос Шинца (рис. 7) представляет собой воздушный поршневой насос, нагнетающий воздух в сосуд или создающий в нем разрежение.

Нипелевое устройство в обоих его клапанах позволяет откачивать из сосуда воздух подключением к нему ниппеля *P* или нагнетать воздух в сосуд соединением его с помощью резиновой трубки с ниппелем *H*.

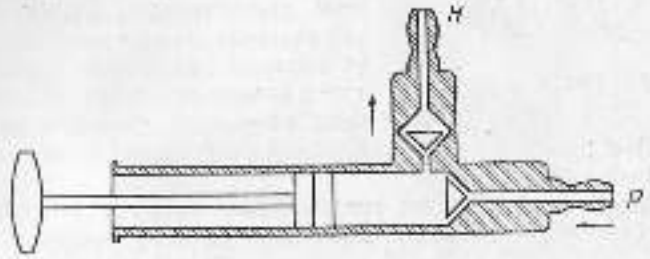


Рис. 7

Наивысшее разрежение ручного насоса — 20 *мм рт. ст.*; предельное давление — 2,5 *ат*. Мощность насоса невелика, поэтому при использовании его на уроках следует брать небольшие по объему сосуды.

Задание 1. Ознакомьтесь на приборе с устройством ручного насоса; разберите его, рассмотрите устройство поршня и клапанов.

Задание 2. Создайте разрежение в стеклянном сосуде, уменьшив атмосферное давление внутри него на $\frac{1}{3}$ первоначального давления.

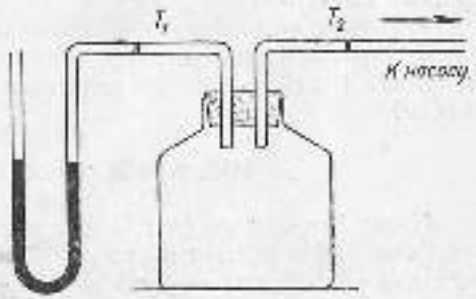


Рис. 8

Соберите установку по рисунку 8. Соедините сосуд с манометром и с насосом Шинца. Действуя поршнем, откачайте необходимое количество воздуха из сосуда. С помощью зажима закройте трубку T_2. По манометру подсчитайте давление воздуха в сосуде. Зажимом закройте трубку T_1 и отсоедините насос. Постепенно ослабляйте

зажим на трубке для равномерного выравнивания уровней ртути в манометре.

Задание 3. При помощи ручного насоса проделайте опыт с магдебургскими полушариями.

Осуществите тщательную подгонку мест соединения полушарий, для чего прогрите их спиртом и смажьте тонким слоем вазелина. Полушария соедините с помощью резиновой трубки с насосом (рис. 9). Поставьте кран в положение «открыто» и создайте нужное разрежение. Продемонстрируйте явление и заметьте время, необходимое для проведения этой демонстрации. Подсчитайте максимальную силу давления, действующую на полушария, предполагая, что с помощью насоса Шинка получено наивысшее разрежение (20 *мм рт. ст.*), и проверьте на опыте, какой наибольший по весу груз они могут выдержать.

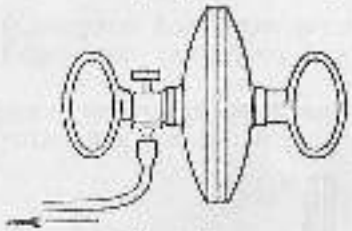


Рис. 9

Задание 4. Определите среднюю мощность отсечки воздуха из сосуда (изменение давления воздуха в единицу времени).

Вопросы

1. Как устроены клапаны ручного насоса? Объясните работу насоса при разрежении и нагнетании.
2. Как быстрее и с меньшей затратой сил соединить клапан насоса с резиновой трубкой (при плотном прилегании их)?
3. Почему ухудшается работа насоса при очень быстрых и коротких качаниях?
4. Каково назначение отверстия в нижней части цилиндра насоса?
5. Нуждается ли демонстрация опыта с магдебургскими полушариями в каких-либо дополнительных приемах повышения видимости?

МАСЛЯНЫЙ НАСОС КОМОВСКОГО

Насос Комовского (рис. 10) со специальной тарелкой, имеющей укороченный манометр и стеклянный колокол (рис. 11), предназначен для разрежения воздуха до 0,3 *мм рт. ст.* (наивысшее разрежение).

Насос может работать и как нагнетательный (предельное давление 4 *ат*).

Он приспособлен для работы с приборами, имеющими ниппель, и с приборами, снабженными приплифованным дном, которые устанавливаются при разрежении в них воздуха на тарелку воздушного насоса. Принципиальная схема насоса показана на рисунке 12.

Насос состоит из цилиндра, внутри которого движется поршень, приводимый в движение кривошипным механизмом. Дно цилиндра, имеющее форму круглой пластины, съемное и удерживается в его нижней части пружиной. Оно одновременно выполняет роль клапана. Цилиндр с поршнем помещены в сосуд, заполненный маслом (обычно используется машинное масло).

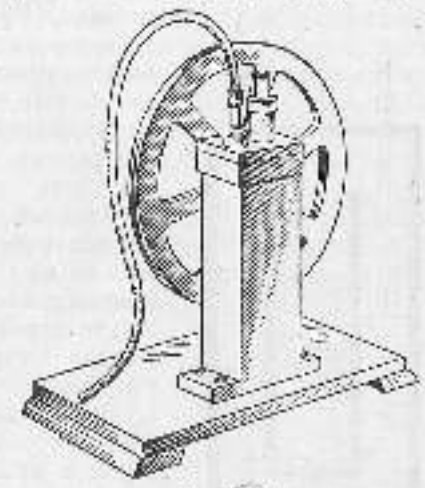


Рис. 10

Насос работает по принципу отсечки. При движении поршня вниз масло под его давлением отжимает дно и полностью выходит из цилиндра. При движении поршня вверх между поршнем и дном цилиндра образуется разреженное пространство, и в тот момент, когда поршень дойдет до начала боковой щели, воздух войдет в цилиндр. Атмосферное давление, передаваемое через масло, придавит дно к цилиндру, и оно в этом положении будет удерживаться упругой силой пружины. При обратном движении поршень закроет боковую щель, отсечет вошедший воздух, произойдет сжатие воздуха, а затем выталкивание его в пространство с маслом.

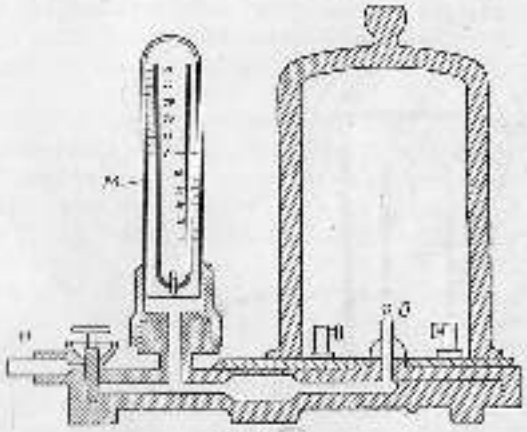


Рис. 11

На крышке кожуха укреплен маслоуловитель, состоящий из пластины, прикрывающей снизу отверстие крышки, и цилиндрической коробки с находящимися в ней тремя конусами, два из которых

спаяны вместе. Воздух, пройдя конусный маслоуловитель, выходит через ниппель наружу. Маслоуловитель задерживает мелкие капли масла, уносимые выходящим из кожуха воздухом. На рисунке 13, а показан разрез насоса; в верхнем правом углу виден маслоуловитель, схема которого показана отдельно на рисунке 13, б.

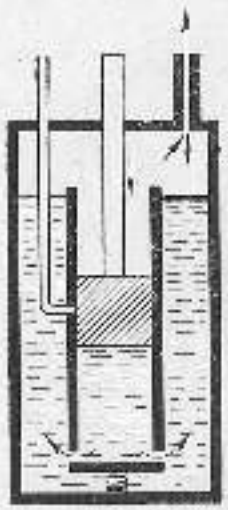
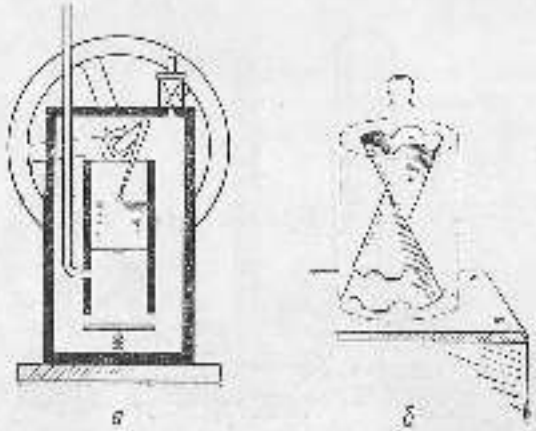


Рис. 12

Вращение ствола насоса «вручную» целесообразно заменить вращением его от электродвигателя мощностью 0,25 *квт*. При этом необходимо учесть, что конструкция насоса не допускает скорости вращения, большей 200 *об/мин*. Дальнейшее увеличение числа оборотов вызовет резкое сокращение промежутка времени, в течение которого щель цилиндра открыта, поэтому под цилиндр из разреженного пространства будет поступать слишком мало воздуха.

Ряд опытов с насосом Кокоевского осуществляется при помощи тарелки с манометром и стеклянным колоколом (рис. 11).

Соединительный клапан связывает ниппель *Н* с помещенным в центре массивного чугунного диска отвинчивающимся ниппелем *О* (рис. 11). От канала идет отвод к манометру *М*. Наличие отвинчивающегося ниппеля позволяет ставить опыты с насосом при работе без колокола. Схема соединительного клапана показана на рисунке 14.



а *б*

Рис. 13

Манометром контролируется работа установки во время опыта. Его показания относятся и к пространству под колпаком, в который он заключен, и к пространству под колоколом. В тех случаях,

когда работают с тарелкой без колокола, манометр показывает разрежение в сосуде, соединенном с ниппелем тарелки.

Работа установки зависит от надежного действия крана, запирающего соединительную трубку. Сверху на кране изображена стрелка, острие которой при выкачивании воздуха должно быть направлено к насосу; в других положениях кран запирает канал.

Для соединения насоса с приборами применяют резиновые шланги или трубки. Для этих целей используют толстостенные трубки или трубки со вставленными пружинами из латунной проволоки.

Для соединения приборов, имеющих различные диаметры насадок, применяются переходные соединители, представляющие собой либо стеклянную трубку с переменным сечением, либо трубку с клапанами, имеющими различные диаметры.

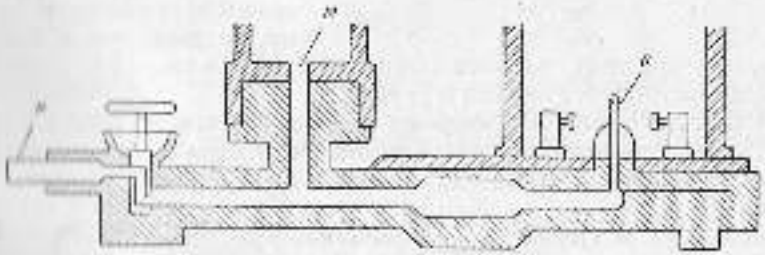


Рис. 14

Задание 5. Ознакомьтесь с устройством масляного насоса Кокоевского. На специально разобранном насосе рассмотрите устройство цилиндра, поршня, маслоуловителя и кривошипного механизма.

Задание 6. Рассмотрите устройство тарелки, колокола и манометра. Изучите положения крана «открыто» и «закрыто». Объясните процесс нагнетания воздуха под колокол и создания под ним разреженного пространства.

Задание 7. Продемонстрируйте скорость падения тел в вакуумной трубке Ньютона.

Соедините трубку Ньютона с насосом при помощи резинового шланга (рис. 15). Поверните кран в положение «открыто». После создания нужного разрежения закройте кран трубки и снимите шланг. Установите трубку в вертикальном положении и продемонстрируйте одинаковую скорость падения различных тел. Быстрым движением поверните трубку на 180° и повторите опыт.

Обратите внимание на положение рук, при котором наиболее удобно сделать поворот трубки. Запишите показание манометра, при котором опыт идет с наибольшим успехом.

Откройте кран трубки и покажите, что при постепенном увеличении давления воздуха до величины атмосферного давления скорость

падения тел становится различной. Определите время, необходимое для осуществления опыта.

Дайте обоснование, как целесообразно в методическом отношении осуществить демонстрацию: сначала показать падение тел в вакууме, а потом при атмосферном давлении или наоборот? Целесообразно ли создавать разрежение в трубке до урока?

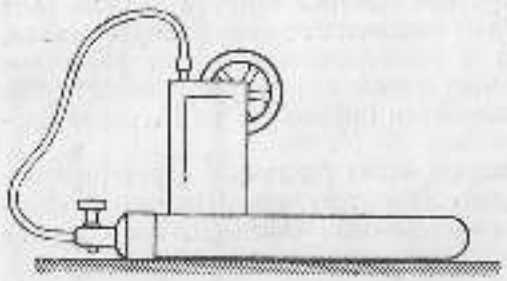


Рис. 15

Задание 8. Покажите фонтан в вакууме.

Соедините прибор с насосом (рис. 16) и создайте в сосуде достаточное разрежение воздуха. Закройте зажимом резиновую трубку, соединенную с прибором, отъедините ее от насоса и опустите трубку в сосуд с жидкостью. Продемонстрируйте фонтан в трубке.

Отметьте время, необходимое для осуществления опыта.

Повторите опыт с фонтаном с помощью насоса Шпица. Отметьте время выполнения опыта. Дайте сравнительную оценку работы насосов.

Задание 9. Покажите электрический разряд в воздухе с помощью разрядной трубки (при различных давлениях).

Соберите электрическую цепь (рис. 17). Разрядную трубку прочно закрепите в штативе и соедините при помощи резинового шланга с насосом Комовского. Замкнув цепь, покажите, что при атмосферном давлении воздуха в трубке свечения не наблюдается. Увеличивая разрежение, покажите ослабление искрового разряда между электродами вторичной обмотки индукционной катушки и возникновение свечения в трубке. Обратите внимание на характер свечения в трубке и на то, как оно будет меняться по мере уменьшения давления воздуха.

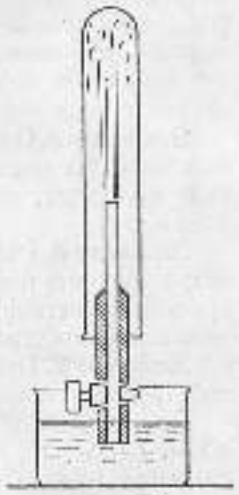


Рис. 16

Разомкните цепь, закройте зажимом шланг. Снимите шланг с насоса и затем постепенно впускайте воздух в трубку. Покажите процесс изменения свечения воздуха с увеличением давления в трубке (см. цветную вклейку). Объясните наблюдаемое явление.

Задание 10. Продемонстрируйте кипение воды при пониженном давлении. При выполнении работы строго соблюдайте правила обращения с кислотами (стр. 50).

Очистите от загрязнения плоскость тарелки и торцовую часть колокола, протерев их спиртом. Установите на тарелку насоса кристаллизатор с концентрированной серной кислотой, поверх которого

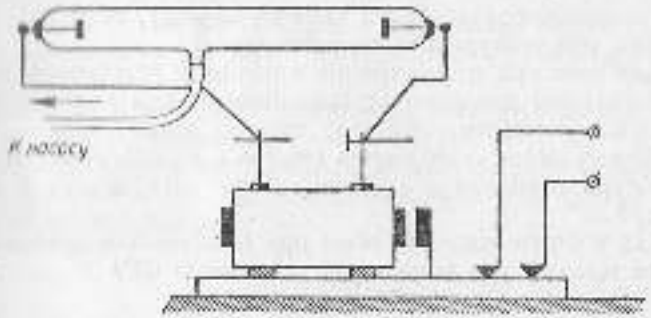


Рис. 17

расположено вогнутое стекло с небольшим количеством воды, температура которой 40—60° (рис. 18). Осуществите тщательную подгонку поверхности колокола с плоскостью тарелки, для чего смажьте торцовую часть колокола тонким слоем вазелина и медленно поворачивайте колокол относительно тарелки. Соедините тарелку с разрежающим краном насоса. Создайте необходимое разрежение под колоколом и покажите кипение.

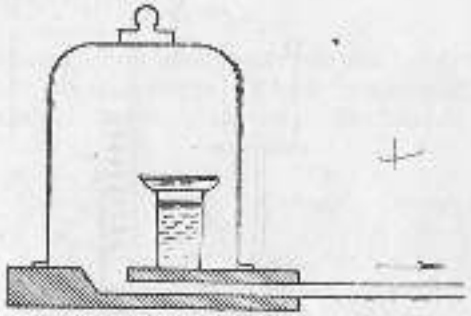


Рис. 18

Задание 11. Покажите ослабление звука звонка в разреженном пространстве.

Осуществите тщательную подгонку мест соприкосновения тарелки и колокола, руководствуясь указаниями, данными в задании 10, предварительно поставив звонок под колокол насоса, подложив под него войлочную подкладку. Покажите, что при атмосферном давлении воздуха под колоколом отчетливо слышен звук, а при увеличении разрежения звук постепенно ослабевает.

Вопросы

1. Каково назначение пластинки конусов маслоуловителя?
2. Чем отличается укороченный манометр от обычного манометра, от сифонного барометра?

3. Почему появление течения в разрядной трубке предшествует ослаблению электрического разряда между электродами вторичной обмотки индукционной катушки?

4. Почему для демонстрации кипения воды при пониженном давлении нецелесообразно брать кипяченую воду, температура которой равна температуре окружающей воды?

6. Для чего при демонстрации кипения и замораживания воды при пониженном давлении устанавливается под колоколом сосуд, содержащий концентрированную серную кислоту?

7. Почему после выполнения опытов с использованием манометра необходимо медленно выпускать воздух в ртутный манометр?

8. Как в опыте кипения воды при пониженном давлении показать, что температура кипения не превышает 60°?

ВОДОСТРУЙНЫЙ НАСОС

Водоструйный насос предназначен для разрежения или нагнетания воздуха в сосуд. Его действие основано на изменении гидростатического давления с изменением скорости течения жидкости

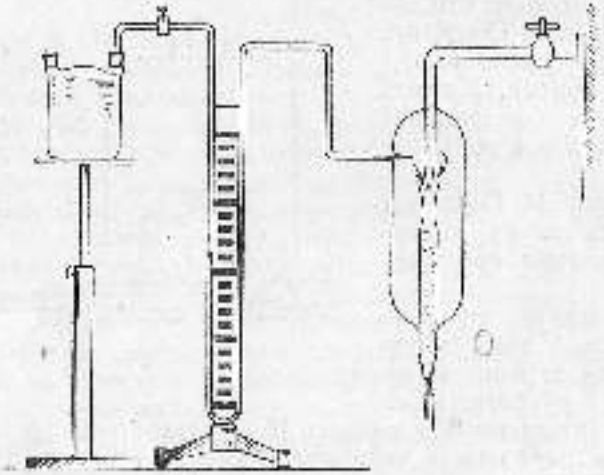


Рис. 19

или газа. В физических лабораториях широкое распространение получили два вида водоструйных насосов: стеклянный и металлический.

Задание 12. Познакомьтесь с устройством водоструйного насоса по действующей стеклянной модели.

Задание 13. С помощью водоструйного насоса уменьшите давление воздуха в стеклянном сосуде на $\frac{1}{3}$ от первоначального давления (рис. 19).

Задание 14. Проделайте опыты с изменением величины атмосферного давления на приборе Герике, разрежая и нагнетая в него воздух.

Примечание. После окончания демонстрации извлеките поршень из цилиндра и просушите его.

Задание 15. Определите среднюю мощность отсчёта воздуха из сосуда и сравните ее с величиной средней мощности откачки воздуха ручным насосом Шпица.

Вопросы

1. Как устранить попадание воды в стеклянный сосуд при демонстрации уменьшения давления в нем с помощью водоструйного насоса?

2. Как обеспечить постепенное выравнивание уровней ртути в манометре после выполнения демонстрации, указанной в задании 13?

ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ НАСОС

В настоящее время поршневые насосы не применяются в технических установках. Вместо них используются насосы, в которых возвратно-поступательное движение поршня заменено вращательным движением лопастей.

Внутри металлического корпуса эксцентрично помещен металлический цилиндр. Две лопасти S и S', вставленные в разрез цилиндра и раздвигаемые помещенной между ними пружиной, разделяют на две части пространство между цилиндром и стенкой цилиндрической полости. Принцип действия насоса выясняется при рассмотрении четырех случаев последовательного положения лопастей (рис. 20).

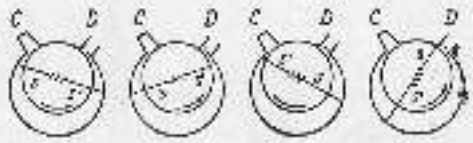


Рис. 20

Лопасти S и S' при поворачивании засасывают воздух через трубку C и выталкивают его через клапан D. При вращении цилиндра, осуществляемого электродвигателем этот процесс непрерывно повторяется.

По избежание просачивания газа под лопасти и в другие места насоса осуществляется непрерывная автоматическая смазка всех его частей маслом. Применяется для смазки вакуумное масло ВМ-1. На рисунке 21 показана схема одного из типов центробежного масляного насоса — форвакуумного насоса ВН-461-М. Превышение

разрежение насоса 10^{-4} *мм рт. ст.* Мощность электродвигателя 0,6 *квт* при скорости вращения 1440 *об/мин*. Питание подается от сети переменного тока напряжением 220—380 *в*.

Для нормальной работы насоса требуется, чтобы температура воздуха в физическом кабинете была в пределах от 10 до 20°. Для уменьшения шума полезно подложить под насос лист мягкой резины толщиной 10—15 *мм*.

За 20 минут работы насос обеспечивает вакуум, соответствующий $2 \cdot 10^{-3}$ *мм рт. ст.*, за 3 минуты — 2 *мм рт. ст.* (насос Кокосского для создания такого разрежения должен работать 10 минут). Перед пуском насоса рекомендуется провернуть пружину несколько раз его шкив в направлении по часовой стрелке. Необходимо следить

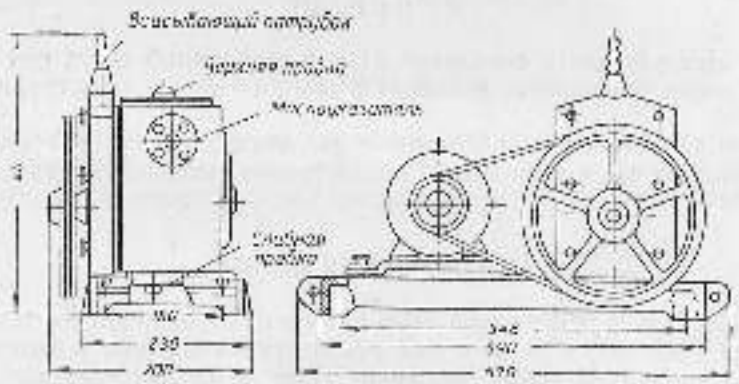


Рис. 21

за уровнем масла в насосе и доливать его. Замена масла производится через 100—150 часов работы (практически один раз в 2—3 года).

Задание 16. Рассмотрите устройство форвакуумного насоса. Объясните принципиальную схему его действия.

Задание 17. Покажите с помощью форвакуумного насоса электрический разряд в газе с помощью разрядной трубки. (Порядок выполнения работы указан в задании 9.)

Выясните, с каким из двух насосов целесообразнее демонстрировать разряд в газе: с форвакуумным или насосом Кокосского.

Задание 18. Покажите замораживание воды комнатной температуры при пониженном давлении.

При выполнении работы строго соблюдайте правила обращения с кислотами.

Тщательно подготовьте места соприкосновения тарелки и колокола, руководствуясь указаниями, данными в задании 10.

Установите на тарелку насоса кристаллизатор с концентрированной серной кислотой, поверх которого расположите вогнутое стекло с небольшим количеством воды, температура которой 20—25°.

	Источник света близко расположен к конденсору			Источник света удален от конденсора	
1		На главной оптической оси	1		На главной оптической оси
2		На главной оптической оси	2		На главной оптической оси
3		На главной оптической оси	3		На главной оптической оси
4		Выше оптической оси	4		Выше оптической оси
5		Ниже оптической оси	5		Ниже оптической оси
6		Слева от оптической оси	6		Слева от оптической оси
7		Справа от оптической оси	7		Справа от оптической оси
8		Установлен правильно	8		Установлен правильно

Соедините тарелку с всасывающим патрубком форвакуумного насоса и отсасывайте воздух до тех пор, пока не закипит вода.

Образовавшиеся пары воды будут поглощаться концентрированной серной кислотой, а это приведет к образованию тонкого слоя льда на поверхности воды.

Запишите степень разрежения воздуха, при котором наблюдается замораживание воды, заметьте время проведения опыта.

Вопросы

1. Каково принципиальное отличие центробежного масляного насоса от насоса Комовского?
2. Как сделать видимым всем учащимся демонстрацию замораживания воды при пониженном давлении?
3. Как осуществить и объяснить опыт надувания резиновой воздухонепроницаемой камеры в разреженном пространстве?

Приборы и материалы

Ручной насос Шинга; масляный насос конструкции Комовского; металлический водоструйный насос с ртутным манометром; разборный насос Комовского; разборный насос Шинга; центробежный масляный насос; тарелка с колоколом и укороченным ртутным манометром; трубка Ньютона; магдебургские тарелки; прибор Герике; сосуд для демонстрации фонтана; разрядная трубка; стеклянная модель водоструйного насоса; индукционная катушка; батарея аккумуляторов или купроксный выпрямитель; звонок на войлочной подставке; плоский стеклянный сосуд; набор соединительных проводов; набор резиновых трубок; технический вазелин; штатив с держателем для разрядной трубки; зажимы для резиновой трубки; химически чистая серная кислота; денатурированный спирт.

2. ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА

Для большинства лабораторных работ и демонстраций требуются источники постоянного тока с небольшой э. д. с., с помощью которых можно на короткое время получать в цепи ток значительной величины. Такими источниками могут служить гальванические элементы и аккумуляторы.

Даже если в физическом кабинете переменный и постоянный токи подведены к ученическим столам, гальванические элементы и аккумуляторы не теряют своей ценности. Они незаменимы как при проведении первых лабораторных работ по электричеству, (сборка простейших электрических цепей), так и при осуществлении более сложных работ (определение внутреннего сопротивления источника тока, нахождение его э. д. с, соединение элементов в батарею и т. п.).

Кроме того, программой предусмотрено специальное изучение химических источников тока, их устройства и принципа действия.

При проведении работ по этой теме необходимо ознакомиться с устройством и правилами эксплуатации гальванических элементов и аккумуляторов и научиться составлять для них растворы кислот и щелочей; ознакомиться с методикой проведения и техникой постановки отдельных демонстраций, в которых используются химические источники тока.

Литература

Д. Д. Галанин и др., Физический эксперимент в школе, т. I, Учпедгиз, 1954, стр. 117—133.

Д. Д. Галанин и др., Физический эксперимент в школе, т. III, Учпедгиз, 1954, стр. 312—319.

И. М. Малышев, Электрооборудование школьного физического кабинета, Учпедгиз, 1958, стр. 5—36.

Г. П. Горячкин, Методика преподавания физики в семилетней школе, т. III, Учпедгиз, 1950, стр. 569—587.

В. А. Буров, Улучшение использования гальванических элементов, «Физика в школе», 1955, № 5, стр. 57—61.

В работе используются растворы кислот и щелочей. Обращение с этими растворами требует большой аккуратности и осторожности. Поэтому, прежде чем приступить к выполнению работы, необходимо ознакомиться с правилами обращения с электролитами и строго их придерживаться.

1. Вся посуда, используемая в работе, должна быть хорошо промыта. Изготовлять растворы в той же посуде, в которой будет собран элемент, нельзя.

2. При составлении раствора серной кислоты наливать кислоту в воду, а не наоборот, во избежание сильного нагревания, разбрызгивания и даже взрыва сосуда с раствором.

3. При растворении концентрированной серной кислоты в воде следует пользоваться только тонкостенной химической посудой, так как толстые стенки банок могут лопнуть вследствие неравномерного нагревания.

4. Наливать в сосуды концентрированную кислоту и щелочь можно только через воронку тонкой струйкой.

5. Нельзя наклоняться над сосудом, в который наливается раствор, так как незаметные брызги могут попасть в глаза. В случае попадания таких брызг глаза следует тщательно промыть.

Промывать глаза можно нейтрализующими слабыми растворами: для кислоты — 3-процентным раствором двууглекислой соды; для щелочи — 2-процентным раствором борной или уксусной кислоты. После промывки нужно немедленно обратиться к врачу.

Разлитую кислоту необходимо смывать большим количеством воды и для нейтрализации смачивать поверхность предмета, подвергшегося действию кислоты, 3-процентным раствором соды или нашатырным спиртом.

6. Растворы едкого кали и едкого натра быстро разрушают органические вещества. Поэтому, если на кожу попала концентрированная щелочь, нужно это место тщательно промыть, а затем нейтрализовать 3-процентным раствором уксусной кислоты или 2-процентным раствором борной кислоты.

7. Категорически запрещается нюхать реактивы, а тем более пробовать их на вкус.

8. Нельзя наливать в аккумуляторы горячий раствор. Перед использованием раствора надо дать ему остыть до комнатной температуры.

9. Вынутые из раствора электроды следует тщательно промыть, прежде чем положить на стол или в ящик. Электроды, необходимые для опыта, должны быть предварительно осмотрены и с них должны быть удалены малейшие следы грязи и окислов (белые и серые пятна); такой же осмотр следует производить и после опытов.

10. Изготовление растворов производить в сосудах с подставками (стеклянные или эмалированные кюветы).

Составление растворов

Задание 1. Приготовьте 10-процентный раствор серной кислоты для гальванического элемента Вольта.

Налейте в стакан необходимое количество воды и осторожно долейте кислоту (соблюдая при этом перечисленные правила техники безопасности).

Кислота плотностью 1,84 *г/см*^{3} наливается из расчета 5 *мл* кислоты на 95 *мл* воды.

Плотность полученного раствора должна быть 1,07 *г/см*^{3}, что можно проверить с помощью ареометра, после того как раствор остынет.

Задание 2. Приготовьте 26-процентный раствор серной кислоты для свинцовых аккумуляторов.

Для приготовления раствора возьмите концентрированную химически чистую кислоту плотностью 1,84 *г/см*^{3} и дистиллированную воду (в крайнем случае чистую дождевую или снеговую воду). Чтобы получить требуемую плотность раствора 1,18—1,19 *г/см*^{3}, нужно брать 218 *мл* кислоты на 1 *л* воды.

Плотность остывшего раствора проверьте ареометром. Если в распоряжении имеется только ареометр с делениями на градусы по Боме, то для перевода можно воспользоваться следующими формулами:

$$D = \frac{144{,}3}{144{,}3 - B},$$

$$B = 144{,}3\,\frac{D-1}{D},$$

где D — плотность в *г/см*^{3},

B — плотность в градусах по Боме.

Раствор плотностью 1,18—1,19 $г/см^3$ будет иметь концентрацию по Боме 22—25°.

Задание 3. Приготовьте 20-процентный раствор едкого кали для щелочного аккумулятора.

В стеклянную (лучше фарфоровую) посуду положите в твердом виде едкое кали[1] из расчета 100 *г* на 350 $см^3$ воды, а затем осторожно наливайте дистиллированную воду. Перемешивайте стеклянной палочкой до полного растворения. Дав раствору остыть, проверьте его плотность. При 15° она должна быть 1,18—1,21 $г/см^3$ или 23—25° по Боме.

Гальванические элементы

Для выполнения большинства лабораторных ученических работ удобнее всего пользоваться сухими гальваническими элементами типа ЭС-Л-30 и МВД с электродвижущей силой 1,5 *в*.

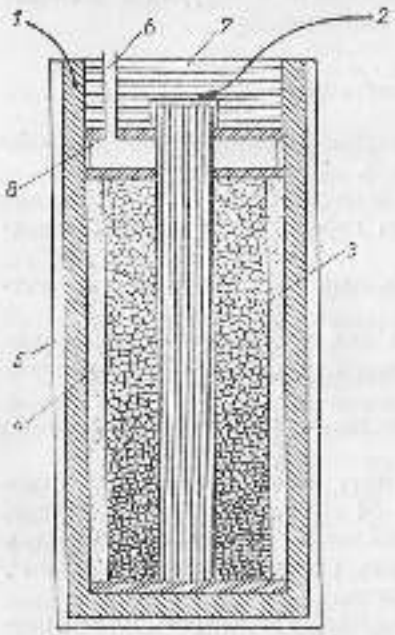


Рис. 22

Для выполнения демонстрационных опытов по курсу электричества в старших классах, а также для проведения некоторых работ физического практикума целесообразнее приобретать элементы и батареи большой электроемкостью, например типа ЭС-30, ЭСМВД-60, БНС-10, БАС-Г-80.

Устройство сухого элемента типа ЭС-Л-30 показано на рисунке 22. Отрицательный цинковый электрод *1* имеет форму сосуда размером 35 × 55 × 130 *мм*. Положительный электрод *2* представляет собой угольный стержень, окруженный деполяризатором *3*. Деполяризатор состоит из перекиси марганца, смешанной с графитом. Эта смесь заключена в холщовый мешок, обмотанный нитками, на поверхности которого имеется несколько изоляторов в виде бусинок, для того чтобы стенки мешочка не касались цинка. Пространство между мешками и внутренними стенками сосуда заполняется клейстером *4*, замешанным на растворе хлористого аммония (нашатыря).

[1] Во избежание ожога твердую щелочь брать только пинцетом или, надев резиновые перчатки, руками. Размельчать щелочь не надо, так как замедленное растворение крупных кусков предохраняет от сильного перегрева.

Боковые стенки сосуда и дно оклеиваются парафинированной бумагой *5*, что делает внешнюю поверхность непроводящей и предохраняет элемент от сырости.

Верхняя часть сосуда заливается специальным смоляным составом *7*, сквозь который пропущена тонкая стеклянная трубочка *6*, предназначенная для выхода газов, образующихся при работе элемента. Смоляная заливка отделяется от полужидкого клейстера картонной шайбой *8*.

Электродвижущая сила элемента ЭС-Л-30 — 1,5 *в*. Емкость при разряде до 0,7 *в* — 29,5 *а · ч*.

Элементы типа МВД с воздушной деполяризацией имеют агломерат, состоящий из активированного угля с примесью графита и марганцевой руды.

Деполяризатором служит кислород из атмосферы, который проникает к агломерату через несколько отверстий, сделанных в верхней крышке элемента. При работе элемента эти отверстия должны быть открыты, а при хранении — закрыты резиновыми пробками.

Этот тип элементов особенно ценен для школ, потому что при тех же размерах, что и элемент обычной марганцевой системы, элемент МВД обладает в два раза большей емкостью — до 150 *а · ч* с э. д. с. 1,4 *в*.

Первоначальная величина э. д. с. сухого элемента в зависимости от его устройства колеблется от 1 до 1,5 *в*.

В процессе разряда напряжение на зажимах элемента понижается. Элемент считается окончательно разряженным, когда его напряжение понизится до 0,7 *в*.

Элементы указанных типов на короткое время (5—8 *сек*) допускают ток до 5—7 *а*.

При замыкании концов элемента накоротко он может развить ток величиной до 10 *а*. Но делать этого не следует, так как короткое замыкание сильно сокращает продолжительность службы элемента.

Внутреннее сопротивление элемента колеблется от 0,25 *ом* в начале разряда до нескольких *ом* в конце разряда.

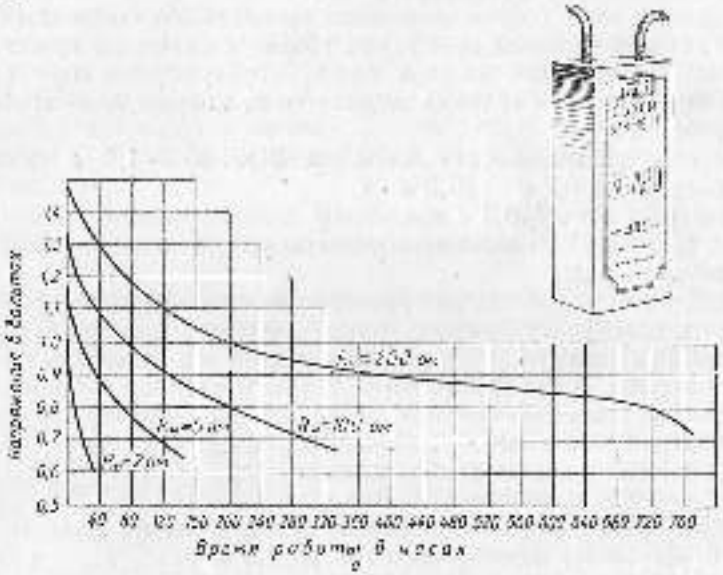
Продолжительность службы элемента и его отдача во многом зависят от правильного обращения с ним. Прежде всего элементы и батареи не следует разряжать предельным током. Этот ток можно рассчитать, зная э. д. с. и величину допустимого сопротивления нагрузки. На рисунке 23, *а*, *б*, *в*, *г* даны кривые разрядки, показывающие зависимость рабочего напряжения элементов и батарей от времени разряда при различных нагрузочных сопротивлениях $R_н$[1].

Эти величины указаны на заводских этикетках элементов и батарей.

В тех случаях, когда требуются токи больше предельных, необ-

[1] Е. Н. Горячкин, Методика преподавания физики в семилетней школе, т. III, Учпедгиз, 1956, стр. 588—589.

ходимо элементы соединять в параллельные группы. При разряде элементов надо делать хотя бы кратковременные перерывы в их работе.



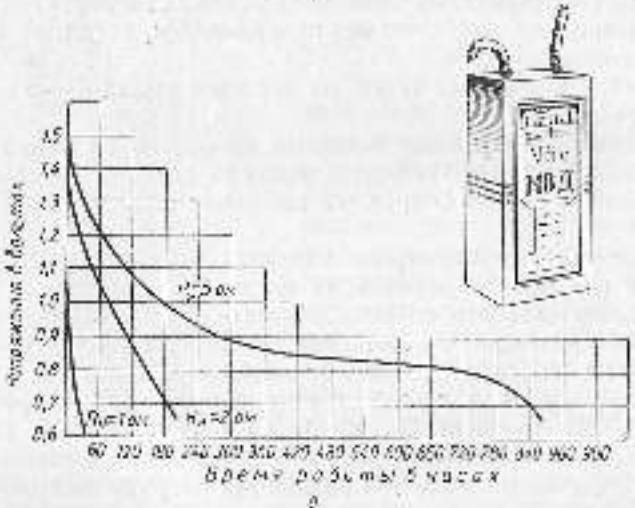


Рис. 23

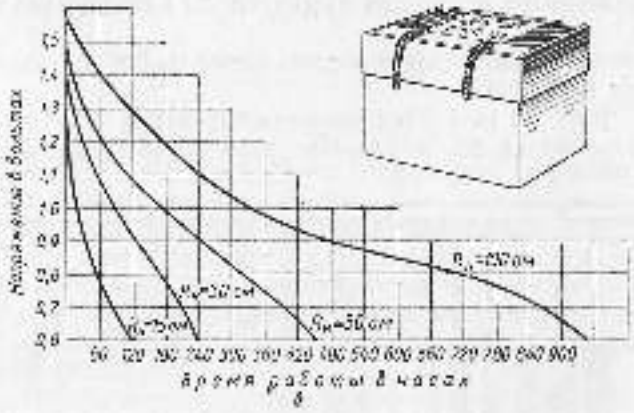
Маркировка гальванических элементов и батарей.

Надпись на элементе, обозначающая его тип, расшифровывается так:

первая цифра характеризует размер (чем больше эта цифра, тем больше объем элемента);

буква, следующая за первой цифрой, обозначает тип элемента; С — сухой, В — водоналивной, Г — галетный;

следующая буква обозначает разновидность сухого элемента, например буква Л означает, что элемент летний, то есть может работать при температуре от −20 до +60°;



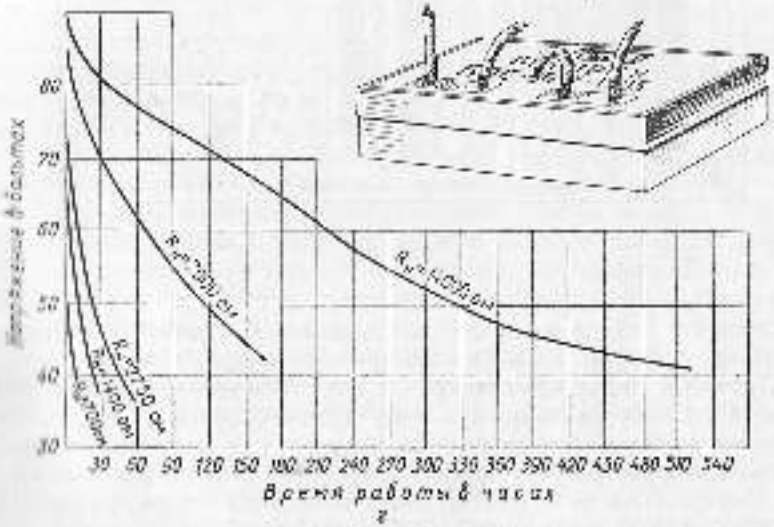


Рис. 23

последние две цифры на элементе обозначают его емкость в ампер-часах.

Элементы с воздушной деполяризацией маркируется также номерами или буквами ВД; если же в состав такого деполяризатора входит марганцевая руда, то ставится марка МВД.

Для обозначения батареи с обычным деполяризатором применяется буква Б. Буквы К и Ф обозначают батарею для карманного фонаря. Буквы Н и А показывают назначение батареи соответственно для накала или для анода. Например, БАС-80 — батарея анодная, сухая, емкостью 80 *а-ч*.

Задание 4. Выясните, какие условия надо выполнить при составлении элемента из отдельных частей, чтобы элемент стал источником тока.

При выполнении задания используется набор по электричеству Горячкина (рис. 24).

Ход работы. 1. Приготовьте цинковую и медную пластинки для использования их в качестве электродов элемента Вольта.

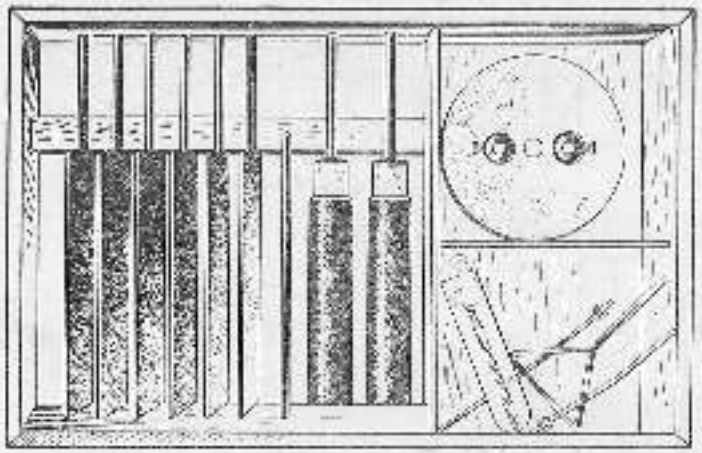


Рис. 24

Очистите электроды от окислов наждачной бумагой, а цинковый электрод, кроме того, амальгамируйте следующим образом.

Промойте цинковый электрод в воде и опустите одним концом в сосуд с 10-процентным раствором серной кислоты и несколькими каплями ртути. С помощью зубной щетки или марлевого тампона на палочке разотрите ртуть по поверхности пластины с обеих сторон (верхнюю часть пластины, где присоединяется провод, не амальгамируйте). После этого тщательно прополосните электрод водой.

2. Возьмите жидкость, не оказывающую на электроды химического действия (например, денатурированный спирт), опустите подготовленные электроды в стакан с этой жидкостью и покажите с помощью вольтметра отсутствие э. д. с.

3. Помещая два разнородных электрода (цинк — медь) в два разных сосуда с растворами 10-процентной серной кислоты, покажите, что и в этом случае система не будет создавать э. д. с.

4. Покажите, что при двух одинаковых электродах (например, медных), вступающих с электролитом в химическую реакцию, прибор тоже не создает э. д. с.

5. Наполните сосуд на половину его высоты 10-процентным раствором серной кислоты. Опуская в него поочередно пары двух различных электродов (цинк — медь, цинк — свинец, медь — уголь, цинк — уголь), замкните цепь вольтметром и измерьте разность потенциалов.

Сделайте вывод о качестве полученных источников тока.

Вопросы

1. Можно ли для обнаружения тока в цепи применить вместо вольтметра электрический звонок или электрическую лампочку?

2. Зачем нужно амальгамировать цинковую пластинку?

3. Какие условия необходимо соблюдать, выполняя пункт 4 данного задания? Будет ли демонстрация более убедительной, если предварительно оба электрода опустить на некоторое время в раствор серной кислоты (в отдельный стакан)?

Задание 5. Обнаружить поляризацию элемента Вольта и продемонстрировать способы ее устранения.

Ход работы. 1. Возьмите элемент Вольта (электроды — амальгамированный цинк и медь в растворе серной кислоты) и замкните его на электрическую лампочку (1 *в*, 0,075 *а*). Покажите, что накал нити лампочки будет постепенно уменьшаться вследствие поляризации. Заметьте время действия элемента.

2. Покажите, что удаление пузырьков газа с медной пластины механическим путем возобновляет действие элемента.

3. Покажите влияние деполяризатора. Чтобы осуществить деполяризацию, нужно к раствору серной кислоты добавить какой-либо деполяризатор — медный купорос или двухромовокислый калий (насыщенный раствор хромпика) или смочить этим раствором медный электрод.

Заметьте время действия элемента в этом случае и сравните со временем действия элемента в первом случае.

Задание 6. Продемонстрируйте явления, происходящие на электродах элемента.

Ход работы. 1. Подготовьте проекционный аппарат для вертикального проецирования.

2. В проекционную кювету налейте 10-процентный раствор серной кислоты, опустите полную медную и амальгамированную цинковую пластины и соедините электроды последовательно с реостатом, амперметром и ключом.

3. Установите кювету между конденсором и объективом и спроецируйте опыт на экран. Наблюдайте явление, происходящее на медной пластине при замыкании ключа, при этом следите за показаниями амперметра.

4. Добавьте в кювету раствор двухромовокислого калия и наблюдайте, что произойдет с газовым слоем, окружающим медный электрод. Как будут меняться показания амперметра?

Задание 7. Покажите, что величина э. д. с. элемента не зависит, а величина тока зависит от величины электродов.

Соберите электрическую цепь из последовательно соединенных элемента Вольта с деполяризатором, амперметра (универсального гальванометра с шунтом), реостата на 1—2 *ом* и ключа.

Опуская и поднимая электроды элемента, покажите, что при неизменном внешнем сопротивлении величина тока в цепи изменяется.

Замкните элемент на вольтметр и покажите, что в этом случае показания прибора не меняются при перемещении электродов.

Задание 8. Используя батарею из трех элементов 3С-Л-30, выполните лабораторную работу «Исследование параллельного соединения проводников». Определите сопротивления параллельно соединенных проводников и распределение токов в параллельных ветвях.

Задание 9. Обнаружьте с помощью гальванометра анодный ток электронной лампы (кенотрон 5Ц4С), используя в качестве батареи накала элементы типа МВД или 3С-Л-30, а в качестве анодной батареи — БАС-Г-80.

Аккумуляторы

В технике наиболее распространены аккумуляторы двух типов: кислотные и щелочные. Щелочные аккумуляторы по целому ряду причин гораздо более пригодны для эксплуатации в школьных условиях, поэтому в настоящем руководстве подробно описывается именно этот тип аккумуляторов. Преимущества щелочных аккумуляторов сводятся в основном к следующим: прочность и легкость конструкции; большая выносливость к электрическим перегрузкам; отсутствие газов при разрядке; малый саморазряд; продолжительность срока службы; простота в эксплуатации.

Щелочные аккумуляторы выпускаются двух систем: никелевые и железо-никелевые. Электроды изготовляют из никелевой стали в виде решеток. Ячейки решеток, в которые запрессованы пакеты с активным веществом, содержат большое количество очень мелких отверстий, служащих для сообщения электролита с массой, заполняющей пакеты (рис. 25).

В кадмие-никелевых аккумуляторах активным веществом положительного электрода являются окислы никеля, смешанные с графитом; отрицательного электрода — губчатый металлический кадмий в смеси с губчатым железом.

Железо-никелевый аккумулятор отличается от кадмие-никелевого лишь заменой кадмия в активном веществе отрицательного электрода мелким порошком железа.

Положительные пластины соединены с корпусом аккумулятора. Электролитом служит 20—25-процентный водный раствор едкого кали или едкого натра.

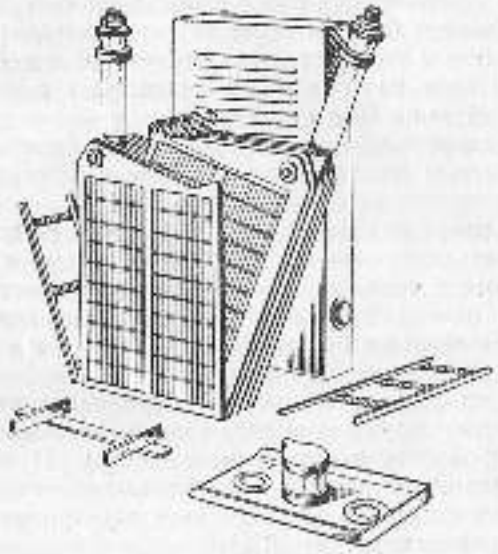


Рис. 25

Основные данные щелочных аккумуляторов приведены в следующей таблице[1].

Марка аккумулятора	Размеры (в *мм*)	Вес (в *кг*)		Нормальная нагрузка тока (в *а*)		Напряжение (в *в*)	
		без электролита	с электролитом	зарядный ток 7 *час*	разрядный ток 5 *час*	нормальное	в конце разряда
АКН-2,25	132×65×22	0,28	0,33	0,56	0,28	1,25	1,1
НКН-10	124×80×32	0,6	0,74	2,5	1,25	1,25	1,1
ПКП-22	214×125×34	1,35	1,67	5,5	2,75	1,25	1,1
НКН-45	214×125×55	2,18	2,72	11,0	5,5	1,25	1,1
ПКП-60	350×140×47	3,69	4,45	15,0	7,5	1,25	1,1
НКН-100	350×148×72	5,06	6,47	25,0	12,5	1,25	1,1
ФКП-8	124×80×33	0,76	0,88	2,3	0,5	1,25	1,1

Щелочные аккумуляторы в зависимости от их назначения разделяют на анодные А, накальные Н, фонарные Ф и др. При обозначении (маркировке) аккумулятора указываются также состав актив-

[1] А. Г. Смирнов, Щелочные аккумуляторы, «Физика в школе», 1947, № 2, стр. 54.

ного вентеля и емкость в ампер-часах. Например, аккумулятор НКП-60 — никельный, кадмие-никелевый, емкостью 60 *а · ч*.

Если обозначения на аккумуляторе нет, то его тип можно определить по габаритным размерам (см. таблицу).

Для многих практических работ используют батареи аккумуляторов. В обозначении батареи перед типом аккумулятора ставится число, показывающее количество аккумуляторов в ней. Например, 3-НКП-10 — батарея из трех кадмие-никелевых щелочных аккумуляторов емкостью до 10 *а · ч* каждый.

Общие правила эксплуатации щелочных аккумуляторов.

1. Аккумуляторы должны быть чистыми и храниться в сухом помещении.

2. Чтобы не повредить защитного слоя никеля, ржавчину с банок необходимо удалять осторожно мягкой тряпкой, смоченной керосином.

3. При работе с гаечным ключом и другими металлическими инструментами нельзя допускать коротких замыканий одновременным прикосновением к отрицательному полюсу и корпусу аккумулятора.

4. Необходимо следить за тем, чтобы изоленная часть провода, идущего от отрицательного полюса, не коснулась банки.

5. Нельзя пробовать аккумулятор на искру. Нужно помнить, что короткие замыкания значительно уменьшают емкость и работоспособность аккумуляторов (перегревание электролита до 40—50° связано с потерей емкости до 50%).

6. Надо систематически следить за качеством и чистотой электролита, его температурой, плотностью (при температуре ниже 15° плотность электролита должна быть 1,25—1,28 *г/см*³, а при температуре 15—20° 1,19—1,20 *г/см*³) и уровнем электролита в аккумуляторе. Уровень электролита должен быть выше пластин на 5—12 *мм*. В процессе эксплуатации нужно доливать аккумуляторы дистиллированной или талой водой.

7. Необходимо следить за состоянием резиновых колец у вентильных пробок и в случае непригодности заменять их новыми, так как резиновое кольцо, надетое на пробку, служит клапаном, который допускает выход газов изнутри сосуда наружу и препятствует проникновению углекислого газа из воздуха к электролиту.

8. Нужно оберегать аккумуляторы от резкого изменения температуры.

Летом (при температуре выше 30°) необходимо заменять электролит в аккумуляторах с едкого кали на едкий натр. (Его плотность должна быть равна 1,17—1,18 *г/см*³.)

9. Соблюдать условия разряда и заряда. Аккумулятор считается разряженным и требующим немедленной зарядки, если напряжение его упало до 1,1 *в*. Необходимо помнить, что кадмие-никелевые аккумуляторы лучше перезарядить, чем недозарядить, так как систематический недозаряд снижает их работоспособность *.

---

* О правилах зарядки аккумуляторов см. работу «Выпрямители».

10. Электролит изготовлять на дистиллированной воде.

11. На поверхность электролита после заливки аккумуляторов нужно внести несколько капель вазелинового масла, которое образует тонкую пленку, предохраняющую электролит от вредного воздействия углекислоты, находящейся в воздухе.

12. Если в аккумуляторе резко снизится напряжение, то нужно проверить, не возникло ли замыкание.

13. Для длительных хранений (летние каникулы) аккумуляторы полностью заряжают и сразу же разряжают на 25—50%. Плотно завинчивают пробки и гайки, каждую банку протирают и слегка смазывают вазелином.

Для более длительного хранения аккумуляторы полностью разряжают (до 1,1 *в* на банку), выливают электролит (водой не промывать!) и завинчивают пробки.

14. Помещение для хранения должно быть сухим, вентилируемым, с температурой в пределах от 15 до 25°.

15. Не следует размещать кислотные и щелочные аккумуляторы в непосредственной близости, так как кислотные испарения, проникая внутрь щелочных аккумуляторов, быстро приводят их в негодность.

16. Необходимо периодически осматривать и чистить (лучше при постановке на зарядку) клапан пробки от образующихся солей.

17. Ежегодно следует производить замену электролита. Перед заменой аккумуляторы необходимо разрядить до 0,8 *в*, вылить электролит и промыть аккумуляторы дистиллированной водой.

После залива электролита аккумулятору дают усиленный заряд — 6 часов заряжают нормальным зарядным током и 6 часов заряжают половинным током.

Задание 10. Продемонстрируйте тепловое действие, процесс зарядки и разрядки аккумуляторов с помощью набора. Горячкина по электролизу.

Ход работы. 1. В стеклянный сосуд налейте 20—22-процентный водный раствор серной кислоты, а в крышку вставьте два свинцовых электрода (предварительно удалив с них окислы).

2. Покажите (при помощи вольтметра, звонка или электрической лампочки), что такой элемент не дает тока.

3. Разомкнув первую цепь, присоедините свинцовые пластины к источнику тока (ламповому выпрямителю или 2—3 аккумуляторам) и пропустите ток в течение 3—5 минут, измеряя его величину с помощью амперметра.

4. Покажите, что аккумулятор можно зарядить. Обратите внимание на цвет пластин после зарядки.

Задание 11. Ознакомьтесь с устройством щелочного разборного аккумулятора. Составьте схему соединений его пластин.

Задание 12. Продемонстрируйте магнитное поле прямолинейного тока, используя в качестве источника тока батарею щелочных аккумуляторов.

Установите величину тока, напряжение источника тока, сопротивление вводимого реостата для получения наибольшего эффекта.

Вопросы

1. Какие преимущества имеют щелочные аккумуляторы по сравнению с кислотными?

2. Как определить марку щелочного аккумулятора?

3. На какое время можно замыкать цепь, демонстрируя опыты по задачам 12?

Задание 13. Покажите, что э. д. с. последовательной батареи аккумуляторов равняется сумме э. д. с. отдельных аккумуляторов.

Установите, когда нужно применять последовательное, а когда параллельное соединение отдельных аккумуляторов.

Измерьте внутреннее сопротивление батареи из трех щелочных аккумуляторов.

Приборы и материалы

Набор Горячкина по электролизу; элементы ЗСЛ-30, МВД, БАС-60; аккумулятор свинцовый (разборный, в стеклянном сосуде); аккумуляторы щелочные (разборные и действующие); вольтметр (универсальный гальванометр с дополнительным сопротивлением); амперметр (универсальный гальванометр с шунтом); лампа ЗЦС; реостат на 2—5 *ом*; набор известных сопротивлений; прибор для демонстрации спектра прямого тока; провода; ключ; переключатели; электрический звонок; электрические лампочки (1 *в* и 2,5 *в*); проекционный аппарат; проекционная кювета; ареометр; мензурки; кювета с водой для промывки электродов; кювета для аккумулирования; ртуть; двухромовокислый калий; едкий кали; едкий натр; серная кислота; медный купорос; сода; 2-процентная борная кислота.

3. ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Электроизмерительная аппаратура широко используется для постановки демонстраций, физического практикума и лабораторных работ. Кроме того, предусмотрено специальное изучение принципа устройства электроизмерительных приборов разных систем в курсе электротехники.

Широкое распространение получили для демонстрационных целей электроизмерительные приборы двух систем: магнитоэлектрической (для постоянного тока) и детекторной (для переменного и постоянного токов); для проведения лабораторных работ — электроизмерительные приборы электромагнитной системы.

При проведении экспериментальных работ с электроизмерительными приборами нужно соблюдать общие требования, предъявляемые к технике эксплуатации этих приборов независимо от их системы и конструкции.

1. Прежде всего необходимо изучить устройство электроизмерительных приборов.

2. Целесообразно перед каждым измерением приближенно подсчитать показание прибора (не выйдет ли оно за пределы шкалы).

3. Если измеряют неизвестные величины (напряжение, ток), то включать прибор надо на максимально возможный предел, на очень короткое время. Только убедившись в том, что предел прибора соответствует измеряемой величине, можно включать его на длительное время.

Для успешного выполнения работы необходимо повторить: устройство и принцип действия электроизмерительных приборов; системы переменного-постоянного тока, теорию расчета шунтов и дополнительных сопротивлений.

Литература

В. С. Попов, П. Н. Мансуров, С. А. Николаев, Электротехника. Госэнергоиздат, 1953, стр. 157—179.

Д. Д. Галанин, Б. Н. Горячкин и др., Физический эксперимент в школе, т. III, Учпедгиз, 1954, стр. 92—129.

Демонстрационный гальванометр

Школьный демонстрационный гальванометр — прибор магнитоэлектрической системы, предназначенный для измерений в цепях постоянного тока (рис. 26). Проходящий по катушке ток, взаимодействуя с магнитным полем постоянного магнита, создает пару сил, действующих на катушку. Под действием вращающего момента катушка повернется на некоторый угол, при котором вращающий момент уравновесится противодействующим моментом, созданным пружинами.

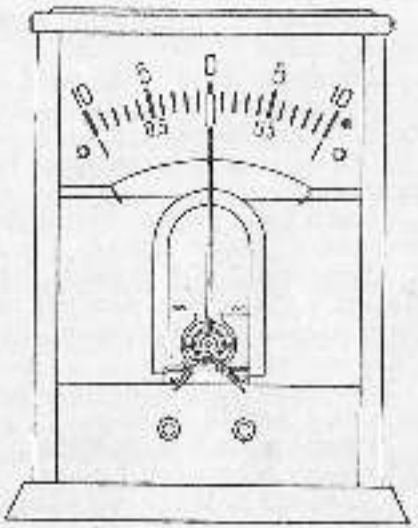


Рис. 26

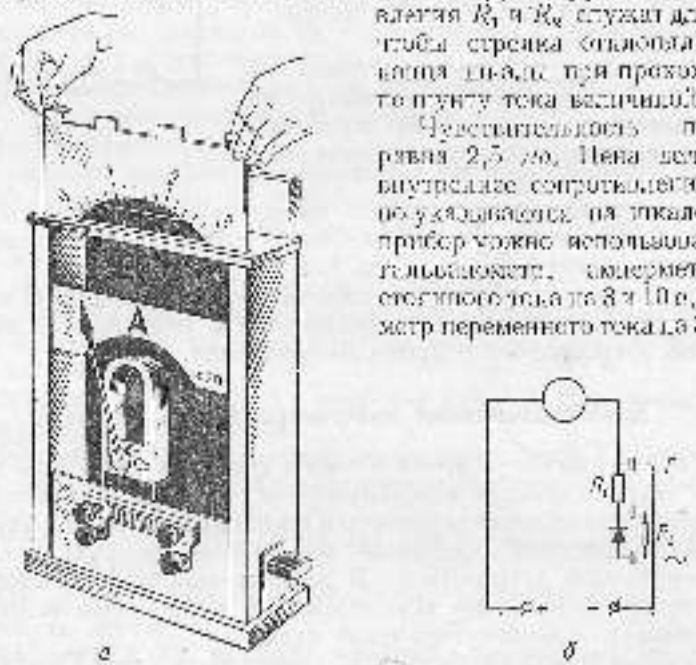
Так как противодействующий момент, создаваемый пружинами, пропорционален углу их закручивания, то чем больше ток в катушке прибора, тем больше вращающий момент и тем больше будет угол поворота подвижной части. По углу поворота подвижной части измерительного механизма определяют величину тока или функционально связанную с ним другую измеряемую величину.

Все приборы снабжаются успокоителями — приспособлениями для уменьшения времени колебаний подвижной части относительно положения равновесия.

С обратной стороны прибора, видимой на задней части футляра, на шкале нанесены десять равномерных делений. Начало и конец делений соответствуют началам и концам рабочих шкал. Эти деления предназначены для определения относительного положения стрелки, а также для контроля за работой при проведении демонстрации преподавателем. Ниже этого окна расположена головка корректора, вращая которую, устанавливают стрелку прибора в исходное нулевое положение.

Общий вид амперметра и его принципиальная схема показаны на рисунке 28, а, б. Имеющиеся в схеме корректирующие сопротивления R_1 и R_2 служат для того, чтобы стрелка отклонялась до конца шкалы при прохождении по нему тока величиной в 10 а.

Чувствительность прибора равна 2,5 *ма*. Цена деления и внутреннее сопротивление обычно указываются на шкале. Этот прибор можно использовать как гальванометр, амперметр постоянного тока на 3 и 10 *а*, амперметр переменного тока на 3 и 10 *а*.



а *б*

Рис. 28

Для того чтобы прибор работал, как гальванометр, необходимо вилку вставить в верхнее отверстие платы переключателя, обозначенное Г; поставить под стрелкой рабочую шкалу гальванометра и, вращая головку корректора, установить стрелку в нулевое положение.

Для того чтобы прибор работал как амперметр постоянного тока, необходимо:

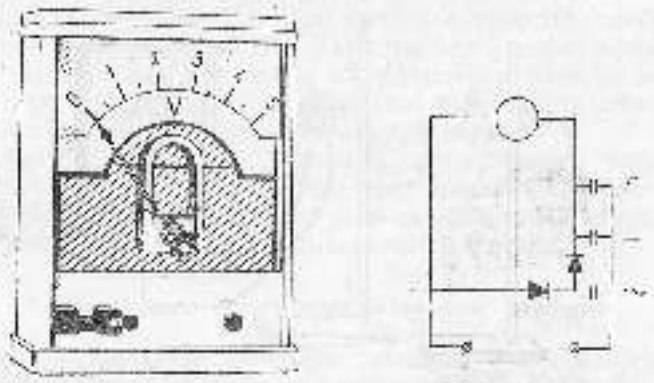
1) вилку вставить в среднее отверстие платы переключателя, помеченного знаком «—»;

2) поставить под стрелкой рабочую шкалу необходимого предела измерений и, вращая головку корректора, установить стрелку в нулевое положение;

3) подключить к клеммам прибора шунт необходимого предела измерения.

Для работы с прибором в качестве амперметра переменного тока необходимо вилку вставить в нижнее отверстие, помеченное знаком «~» и в той же последовательности, как и для постоянного тока, подготовить прибор для измерения.

Общий вид и принципиальная схема демонстрационного вольтметра показаны на рисунке 29, а, б. Этот прибор можно использовать как гальванометр (чувствительность 25 *мв*); вольтметр постоянного тока на 5 и 15 *в*; вольтметр переменного тока на 15 и 250 *в*.



а *б*

Рис. 29

Порядок подготовки прибора для использования его в качестве гальванометра и вольтметров постоянного и переменного токов совершенно одинаковый с подготовкой демонстрационного амперметра.

Отличие состоит лишь в том, что шунты для постоянного и переменного токов используются один и тот же, а дополнительные сопротивления для переменного и постоянного тока различны. Поэтому при установке дополнительных сопротивлений к прибору обращайте внимание не только на верхний предел измерений, но и на род измеряемого напряжения (знаки = или ~, указанные на катушках).

При изменениях напряжения или тока необходимо следить, чтобы добавочные сопротивления или шунты соответствовали измеряемым величинам. Для проверки соединений деталей, укрепленных на плате переключателя, необходимо выкрутить четыре винта, крепящих плату к футляру, и осторожно потянуть плату на себя. От платы внутрь футляра идут гибкие провода, согласно принципиальным схемам приборов, указанным на рисунках 28, б и 29, б.

Задание 7. Ознакомьтесь с устройством демонстрационных амперметра и вольтметра. Проследите ход внутри приборов, запишите данные приборов и ответьте на следующие вопросы.

1. Почему электрическая цепь демонстрационного вольтметра содержит два купроксных вентиля, а демонстрационного амперметра — один вентиль? Какова назначение каждого вентиля?

2. Покажите на сравнительных опытах, что точность измерений детекторных приборов зависит от участка шкалы, на котором производится измерение переменного тока.

3. Как изменяется чувствительность гальванометра с подключением шунта?

Задание 8. Используйте демонстрационные амперметр и вольтметр в качестве гальванометров для обнаружения фототока, получаемого от фотоэлемента с запирающим слоем.

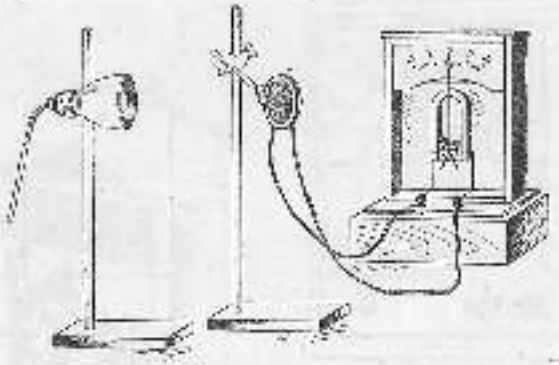


Рис. 29

На штативе укрепите фотоэлемент с запирающим слоем, концы которого соедините с гальванометром.

На расстоянии 1,5—2 *м* от фотоэлемента установите штатив с укрепленной в нем электрической лампой ($N = 75—100$ *вт*) с рефлектором так, чтобы она не мешала наблюдать за показаниями приборов (рис. 30).

Перемещая лампочку по отношению к фотоэлементу, найдите максимальное расстояние, при котором получается заметное отклонение стрелки прибора.

Используйте для этой демонстрации в качестве гальванометра один раз демонстрационный амперметр, а другой раз демонстрационный вольтметр. Установите при этом, какой прибор в этой демонстрации даст наилучший эффект при одинаковом расстоянии источника света от фотоэлемента.

Задание 9. Используйте демонстрационные амперметр и вольтметр в качестве гальванометров для обнаружения термоэлектрического эффекта.

Установите на демонстрационном столе термостолбик, к клеммам которого подсоедините демонстрационный амперметр.

Обнаружьте термоток при поднесении зажженной спички на расстояние 10—15 *см* от раструба термостолбика.

Выясните, на каком максимальном расстоянии пламени газовой горелки от раструба термостолбика стрелка гальванометра дает заметное отклонение.

В фокусе одного из зеркал Пикте установите пламя газовой горелки или нагретую гирю; в фокусе другого — термостолбик, соединенный с гальванометром.

Ответьте на вопрос: на каком максимальном расстоянии между зеркалами получается заметный эффект?

Повторите эти три демонстрации, заменив в них демонстрационный амперметр демонстрационным вольтметром.

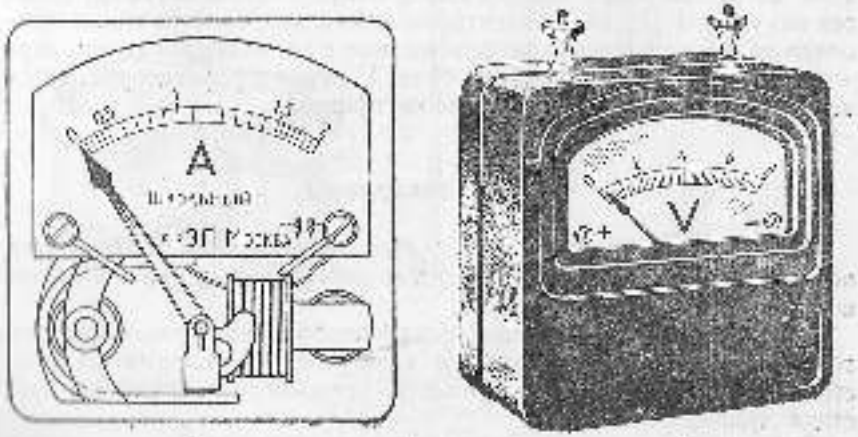
В каком случае наблюдается лучший эффект?

Задание 10. Используйте один прибор в качестве амперметра постоянного тока, а другой — в качестве вольтметра постоянного тока для измерения внутреннего сопротивления батареи аккумуляторов. На основе полученных данных рассчитайте внутреннее сопротивление батареи щелочных аккумуляторов.

Задание 11. Определите мощность, потребляемую электрической лампой. Для этой используйте один прибор в качестве вольтметра переменного тока, а другой — в качестве амперметра. Найденные значения сравните с показаниями на лампе.

Лабораторные электроизмерительные приборы

Физические школьные кабинеты укомплектованы малогабаритными амперметрами и вольтметрами электромагнитной системы для



а *б*

Рис. 31

измерений в цепях постоянного тока (рис. 31, *а*, *б*). Принцип устройства этих приборов основан на взаимодействии магнитного поля катушки и сердечника.

Все части прибора смонтированы в застекленном пластмассовом корпусе квадратной формы. На корпусе около клемм поставлены знаки «+» и «—» для правильного подключения прибора в цепь.

Амперметр позволяет измерять ток до 3 *а*, при этом точность измерения 0,1 *а*.

Вольтметры выпускаются двух видов со шкалой на 5 или 8 *в* с точностью измерения 0,2 *в*.

При одновременном пользовании амперметром и вольтметром не следует устанавливать приборы ближе, чем на 10 *см* друг от друга и от стальных предметов и магнитов, так как приборы будут давать неверные показания.

Задание 12. Ознакомьтесь с устройством амперметра и вольтметра. Проследите цепь внутри приборов и ответьте на следующие вопросы:

1. Каково назначение постоянного магнита?
2. Чем конструкция отличается амперметр от вольтметра?

Задание 13. Определите величину эталонного сопротивления, используя лабораторные амперметр и вольтметр. Найдите абсолютную и относительную погрешности измерения.

Приборы и материалы

Демонстрационные гальванометр, амперметр и вольтметр; лабораторные амперметр и вольтметр; термостолбик; термопара; зеркала Пинте; магазин сопротивлений на 10 *ом*; реостат на 1,5—2 *ом*, 20 *а*; селеновый выпрямитель; индукционная катушка; батарея аккумуляторов на 4 *в*; электрический звонок; электрическая лампочка на 3,5 *в* на подставке; фотоэлемент с запирающим слоем; держатели для пунктов с клеммами (2 шт.); лампа с рефлектором; газовая горелка; ключ; соединительные провода.

4. ТРАНСФОРМАТОРЫ

Трансформаторы как основное оборудование используются при постановке демонстраций, проведении лабораторных работ и постановке физического практикума.

Кроме того, при изучении таких вопросов, как трансформация тока, трансформаторы, передача электрической энергии на расстояние, подробно рассматриваются устройства и принципы действия трансформаторов.

В физических кабинетах средних школ широкое распространение получили трансформаторы низкой частоты с замкнутыми сердечниками различной конструкции; трансформаторы низкой частоты с незамкнутыми сердечниками — индукционные катушки различной конструкции; трансформаторы высокой частоты (трансформатор Тесла).

До выполнения данной работы нужно повторить следующие вопросы:

1. Принцип работы трансформаторов с замкнутыми и незамкнутыми сердечниками.
2. Холостой ход трансформатора.
3. Работа трансформатора при нагрузке.
4. Мощность трансформатора и его к. п. д.
5. Устройство и принцип действия трансформатора высокой частоты.

Литература

В. С. Попов, Н. Н. Малеуров и др., Электротехника, Госэнергоиздат, 1953, стр. 277—290.

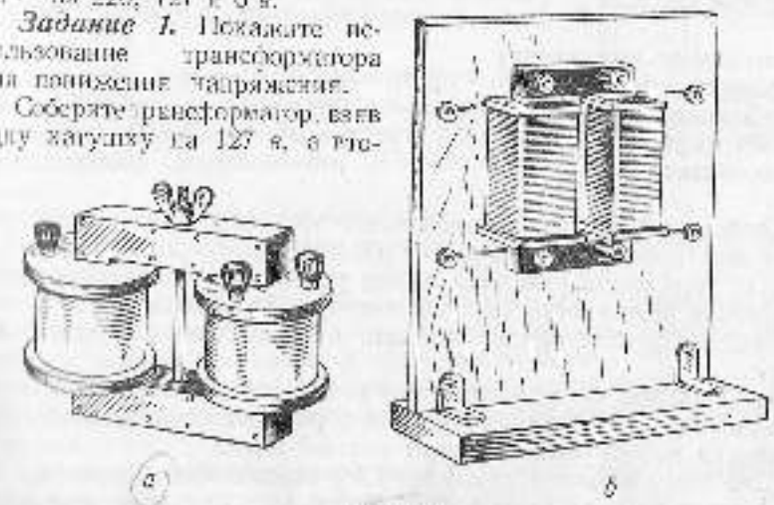
Л. Д. Гальперин, Е. Н. Горячкин и др., Физический эксперимент в школе, т. IV, Учпедгиз, 1954, стр. 192—206.

Г. С. Дондоберг, Элементарный учебник физики, т. II, Гостехиздат, 1957, стр. 64—67.

Школьный разборный трансформатор малой мощности (рис. 32, *а*) выпускается Главучтехпромом в двух видах. В одной конструкции используются две секционные катушки — одна повышающая на 120 или 220 *в*, а вторая понижающая на 6 или 12 *в*. В другой конструкции имеется три катушки — на 220, 127 и 6 *в*.

Задание 1. Покажите использование трансформатора для понижения напряжения.

Соберите трансформатор, взяв одну катушку на 127 *в*, а вто-



а *б*

Рис. 32

рую на 6 *в*. Присоедините к высоковольтной и низковольтной обмоткам демонстрационные вольтметры (к одному вольтметру поставьте дополнительное сопротивление на 250 *в*, а к другому на 15 *в*). Включите высоковольтную обмотку в сеть переменного тока и покажите изменение напряжения. Чтобы показать уменьшение напряжения, можно к клеммам вторичной обмотки на 6 *в* подключить низковольтную лампочку на 6,3 *в* на подставке.

Задание 2. Покажите использование трансформатора для повышения напряжения.

Установите на подставке лампу накаливания на 220 *в* и покажите, что при питании ее непосредственно от сети с напряжением 127 *в* накал лампы будет неполным. После этого установите на столе разборный трансформатор с катушками на 127 и 220 *в*. К концам катушки на 220 *в* подключите ту же лампу на подставке, а вторую катушку через ключ соедините с сетью переменного тока, и покажите, что накал лампы будет полным.

Для каких демонстраций и опытов может быть использован данный тип трансформатора?

Школьный трансформатор малой мощности, смонтированный на вертикальной панели (рис. 32, *б*) выпускается Главучтехпромом в виде комплекта из двух трансформаторов с обмотками на 4 и 120 *в*. В основном они предназначены для демонстрации принципа передачи электроэнергии на большие расстояния. Кроме того, они могут быть использованы для изменения напряжения переменного тока в различных демонстрациях и практических работах.

Основные данные трансформатора:

	Обмотка низковольтная	Обмотка высоковольтная
Номинальное напряжение	4 *в*	120 *в*
Максимальный ток	0,5 *а*	0,1 *а*
Марка провода	ПЭЛ	ПЭЛ
Диаметр провода	0,35 *мм*	0,14 *мм*
Число витков	100	3500

Задание 3. Покажите применение трансформаторов для передачи электроэнергии на большие расстояния.

Для того чтобы учащиеся лучше усвоили необходимость трансформации переменного тока при передаче на большие расстояния, необходимо демонстрацию показать в следующей последовательности.

1. Показать, что низковольтная лампа, соединенная с действующей магнитоэлектрической машиной короткими проводниками, при вращении ротора машины имеет полный накал.

Для этого возьмите лампу на 3,5 *в* на подставке (из набора по оптике для лабораторных работ) и соедините ее с зажимами переменного тока магнитоэлектрической машины. Расположите лампу в непосредственной близости от машины. При вращении ротора машины заметьте накал лампы.

2. Покажите изменение накала той же лампы, если она удалена на некоторое расстояние от машины.

Установите магнитоэлектрическую машину и к ее зажимам переменного тока подсоедините две проволоки, изогнутые в виде спирали из никелина или иной высокоомной проволоки (при диаметре 0,1—0,2 *мм* длина каждой проволоки 10 *м*). Другие два конца

проволоки присоедините к клеммам лампы, установленной на подъемном столике. Вращайте ротор машины примерно с прежней скоростью и обратите внимание на степень накала нити лампы.

Примечание. Для лучшей видимости проводов укрепите их на изолирующих штативах так, чтобы они были параллельны и располагались один над другим. За проводами установите белый экран.

3. В прежней установке поставьте трансформаторы, один около магнитоэлектрической машины, другой около лампы. Соедините зажимы переменного тока магнитоэлектрической машины и клеммы лампы с низковольтными обмотками, а высоковольтные обмотки обоих трансформаторов соедините между собой теми же высокоомными проводами. Приведите во вращение ротор магнитоэлектрической машины с той же скоростью, что и в предыдущих опытах, и сравните степень накала лампы в этих опытах.

Какой вывод можно сделать из этой демонстрации?

Для каких еще демонстраций и опытов можно воспользоваться таким трансформатором?

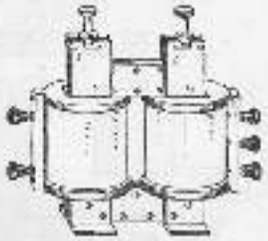


Рис. 33

Трансформатор универсальный (рис. 33) используется для различных демонстраций по темам: «Магнитное поле тока», «Электромагнитная индукция» и «Переменный ток».

В комплект трансформатора входят:

П-образный сердечник с якорем и приспособлениями для крепления якоря.

Две катушки на 220 и 127 *в* и одна катушка, разделенная на две части для напряжения 12 и 6 *в*. (В новых выпусках первые две катушки также объединены в одну секционную.)

Два стальных наконечника конусообразной формы.

Катушка из медной толстой проволоки для демонстрации электросварки.

Кольцо-желоб из красной меди на отнесупорном основании для демонстрации принципа действия индукционной печи.

Маятник с двумя пластинами.

Медное и алюминиевое кольца.

Кольцевой проводник с низковольтной лампой.

Основные технические данные

Мощность трансформатора 60 *ва*. Ток холостого хода при питании напряжением 127 *в* не более 0,5 *а*, а при питании напряжением 220 *в* не более 0,3 *а*.

Назначение катушки	Номер обмотки	Марка провода	Диаметр провода, мм	Число витков
Катушка 127/220 в	I	ПЭЛ	0,5	400
	II	ПЭЛ	0,5	422
		ПЭЛБО	0,72—0,74	148
Катушка 6/6 в	I	ПЭЛ	1,5—2,0	37
	II	ПЭЛБО	1,5—2,0	37

Задание 4. Покажите влияние магнитного сопротивления на работу трансформатора.

Соберите цепь по схеме рисунка 34. В зависимости от напряжения сети первую катушку возьмите на 127 или 220 в, вторую катушку — на 12 в. Для измерения тока используется универсальный амперметр с шунтом на 3 а, для измерения напряжения — демонстрационный вольтметр с дополнительным сопротивлением на 15 в. Данные реостата: сопротивление 30—40 ом и ток 0,5—1 а.

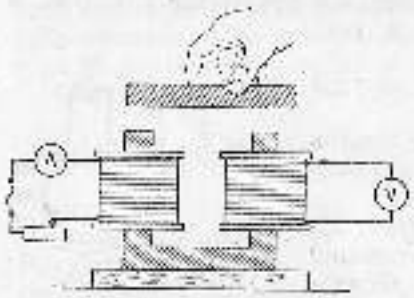


Рис. 34

Включите первичную обмотку в сеть переменного тока и отметьте показания приборов. Удерживая в руке якорь, замкните П-образный сердечник и опять отметьте показания приборов.

Осуществите эту же демонстрацию, используя в качестве индикатора не измерительные приборы, а лампу накаливания.

Вопросы

1. Как объяснить наблюдаемую закономерность?
2. Как влияет на эффект демонстрации сопротивление реостата?
3. Является ли якорь магнитное сопротивление строго постоянным?
4. Какой из двух способов демонстрации (задание 4) более эффективный?

Задание 5. Покажите принцип действия индукционной печи.

На одну сторону П-образного сердечника наденьте катушку на 127 или 220 в (в зависимости от напряжения сети), а на другую сторону поместите кольцо-желоб, укрепив его в штативе, после чего замкните сердечник якорем.

В кольцо-желоб поместите небольшое количество мелких кусков олова.

Включите первичную обмотку в сеть и пропускайте ток до тех пор, пока все олово не расплавится.

Разомкните цепь, снимите якорь и аккуратно с помощью двух щипцов снимите желоб, вылейте жидкое олово в металлический сосуд, чтобы показать расплавленный свинец.

Установите, сколько времени требует эта демонстрация.

Задание 6. Покажите принцип контактной электросварки.

Используйте для этой демонстрации предыдущую установку, заменив кольцо-желоб сварочной катушкой с держателями. В держатели вставьте тонкие гвозди, предварительно зачистив их наждачной бумагой, так, чтобы они в сумме касались концами друг друга.

Включите первичную цепь трансформатора в сеть переменного тока и пропускайте ток до тех пор, пока от нагревшихся гвоздей не полетят в стороны белые искры.

При появлении этого светового эффекта необходимо с помощью ручек сварочной катушки снять нагретые гвозди, а затем разомкнуть цепь.

После того как сваренные гвозди остынут, следует показать прочность сварки. Для этого укрепите один конец сваренных гвоздей в штативе, а к другому концу подвесьте груз.

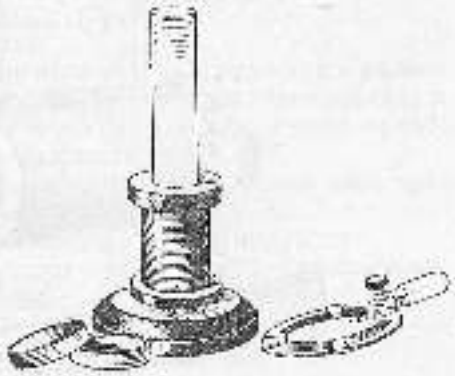


Рис. 35

Трансформаторы низкой частоты с незамкнутыми сердечниками. Своеобразными трансформаторами с незамкнутыми сердечниками являются индукционные катушки. В школьных физических кабинетах распространение получили два типа индукционных катушек: катушка Томсона и индуктор высоковольтный — ИВ-100.

Катушка Томсона (рис. 35) состоит из вертикально укрепленной катушки, намотанной на деревянном каркасе, с отверстием для стального сердечника, собранного из отдельных проволок. К прибору прилагается медное и алюминиевое кольца и плоская катушка с низковольтной электрической лампой. Прибор служит для демонстрации индуктивных действий переменного тока.

Большинство катушек Томсона выпускается для питания от сети с напряжением 127 в, рассчитаны они на ток до 5 а (данные катушки укрепляются на верхней части деревянного каркаса).

Если в сети напряжение 220 в, то непосредственно в сеть катушку включать нельзя. В этих случаях необходимо в цепь внести реостат с сопротивлением 20—30 ом, рассчитанный на ток до 7—8 а.

Кроме того, необходимо иметь в виду, что катушка не рассчитана на длительное прохождение тока (быстро нагревается), поэтому

же можно включать в сеть через рубильник только на короткое время (2—3 минуты).

Задание 7. Покажите взаимодействие токов в обмотках трансформатора.

Составьте последовательную цепь из катушки Томсона, реостата (сопротивление 5—10 *ом*, ток 5—7 *а*) и ключа.

Наденьте на сердечник алюминиевое кольцо. Включите цепь в сеть переменного тока и подберите с помощью реостата такую величину тока, чтобы кольцо не соскакивало с сердечника («плавало в воздухе»).

Проделайте такой же опыт с медным кольцом.

Как объяснить наблюдаемый эффект? В каком случае сила отталкивания больше?

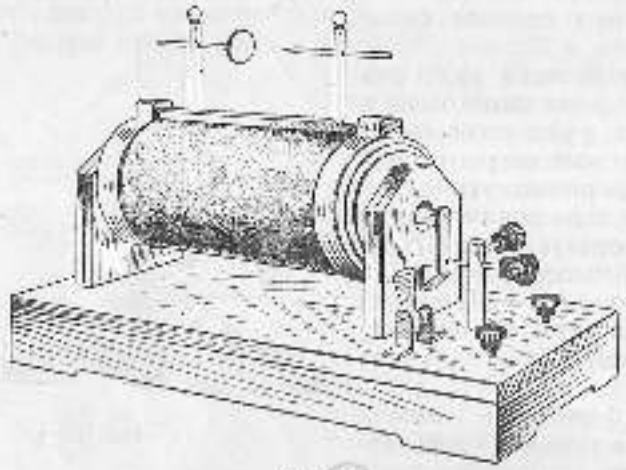


Рис. 36

Отключите цепь от сети, зажмите медное кольцо плоскогубцами или щипцами и, удерживая крепко в руках плоскогубцы, продевите кольцо на сердечник, расположив его у верхнего основания катушки. Включите катушку в сеть на несколько минут, затем выключите установку и, опустив кольцо в сосуд с водой, покажите, что кольцо сильно нагрелось.

Задание 8. Покажите возникновение индукционного тока за счет переменного магнитного поля, возбуждаемого переменным током.

Включите катушку Томсона через рубильник в сеть переменного тока с напряжением 127 *в*. Медленно поднося к сердечнику сверху плоскую катушку с низковольтной лампой, покажите появление индукционного тока. Хороший эффект демонстрации получается с лампой на 1 *в*, 0,075 *а*.

Индуктор высоковольтный (рис. 36) применяется в различных демонстрациях. При помощи его можно показать электрический

разряд в воздухе, получение озона при тихом электрическом разряде и др. Кроме того, индуктор применяется как вспомогательный прибор для работы с трансформатором Тесла, для демонстрации электрического резонанса и других опытов.

Схема индуктора дана на рисунке 37.

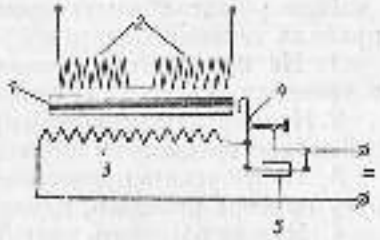


Рис. 37

Постоянное напряжение к первичной обмотке *3* подводится через клеммы.

Включение и выключение цепи первичной обмотки производится при помощи прерывателя *4*, пружина которого, касаясь контакта регулятора, замыкает цепь первичной обмотки индуктора, при этом сердечник *1* намагничивается, притягивает к себе пружину и размыкает первичную цепь. После чего сердечник размагничивается, и пружина опять касается контакта регулятора, замыкая цепь первичной обмотки, и явление снова повторяется.

Для «гашения» искры, возникающей при размыкании цепи прерывателем, параллельно ему включен конденсатор *5*.

Во вторичной обмотке *2* индуктируется э. д. с. индукции.

Выводы от этой обмотки соединены с двумя стержнями-борнами, в которых укрепляются электроды.

Основные технические данные ИВ-100

Напряжение между борнами прибора 25 *кв*. Напряжение питания 10—12 *в*. Длина искрового разряда при нормальных атмосферных условиях 100 *мм*.

Подготовка прибора к работе

1. Разрядники индуктора закрепите в борнах так, чтобы расстояние между концом иглы и плоскостью диска не превышало 100 *мм*.

2. Клеммы первичной обмотки при помощи изолированных проводов соедините с источником питания (батареей аккумуляторов, выпрямителем), причем переключатель прибора ставится в положение ручкой вверх, соответствующее разомкнутой цепи.

3. Повернув переключатель на 90°, замкните цепь.

Вращением регулировочного винта приведите в действие прерыватель и добейтесь минимального искрения.

После этого регулировочный винт механизма прерывателя закрепите замочным винтом.

При правильной установке диск разрядника должен быть катодом, а острие — анодом.

О направлении тока можно судить только по виду искры: если искра бьет с острия к центру, то диск заряжен отрицательно (катод); если искра бьет с острия к краям диска, то диск заряжен положительно (анод).

При работе с индуктором необходимо соблюдать следующие правила техники безопасности:

1. Не прикасаться руками к разряднику и борнам, а также к проводам, идущим от борнов к другим приборам.

2. Не допускать искрового промежутка разрядника более 100 *мм* во избежание пробивания изоляции внутри секции вторичной обмотки.

3. Не допускать прикосновения и близкого расположения к корпусу прибора проводов, идущих от борнов.

4. Нельзя нагревать индуктор выше 40° во избежание плавления парафиновой изоляции вторичной обмотки.

5. Не снимать пластмассовые крышки и перемычку, так как это может привести к обрыву проводов, соединяющих вторичную обмотку с борнами.

Задание 8. Изучите устройство ИВ-100 и ответьте на следующие вопросы:

1. Что можно сказать о величине э. д. с. индукции, возникающей во вторичной обмотке при замыкании и размыкании цепи первичной обмотки?

2. Каков характер индукционного тока, возникающего во вторичной обмотке во время разряда между электродами?

Задание 9. Покажите искровой разряд между электродами вторичной обмотки ИВ-100.

Присоедините к клеммам индукционной катушки батарею аккумуляторов на 8—10 *в*. Покажите в затемненной комнате искровой разряд. Изменяя направление тока в первичной обмотке, покажите, как меняется характер искрового разряда.

Введите в искру конец узкой полоски бумаги и покажите, что она загорается.

Уменьшите расстояние между электродами до 30—50 *мм*, поставьте на пути искры лист из картона и покажите, что картон пробивается.

Задание 10. Покажите прямолинейное распространение катодных лучей, используя трубку со звездой.

Трансформатор Тесла (рис. 38) позволяет получать ток высокого напряжения и высокой частоты. При помощи его можно показать много интересных демонстраций, иллюстрирующих свойства высокочастотных токов, которые широко применяются в современной науке и технике.

Трансформатор Тесла состоит из первичного колебательного контура и индуктивно связанного с ним вторичного контура. Первичный контур состоит из конденсатора переменной емкости, образованного плоскопараллельными пластинами, переменной индуктивности (несколько витков толстой проволоки) и искрового промежутка.

Вторичный контур состоит из цилиндрической многослойной катушки, один из концов которой присоединен к шарику наверху катушки, второй — к заземленному металлическому стержню на основании каркаса катушки. Этот стержень вставляется в отверстие панели прибора, чем достигается центровка первичной катушки.

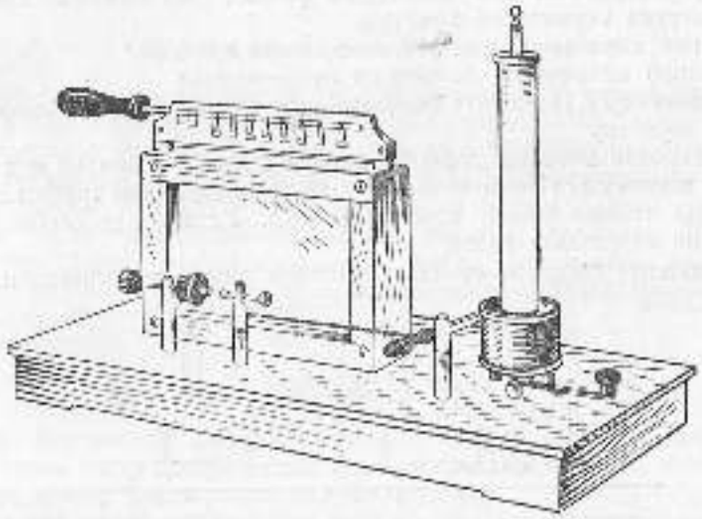


Рис. 38

Емкостью вторичного контура служит распределенная емкость между витками вторичной катушки.

Настройка контуров в резонанс производится изменением индуктивности первичной катушки и емкости конденсатора. Настройку надо производить во время демонстрации. Питание трансформатора Тесла производится от вторичной обмотки высоковольтного индуктора.

При работе с прибором следует строго соблюдать правила техники безопасности.

Основные технические данные

Максимальная емкость конденсатора $6 \cdot 10^{-3}$ *мкф*. Индуктивность первичной катушки колебательного контура — 11 *мкгн*.

Задание 11. Ознакомьтесь с устройством трансформатора Тесла и составьте его принципиальную схему.

Соберите установку по рисунку 39.

Отрегулируйте искровой промежуток в трансформаторе Тесла так, чтобы в нем возникла искра.

Покажите в затемненной комнате коронный разряд около шарика вторичной катушки.

О направлении тока можно судить только по виду искры; если искра бьет с острия к центру, то диск заряжен отрицательно (катод); если искра бьет с острия к краям диска, то диск заряжен положительно (анод).

При работе с индуктором необходимо соблюдать следующие правила техники безопасности:

1. Не прикасаться руками к разряднику и боркам, а также к проводам, идущим от борков к другим приборам.

2. Не допускать искрового промежутка разрядника более 100 *мм* во избежание пробивания изоляции внутри секции вторичной обмотки.

3. Не допускать прикосновения и близкого расположения к корпусу прибора проводов, идущих от борков.

4. Нельзя нагревать индуктор выше 40° во избежание плавления парафиновой изоляции вторичной обмотки.

5. Не снимать пластмассовые крышки и перемычку, так как это может привести к обрыву проводов, соединяющих вторичную обмотку с борнами.

Задание 8. Изучите устройство ИВ-100 и ответьте на следующие вопросы:

1. Что можно сказать о величине э. д. с. индукции, возникающей во вторичной обмотке при замыкании и размыкании цепи первичной обмотки?

2. Какой характер индукционного тока, возникающего во вторичной обмотке во время разряда между электродами?

Задание 9. Покажите искровой разряд между электродами вторичной обмотки ИВ-100.

Присоедините к клеммам индукционной катушки батарею аккумуляторов на 8—10 *в*. Покажите в затемненной комнате искровой разряд. Изменяя направление тока в первичной обмотке, покажите, как меняется характер искрового разряда.

Введите в искру конец узкой полоски бумаги и покажите, что она загорается.

Уменьшите расстояние между электродами до 30—50 *мм*, поставьте на пути искры лист из картона и покажите, что картон пробивается.

Задание 10. Покажите прямолинейное распространение катодных лучей, используя трубку со звездой.

Трансформатор Тесла (рис. 38) позволяет получать ток высокого напряжения и высокой частоты. При помощи его можно показать много интересных демонстраций, иллюстрирующих свойства высокочастотных токов, которые широко применяются в современной науке и технике.

Трансформатор Тесла состоит из первичного колебательного контура и индуктивно связанного с ним вторичного контура. Первичный контур состоит из конденсатора переменной емкости, образованного плоскопараллельными пластинами, переменной индуктивности (несколько витков толстой проволоки) и искрового промежутка.

Вторичный контур состоит из цилиндрической многослойной катушки, один из концов которой присоединен к шарику наверху катушки, второй — к заземленному металлическому стержню на основании каркаса катушки. Этот стержень вставляется в отверстие панели прибора, чем достигается центровка первичной катушки.

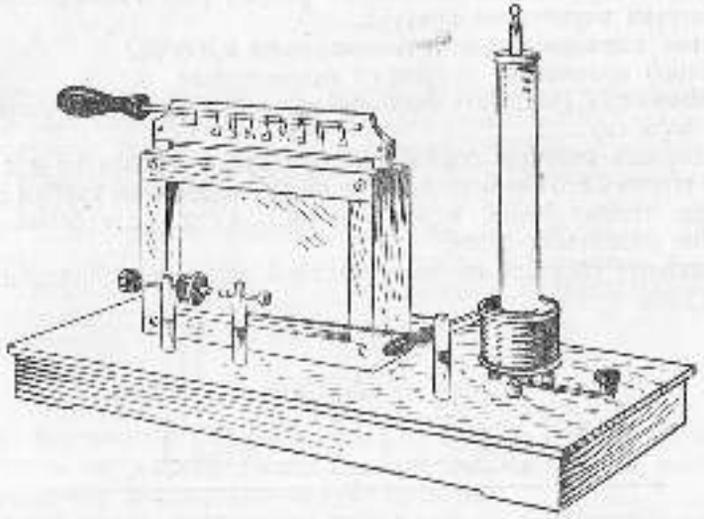


Рис. 38

Емкостью вторичного контура служит распределенная емкость между витками вторичной катушки.

Настройка контуров в резонанс производится изменением индуктивности первичной катушки и емкости конденсатора. Настройку надо производить во время демонстрации. Питание трансформатора Тесла производится от вторичной обмотки высоковольтного индуктора.

При работе с прибором следует строго соблюдать правила техники безопасности.

Основные технические данные

Максимальная емкость конденсатора $6 \cdot 10^{-4}$ *мкф*. Индуктивность первичной катушки колебательного контура — 11 *мгн*.

Задание 11. Ознакомьтесь с устройством трансформатора Тесла и составьте его принципиальную схему.

Соберите установку по рисунку 39.

Отрегулируйте искровой промежуток в трансформаторе Тесла так, чтобы в нем возникла искра.

Покажите в затемненной комнате коронный разряд около шарика вторичной катушки.

Изменяя емкость или индуктивность первичного контура, настройте его в резонанс со вторичным контуром и покажите, что в этом случае возникает максимальный искровой разряд около шарика вторичной катушки.

Не изменяя частоты колебаний, возбуждаемых трансформатором Тесла, установите, как влияет на разряд расстояние искрового промежутка первичного контура.

Какое влияние оказывает заземление прибора?

Каково назначение искрового промежутка?

Задание 12. Покажите свечение газов под действием токов высокой частоты.

Настройте контуры трансформатора Тесла в резонанс и поднесите к шарику его вторичной катушки газоразрядные трубки с различными газами (неон, водород и др.). Установите особенности свечения отдельных газов.

Покажите свечение стекла пустотной лампы накаливания.

Рис. 39

Продемонстрируйте свечение неоновой лампы. Держа лампу за стеклянный баллон, поднесите ее к шарику вторичной обмотки (обратите внимание, равномерно ли светится весь баллон лампы).

Задание 13. Покажите свечение трубок Тесла.

Возьмите прямую трубку Тесла в руку за один конец, а другой конец ее поднесите к шарику вторичного контура трансформатора Тесла. (Не ближе 2—3 *см*.) Покажите, что в этом случае светится вся трубка.

Сохраняя расстояние трубки от шарика, измените положение руки, удерживающей трубку, при этом изменяется и свечение трубки.

Покажите, что с удалением трубки от шарика свечение ее уменьшается.

Задание 14. Покажите физиологическое действие токов высокой частоты.

Возьмите в руку металлический предмет и приблизьте его к шарику вторичной обмотки катушки трансформатора Тесла. Испытывает ли какое-нибудь действие рука экспериментатора?

Задание 15. Покажите прохождение тока высокой частоты через твердые диэлектрики.

Для демонстрации этого явления вторичную катушку трансформатора Тесла накройте химическим тонкостенным стаканом. Включите трансформатор. На некотором расстоянии от стекла поднесите металлический предмет, как и в предшествующем задании. Включите трансформатор и покажите проскакивание искры через дно стакана.

Какой вывод можно сделать из этой демонстрации?

Приборы и материалы

Трансформатор разборный малой мощности; трансформатор малой мощности на вертикальной панели; универсальный школьный трансформатор; катушка Томсона; высоковольтный индуктор ИВ-100; высокочастотный трансформатор; амперметр демонстрационный; низковольтные лампы на подставках; электрическая дуга; набор трубок Тесла; магнитоэлектрическая машина; неоновая лампа; пустотная лампа; трубка со звездой; набор гейслеровых трубок; реостат; аккумулятор на 8—10 *в*; высокоомные провода; изолирующие штативы.

5. ВЫПРЯМИТЕЛИ

При постановке различных демонстраций и лабораторных работ очень часто требуется постоянный ток. Кроме того, постоянный ток нужен для зарядки аккумуляторов.

Для получения постоянного тока в школах пользуются выпрямителями. Широкое распространение получили полупроводниковые, газотронные и кенотронные выпрямители.

Литература

А. С. Касаткин, М. А. Перепалин, П. С. Сергеев, Электротехника, Госэнергоиздат, 1953, стр. 331—332; 339—342.

Л. И. Федоров, Каталог-справочник. Учебное оборудование по физике для средней школы, Учпедгиз, 1959, стр. 155—159.

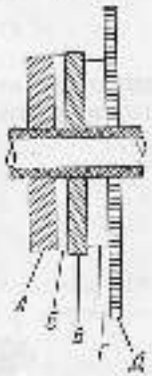


Рис. 40

Полупроводниковые выпрямители. Задача выпрямления переменных токов небольших мощностей весьма просто решается при помощи полупроводниковых вентилей, известных под названием твердых выпрямителей. В настоящее время широко распространены два вида твердых выпрямителей: медноэакисный (купроксный) и селеновый.

Элемент купроксного вентиля (рис. 40) представляет собой медный диск *А*, отделенный запирающим слоем *Б* от слоя закиси меди *В*. К последнему прилегает для лучшего контакта свинцовый диск *Г*, за которым располагается тонкий, большого диаметра медный радиаторный диск *Д*. Конструктивно элементы полупроводниковых вентилей выполняются в виде диска или пластинки. Величины

Для этого измерьте величину прямого (а) и обратного (б) токов и вычислите величину коэффициента добротности вентиля — отношение прямого тока вентиля к обратному

$$g = \frac{I_{пр}}{I_{обр}}.$$

Для измерения прямого тока воспользуйтесь демонстрационным амперметром. Так как обратный ток незначительный, то его можно измерить, используя этот же прибор как гальванометр.

Задание 2. Ознакомьтесь с устройством купроксного выпрямителя, имеющего магнитный шунт.

На разобранном выпрямителе установите, из каких частей он состоит, по какой схеме соединены купроксные вентили, каковы его технические данные. Составьте схему выпрямителя.

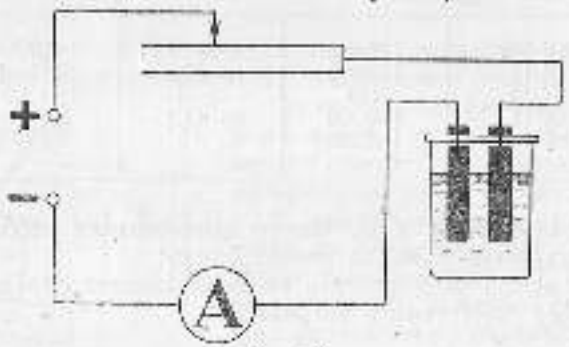


Рис. 46

Задание 3. Познакомьтесь с регулировкой выпрямленного напряжения.

Подключите к клеммам постоянного тока выпрямителя вольтметр. Включите выпрямитель в сеть переменного тока и, перемещая магнитный шунт, наблюдайте за изменениями выпрямленного напряжения.

Установите, в каких пределах изменяется выпрямленное напряжение при неизменном напряжении в сети.

Задание 4. Покажите намагничивание стального стержня током от выпрямителя.

Возьмите стальной стержень 1, опустив его в мелкие стальные опилки, покажите, что стержень не намагничен.

Наматайте плотно на стержень 5—10 витков проволоки с хорошей изоляцией и через реостат подключите к клеммам постоянного тока выпрямителя.

Пропустите ток через катушку и покажите, изменились ли магнитные свойства стального стержня.

Влияет ли пульсация выпрямленного тока на намагничивание стали?

Сколько времени следует пропускать ток для данного опыта?

Задание 5. Ознакомьтесь с устройством купроксного выпрямителя с обычным трансформатором.

На разобранном выпрямителе установите, по какой схеме соединены купроксные вентили, каковы его технические данные. Составьте схему выпрямителя.

Задание 6. Воспользуйтесь купроксным выпрямителем для демонстрации электролиза медного купороса.

Прежде чем опускать угольные электроды в раствор, почистите их наждачной бумагой и убедитесь, что на их поверхности нет металлических налетов. Затем соберите установку, согласно рисунку 46.

Подключите собранную цепь к клеммам постоянного тока выпрямителя и включите его в сеть переменного тока.

Заметьте показания амперметра и время, потребное для того, чтобы на поверхности электрода образовался заметный красноватый налет меди.

Вопросы

1. Для каких демонстраций и опытов можно использовать купроксный выпрямитель?
2. Какими способами можно продемонстрировать пульсацию выпрямленного тока?
3. Почему купроксный выпрямитель пригоден лишь для выпрямления низкочастотного тока и не пригоден для выпрямления высокочастотного тока?
4. Как лучше соединить отдельные вентили выпрямителя для получения высокого напряжения и для получения наибольшей величины выпрямленного тока?

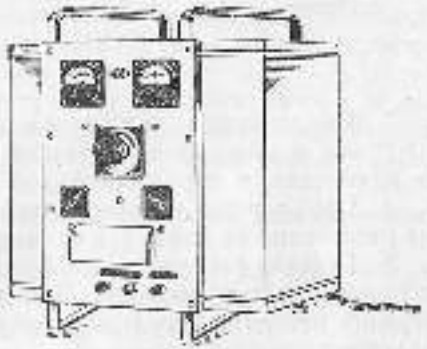


Рис. 47

Селеновый выпрямитель. В отличие от купроксных выпрямителей селеновые более устойчивы к температурным колебаниям (предел допустимого нагрева 70°).

Широкое распространение в технических лабораториях и в физических кабинетах получили два вида селеновых выпрямителей: ВСА-5 (рис. 47) и ВСА-111 (рис. 48, а).

Принципиальная схема выпрямителя ВСА-111 показана на рисунке 48, б.

Эти выпрямители по своей мощности значительно больше, чем ранее рассмотренные купроксные. Они могут работать от сети переменного тока с напряжениями 110, 127 и 220 в. От них можно получить постоянный ток величиной 8—12 а и напряжением 60—80 в.

Так как конструктивно эти два вида выпрямителей мало отличаются друг от друга, то в работе предлагается ознакомиться с каким-либо одним из них.

Селеновые выпрямители используются для зарядки щелочных и кислотных аккумуляторов, при проведении работ физического практикума, а также для постановки демонстраций, в которых требуется постоянный ток большой величины.

При использовании селенового выпрямителя необходимо соблюдать следующие правила эксплуатации:

1. Выпрямитель включать в сеть переменного тока только при включенной нагрузке на клеммы постоянного тока.

2. После длительных перерывов в работе выпрямителя (месяц и более) перед эксплуатацией необходимо провести «тренировку» (подформовку) выпрямителя.

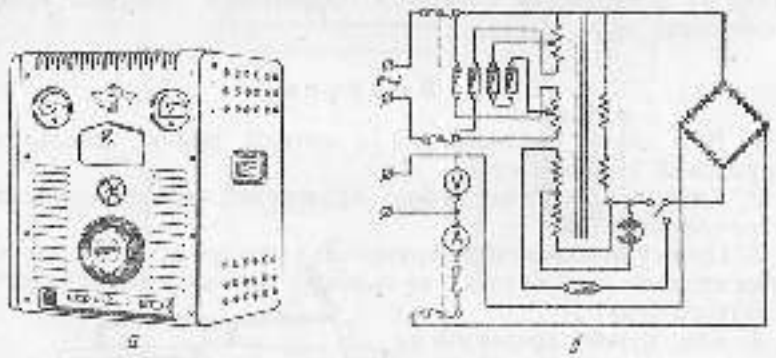


Рис. 48

3. Не допускать перегрузки выпрямителя. При подключении нагрузки к клеммам постоянного тока руководствуйтесь данными выпрямителя и характеристикой подключаемой нагрузки.

4. При зарядке аккумуляторов устанавливать аккумуляторы на расстоянии не менее 1 м от выпрямителя.

5. Гудение регулятора напряжения не является признаком неисправности выпрямителя. Для уменьшения гудения нужно повернуть рукоятку регулятора напряжения на пол-оборота в ту или другую сторону.

6. Выпрямитель содержать в чистоте, не допускать его перегрева, а также попадания на него влаги.

Задание 7. Покажите выпрямительное действие селенового вентиля.

Включите эту демонстрацию в соответствии с указаниями, данными в задании 1.

Задание 8. Ознакомьтесь на приборе с устройством селенового выпрямителя.

На разобранном выпрямителе установите, из каких частей он состоит, каково их назначение, изучите цепь управления.

Задание 9. Познакомьтесь с установкой выпрямителя на работу (порядок проведения «тренировки»).

Открыв крышки, закрывающие предохранители, проверьте наличие предохранителей постоянного тока (три штуки, из них левый на 2 *а*) и правильность установки двух предохранителей цепи переменного тока (на 10 *а*) в зависимости от напряжения питающей сети.

Заземлите корпус через клемму «заземление». Затем подсоедините выпрямитель к сети переменного тока, проверив соответствие напряжения сети и установленного напряжения питания прибора.

Установите регулятор на минимальное напряжение, вращая его ручку против часовой стрелки до отказа, и поставьте переключатель тока в положение «1,5 *а*».

Подержав ручки выключателей переменного тока и нагрузки, проверьте по вольтметру наличие выпрямленного тока (напряжение 35 *в*). Через 2—3 минуты увеличьте напряжение выпрямленного тока до 70—80 *в*, вращая ручку регулятора по часовой стрелке. Дайте выпрямителю поработать 5—10 минут, после чего, снизив напряжение до 30—40 *в*, переведите переключатель в положение «8 *а*» и вновь увеличьте напряжение до предельного — 120 *в* (при этом напряжении выпрямитель должен работать 5—10 минут).

Задание 10. Воспользуйтесь селеновым выпрямителем для зарядки аккумуляторов.

Прежде чем ставить аккумуляторы на зарядку, необходимо:

1. Тщательно зачистить зажимы аккумуляторов.

2. Проверить полюсы аккумуляторов не по знакам на коробках, в которых поставлены аккумуляторы, а с помощью вольтметра постоянного тока.

3. Проверить плотность электролита в аккумуляторе и его уровень, доливая в случае большой плотности дистиллированную воду, а в случае пониженной — электролит той же плотности (см. работу «Химические источники тока»).

4. Вынуть пробки из кислотных аккумуляторов (для щелочных аккумуляторов прочистить клапаны в пробках).

5. Проверить исправность каждого аккумулятора. Если напряжение на клеммах некоторых щелочных аккумуляторов менее 1 *в*, а на клеммах кислотных аккумуляторов менее 1,7 *в*, то, значит, они неисправны или совершенно разрушены. Эти аккумуляторы ставить на зарядку вместе с другими нельзя до выяснения причин столь низкого напряжения.

6. Определить величину зарядного тока и напряжения. Эти данные указаны в паспортах аккумуляторов. Величина зарядного тока зависит от величины пластин аккумуляторов. Необходимо, чтобы напряжение источника тока было в 1,5—2 раза выше, чем напряжение аккумуляторной батареи в момент окончания зарядки.

7. Соедините аккумуляторы в последовательную батарею и присоедините ее к выпрямителю, соблюдая соответствие полярности клемм батареи и выпрямителя (рис. 49). С помощью регулятора

напряжения выпрямителя и лампового реостата подберите нужное напряжение и ток. Пропуская ток в течение 15—20 минут, проверьте, правильно ли идет процесс зарядки.

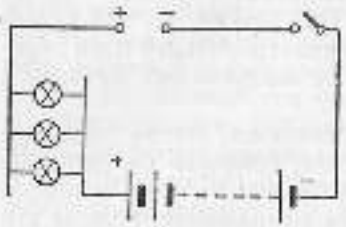


Рис. 49

Задание 11. Покажите взаимодействие двух катушек с током.

Для этой демонстрации воспользуйтесь двумя самодельными плоскими катушками, каждая из которых имеет 20—30 витков (провод ПБО диаметром 0,3—0,5 *мм*).

Подвесьте обе катушки на гибких и легких шнурах на двух штативах так, чтобы плоскости обеих катушек были параллельны между собой и удалены на расстояние 10—15 *см*.

Для питания катушек постоянным током воспользуйтесь селеновым выпрямителем.

Пропустите через катушки токи одинакового и противоположного направлений, покажите, как они взаимодействуют.

Каковы величина тока и расстояние между катушками для получения хорошего эффекта демонстрации?

Вопросы

1. Почему рекомендуется кислотные аккумуляторы заряжать отдельно от щелочных?

2. Какое количество щелочных аккумуляторов можно зарядить одновременно от селенового выпрямителя?

3. Как должны быть соединены при зарядке аккумуляторы различной емкости?

Ионные выпрямители. Ионный вентиль представляет собой электровакуумный прибор, в котором происходит несамостоятельный дуговой разряд в сильно разреженном инертном газе или парах ртути. Ионные вентили бывают различных конструкций. Так, например, используется двуханодный газотрон ВГ-176 (рис. 50). Этими же вентилями оснащен школьный электрораспределительный щит. С помощью газотрона ВГ-176 можно получить максимальный выпрямленный ток величиной 6 *а* при максимальном значении напряжения выпрямленного тока 24 *в*.

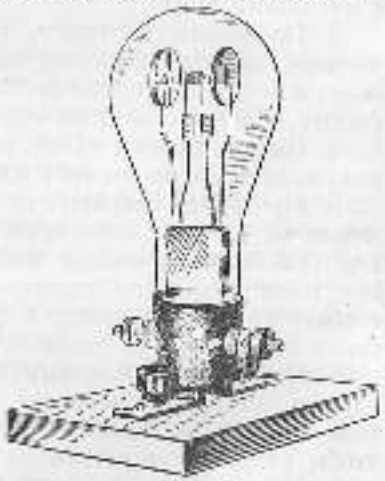


Рис. 50

Большое распространение в физических лабораториях получили газотронные выпрямители ВГ-2 с измерительными приборами

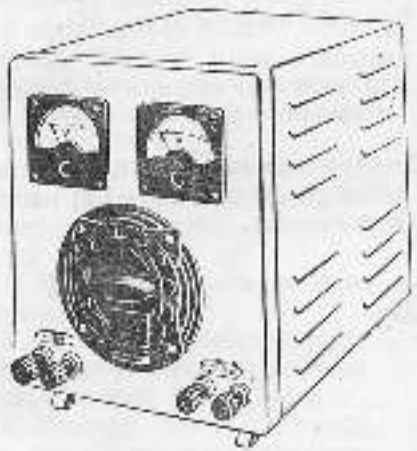


Рис. 51

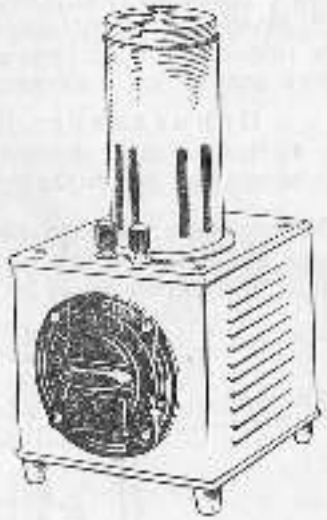


Рис. 52

(рис. 51) и ВГ-3 без измерительных приборов (рис. 52). Так как принципиальных отличий в указанных выпрямителях нет, то в работе следует выполнять задания с одним из них.

Задание 12. Познакомьтесь с устройством и регулировкой напряжения газотронного выпрямителя.

На разобранном выпрямителе установите, из каких частей он состоит и назначение каждой части. Составьте принципиальную схему выпрямителя.

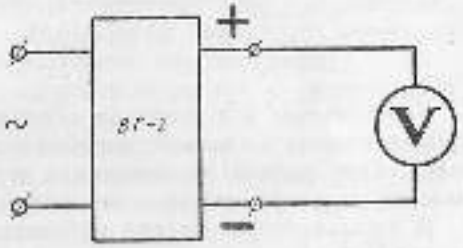


Рис. 53

Соберите электрическую цепь по схеме рисунка 53 и покажите, в каких пределах можно регулировать напряжение выпрямленного тока.

Задание 13. Сравните искру, возникающую между электродами высоковольтного индуктора ИВ-100 при питании ее одинаковым по величине напряжением от батареи аккумуляторов и от газотронного выпрямителя.

Вопросы

1. Сколько пальчиковых аккумуляторов можно зарядить одновременно с помощью газотронного выпрямителя?

2. Можно ли использовать в качестве источника постоянного тока газотронный выпрямитель для демонстрации существования трения электронов в металлах (кольцо Барлоу)? (рис. 54).

Примечание. Для решения этого вопроса следует предварительно показать это явление, используя батарею пальчиковых аккумуляторов, и замерить величину тока.

Кенотронные выпрямители. Электронные выпрямители используются для выпрямления малых токов (не больше 0,5—1 *а*) напряжением от десятков вольт до сотен киловольт.

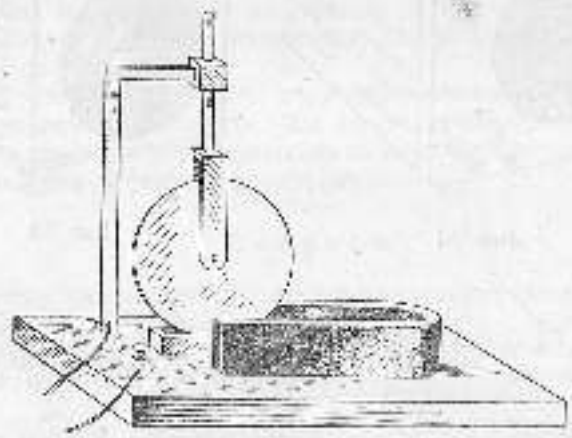


Рис. 54

Кенотронные выпрямители обладают идеальной односторонней проводимостью и в этом отношении являются лучшими из выпрямителей. Они широко применяются в радиоизмерительных устройствах, медицинских аппаратах, промышленной энергетике и т. д.

В школьных физических кабинетах распространены небольшие кенотронные выпрямители, выполненные по схеме двухполупериодного выпрямления на лампах 5Ц/С, имеющие силовой трансформатор и фильтр (рис. 55). Питание осуществляется от сети переменного тока с частотой 50 *гц* и напряжением — 110, 127 и 220 *в*. С помощью выпрямителя можно получить максимально выпрямленный ток величиной 125 *ма* при нагрузке в 200 *в*. Без нагрузки максимальное напряжение равно 300 *в*.

Кроме того, на щитке выпрямителя есть выход на переменное напряжение 6,3 *в*, необходимое для питания накалов электронных ламп.

Для подготовки выпрямителя к работе нужно установить переключатель питания (расположенный в верхней части трансформатора) так, чтобы стрелка указателя была направлена на цифру, соответствующую напряжению питающей сети; подключить к прибору заземление, а к клеммам постоянного тока — цепь, питаемую постоянным током. Затем включить выпрямитель в сеть переменного тока.

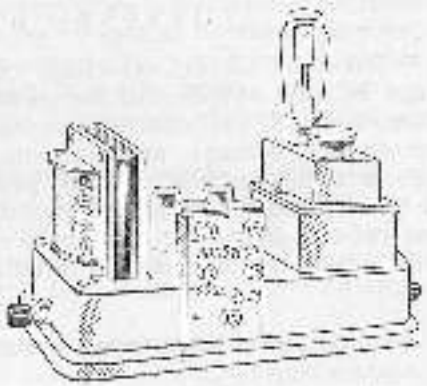


Рис. 55

При работе с выпрямителем надо соблюдать правила техники безопасности.

1. Не включать выпрямитель в сеть переменного тока без проверки положения переключателя питания.

2. Не перегружать выпрямитель.

3. При работе с выпрямителем не касаться контактных штифтов с напряжением 200 и 300 *в*.

4. Прежде чем разбирать цепь, подключенную к кенотронному выпрямителю, разрядите конденсаторы фильтра выпрямителя. Для этого соедините коротким проводником клеммы общей земли (—) и клеммы (+).

Задание 14. Познакомьтесь на разобранном приборе с устройством кенотронного выпрямителя.

Установите, из каких схем он состоит, назначение каждой части и технические данные. Составьте принципиальную схему выпрямителя.

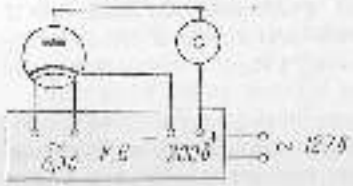


Рис. 56

Задание 15. Покажите с помощью электронного осциллографа:

а) осциллограмму переменного тока;

б) осциллограмму пульсирующего тока, полученного в результате выпрямления переменного тока кенотроном;

в) осциллограмму тока на выходе кенотронного выпрямителя.

Задание 16. Воспользуйтесь кенотронным выпрямителем для создания анодного тока в цепи с электронной лампой.

Для этого соберите электрическую цепь по схеме рисунка 56.

Вопросы

1. В каком выпрямителе — кенотронном или газотронном, опасно последствия короткого замыкания в цепи выпрямленного тока?

Принципиальная схема электрораспределительного щита показана на рисунке 58. Электрощит состоит из трех цепей: трехфазного и однофазного переменных токов и постоянного тока. Напряжение трехфазного тока не регулируется, а напряжение переменного однофазного и постоянного токов регулируется.

К электрощиту подводится обычно трехфазный ток к концам, отходящим от предохранительных коробок *5*. Если в кабинете нет

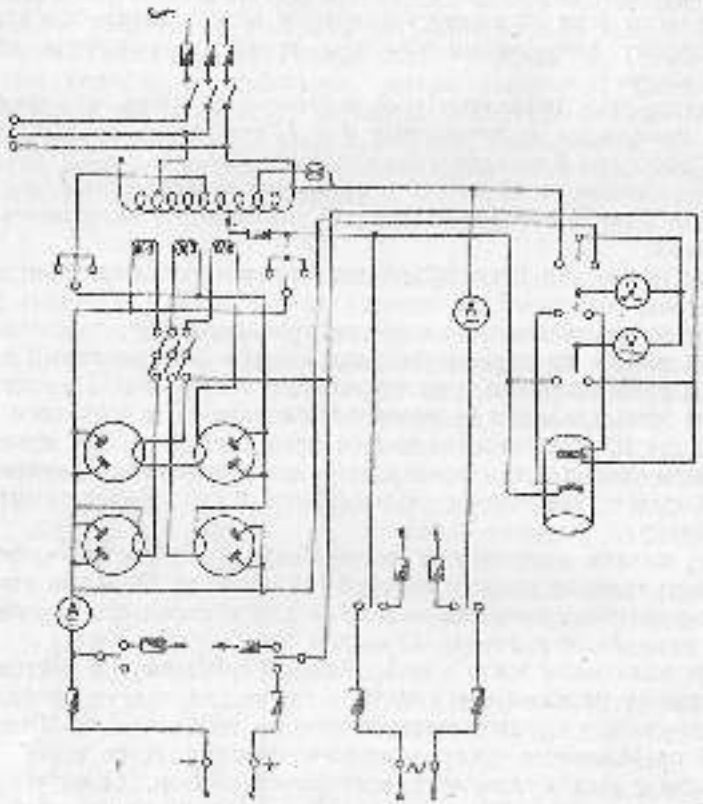


Рис. 58

трехфазного тока, то к щиту подводят однофазный ток к двум предохранителям *5* (левая крайняя клемма *15* обесточена).

Прежде чем включать щит в сеть переменного тока, необходимо все четыре пакетных выключателя поставить в положение «Выключено»; проверить соответствие напряжения переменного тока в сети с входным напряжением до щитка автотрансформатора; проверить заземление корпуса щита. Лишь после этого можно включать электрощит в сеть переменного тока.

Получение со щита переменного напряжения

1. Перевести ручку ползунка автотрансформатора *16* в крайнее левое положение, соответствующее нулевому делению шкалы переменного тока.

2. Переключатель *9* поставить в положение «Переменный ток».

3. Включить пакетный выключатель *8*.

4. С помощью ручки автотрансформатора установить по вольтметрам необходимое напряжение.

5. В зависимости от надобности включить пакетный выключатель *11* в положение «Нагнетание» или «Отсос».

При выключении нужно придерживаться следующей последовательности: с помощью рукоятки автотрансформатора сбросить напряжение до нуля; пакетные выключатели *8* и *11* перевести в положение «Выключено», а затем отключить рабочую цепь от клемм щита.

Для получения трехфазного тока с клемм *15* достаточно включить пакетный выключатель *8*.

Получение со щита постоянного напряжения

Перевести ручку автотрансформатора в среднее положение, соответствующее нулевому делению шкалы постоянного тока (рис. 57).

Переключатель *9* поставить в положение «Постоянный ток», выключатель *8* — в положение «Включено».

Включить пакетный выключатель *21* для подачи напряжения накала всех разрядных ламп (включение газотронов можно проверить через смотровое стекло *23*).

Дать прогреться лампам в течение одной минуты, после чего выключатель *19* перевести в положение «Включено».

Вращая ручку автотрансформатора вправо или влево, установить по вольтметру необходимое напряжение.

При выключении постоянного напряжения следует придерживаться такой последовательности: с помощью рукоятки автотрансформатора сбросить напряжение до нуля; выключатели *19*, *21* и *8* последовательно поставить в положение «Выключено». Затем отключить от клемм *18* рабочую цепь.

При работе с электрораспределительным щитом надо соблюдать правила техники безопасности:

щит нельзя устанавливать вблизи отопления, в сыром помещении, около места хранения кислот;

выпрямитель предохранять от коротких замыканий и от перегрузки током свыше 9 *а*;

не ставить вместо предохранителей «жучки» и пробки, рассчитанные на ток более 10 *а*;

при зарядке аккумуляторов не ставить их к электродвигателю ближе чем на 1—1,5 *м*;

все работы со щитом производить только после ознакомления с устройством и правилами эксплуатации;

рассматривать внутреннее устройство можно только при выключенном щите.

Задание 1. С помощью принципиальной схемы (рис. 58) ознакомьтесь с устройством электрораспределительного щита.

Ход работы. 1. Установите по монтажной схеме переключение щита для питания его от сети с напряжением в 127 и 220 *в* и осуществите соединение, соответствующее напряжению сети.

2. Проследите за ходом цепи однофазного переменного тока. Обнаружьте ввод и вывод, установите назначение пакетных переключателей и плавких предохранителей, автотрансформатора, измерительных приборов и составьте монтажную схему этой цепи.

3. Проследите за ходом цепи постоянного тока и тоже снимите монтажную схему.

Рассмотрите устройство предохранителей, установите, на какую величину тока они рассчитаны, и проверьте их исправность.

Задание 2. Получите от щита переменный ток напряжением 40—60 *в* для работы электрической дуги.

При работе с электрической дугой следует придерживаться такого порядка: плотно укрепить в станке для держателей углей два одинаковых угольных стержня диаметром 3—5 *мм*, а электрическую дугу установить в металлическом корпусе проекционного фонаря, из которого удалена вся оптическая часть.

Наблюдать за работой электрической дуги только через темные стекла или же с помощью очков с темными стеклами.

Менять угли можно только при выключенной дуге, а вынимать их из держателей надо с помощью металлических щипцов.

Ход работы. 1. Поставьте все пакетные выключатели в положение «Выключено», после чего включите щит в осветительную систему.

2. Соедините клеммы электрической дуги, угли которой разведены, через ключ и реостат (5—10 *ом*, 15—20 *а*) с клеммами переменного тока *12* (на щите) и подайте на клеммы переменное напряжение 40—60 *в*.

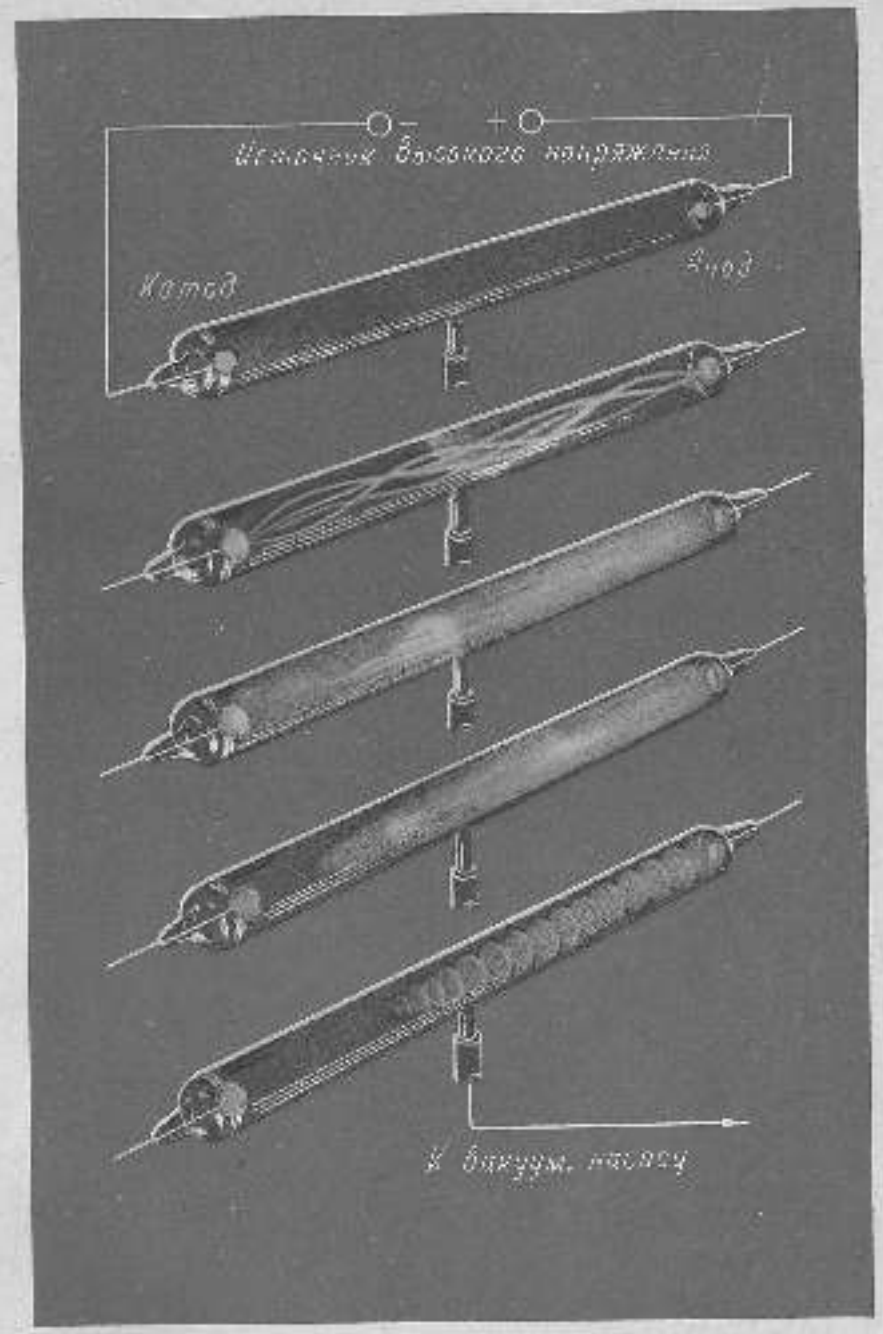
3. Замкните обратную цепь и осторожно сближайте угли до соприкосновения. Как только концы углей накалятся, разведите их на небольшое расстояние, на котором поддерживается устойчивое горение дуги.

4. Запишите показания амперметра и вольтметра и обратите внимание на особенности горения дуги на переменном токе.

5. После окончания работы разведите угли, выключите ключ и в указанной выше последовательности выключите щит.

Обратите внимание на форму обгоревших концов углей электрической дуги и объясните, чем это вызвано.

Задание 3. Получите от электрораспределительного щита постоянный ток напряжением 40—60 *в* для работы электрической дуги.



В предыдущей установке замените один из углей более толстым (диаметром 6—8 мм) и соедините его с «плюсом» клеммы щита *18*, другой более тонкий электрод соедините с «минусом» и подайте на клеммы постоянное напряжение 40—60 *в*. Получите устойчивое горение дуги. Наблюдая за горением дуги, отметьте показания вольтметра и амперметра.

Чем отличается работа электрической дуги на переменном и постоянном токах? Почему последовательно с дугой следует включать сдвоенный реостат?

Задание 4. Включите электродвигатель в сеть трехфазного тока на электрораспределительном щите.

> Примечание. Так как напряжение трехфазного тока в щите не регулируется, то к клеммам щита *15* можно подключать приборы и машины, рассчитанные на такое же напряжение, как и напряжение сети трехфазного тока.

Подключите электродвигатель к клеммам *15*. Затем включите пакетный выключатель *8* и покажите электродвигатель в работе.

Задание 5. Получите от электрораспределительного щита постоянный ток напряжением 15—20 *в* для демонстрации магнитного спектра прямого тока.

Соедините прибор для демонстрации магнитного спектра прямого тока через ключ и реостат (5—10 *ом*, 3—4 *а*) с клеммами постоянного тока *18*. Затем насыпьте на экран мелкие сухие железные опилки, и на клеммы *18* подайте необходимое напряжение. Ударяя сосуда пальцем по экрану, покажите магнитный спектр прямого тока.

Получится ли картина магнитного спектра, если эту же модель питать переменным током той же величины?

Каким образом обеспечить видимость этой демонстрации?

Задание 6. Покажите с помощью электронного осциллографа осциллограммы переменного и выпрямленного токов.

Подключите вертикальный вход электронного осциллографа к клеммам щита *12* и покажите осциллограмму переменного тока.

Подключите вход электронного осциллографа к клеммам щита *18* и покажите осциллограмму выпрямленного тока.

В каких школьных демонстрациях по физике пульсация выпрямленного тока не влияет на результат эксперимента?

Для каких демонстраций по физике нельзя заменить постоянный ток пульсирующим током, получаемым при помощи щита?

Как можно показать пульсацию выпрямленного тока без электронного осциллографа с помощью конденсаторов и лампы накаливания?

Задание 7. Выясните, можно ли использовать электрораспределительный щит как источник тока при проведении фронтальных лабораторных работ.

Для этого соберите лабораторную установку для определения электрохимического эквивалента меди и подключите собранную цепь к клеммам, имеющимся на столах (от щита). Вместо других ученических установок, в данной работе можно взять ламповый или ползунковый реостат, который следует соединить параллельно с собранной установкой. Подобрать такое сопротивление реостата, чтобы общая мощность всей цепи, приключенной к щиту, не превышала 2 *квт*.

Включите щит и подайте к столам выпрямленный ток напряжением 15—20 *в*, при этом отмечайте показания лабораторных амперметра и вольтметра, включенных в собранную установку, в то время, когда включаются или выключаются лампы реостата или меняется положение ползунка реостата.

Вопросы

1. В чем состоит недостаток электрораспределительного щита как источника тока для фронтальных лабораторных работ?
2. Зачем прогревают газотронные лампы перед тем, как получать от щита постоянный ток?
3. Зачем электрораспределительный щит заземляют?
4. Если щит не дает переменного тока, то каков должен быть порядок выяснения причин отсутствия переменного тока?
5. Если щит не дает постоянного тока, то как устранить неисправность?

Приборы и материалы

Электрораспределительный щит; электронный осциллограф; электрическая дуга; корпус от проекционного фонаря; угли для дуги разных размеров; реостаты (5—10 *ом*, 20 *ом*); ламповый реостат на 5—6 ламп, электролампы (на 127 и 220 *в* мощностью 50, 100 и 200 *вт*); прибор для демонстрации магнитного спектра прямого тока; калориметр; электроды для электролиза медного купороса; лабораторный амперметр; лабораторный вольтметр; конденсатор на 4 и 8 *мкф* с рабочим напряжением 350 *в*; контрольная лампа; предохранители на 10 *а*; металлические щипцы; ключи; отвертка; плоскогубцы.

7. ПРОЕКЦИОННАЯ АППАРАТУРА

Проекционные аппараты служат для проецирования на экран увеличенных изображений прозрачных и непрозрачных предметов, а также для демонстрации ряда физических явлений.

Проекционные фонари для проецирования диапозитивов, печатных текстов и т. п. бывают двух видов: *эпископы* и *диаскопы*. Эпископы служат для проецирования непрозрачных предметов (рисунков, чертежей, текста из книг), а диаскопы для проецирования диапозитивов. Универсальный проекционный аппарат *эпидиаскоп* позволяет получать проекцию как прозрачных, так и непрозрачных предметов.

В физических кабинетах средних школ наиболее распространены проекционный фонарь ПФ-115 (диаскоп), универсальный проекционный аппарат с оптической скамьей (диаскоп) и эпидиаскоп.

Для успешной эксплуатации проекционных аппаратов независимо от их конструкции необходимо в первую очередь научиться правильно центрировать свет.

При неправильном расположении источника света на экране в освещенном круге образуются разной формы цветные пятна или края освещенного круга приобретают радужную окраску (см. цветную вклейку). Если радужная окраска синеватого цвета, значит, источник света расположен очень близко к конденсору; если красноватого цвета, то источник удален от конденсора.

Работа с оптическими приборами требует исключительной аккуратности — нельзя трогать полированные поверхности линз руками и протирать их бумагой. Протирать оптические части приборов нужно чистой стираной полотняной тканью, слегка смоченной в денатурированном спирте.

При проведении демонстраций с использованием проекционной аппаратуры не допускайте попадания влаги на металлические части аппаратов.

Литература

Е. Н. Горячкин, Методика преподавания физики в семилетней школе, т. II, Учпедгиз, 1942, стр. 143—153.

А. П. Кузьмин, А. А. Покровский, Опыты по физике с проекционной аппаратурой, Учпедгиз, 1956, стр. 8—20.

Проекционный фонарь ПФ-115

Проекционный фонарь ПФ-115 (рис. 59) состоит из металлического корпуса, укрепленного на короткой скамье, образованной из двух направляющих труб. С передней стороны фонаря скамья опирается на массивную подставку, а с задней стороны на подвижной винт. Внутри корпуса находится держатель лампы с рефлектором. Держатель установлен на направляющих трубах и может перемещаться в горизонтальном и вертикальном направлениях и поворачиваться вокруг вертикальной оси.

В передней части корпуса имеется круглое отверстие для конденсора, который состоит из двух плоско-выпуклых короткофокусных линз, обращенных выпуклостями друг к другу и заключенных в металлическую обойму.

Перед конденсором укрепляется подставка, в горизонтальной части которой находится объектив. В вертикальной части подставки есть приспособление для крепления рамки с диапозитивами.

В качестве источника света можно использовать электрическую лампу на 127 или 220 в мощностью 500 вт. Если из корпуса удалить держатель для лампы, то можно в качестве источника света воспользоваться электрической дугой (диаметр углей не более 3—5 мм).

Задание 1. Ознакомьтесь с устройством проекционного фонаря.

Разберите проекционный аппарат и установите, из каких частей он состоит, каковы их оптические характеристики, зарисуйте ход лучей.

Задание 2. Получите на экране с помощью проекционного фонаря световое пятно в виде яркого, равномерно освещенного круга.

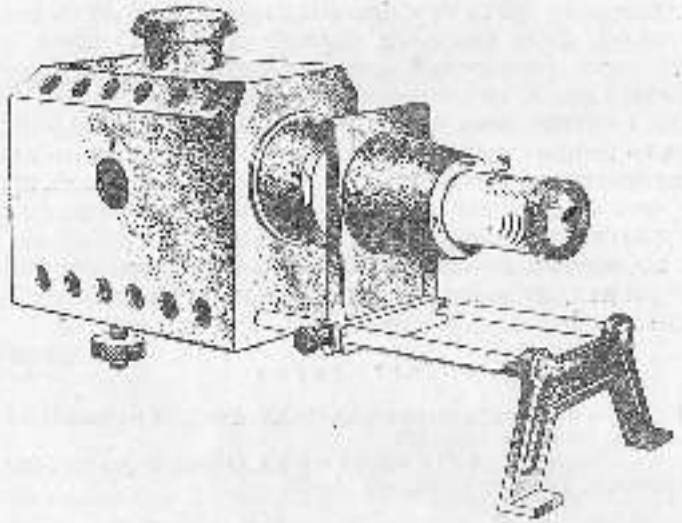


Рис. 59

Соберите проекционный фонарь, подведите питание к лампе и установите на расстоянии 3—4 м от фонаря экран так, чтобы ось оптической системы была перпендикулярна экрану.

Осуществите центрирование света. Снимите с держателя лампы рефлекторное зеркало и перемещайте источник света до тех пор, пока на экране не получится яркий, равномерно освещенный круг. Найдя правильное положение лампы, закрепите ее стопорным винтом, после сего вновь укрепите рефлектор и найдите правильное положение рефлектора по отношению к источнику света, чтобы на экране не было бликов. В этом положении закрепите рефлектор.

Задание 3. Получите проекцию диапозитива на экране.

1. Вставьте диапозитив в кассету рамы и установите ее между конденсором и объективом. Регулируя положение объектива, получите на экране чудное и резкое изображение.

2. Получите проекцию диапозитива на боковой стене, на потолке и сзади фонаря. Для этого на пути пучка света поставьте под разными углами плоское зеркало.

Задание 4. Установите на опытах назначение каждой оптической части проекционного фонаря.

Покажите, как изменяется изображение на экране, если удалить из аппарата: а) рефлектор, б) конденсор, в) одну из линз конденсора, г) одну линзу из объектива, д) весь объектив, заменив его линзами на подставках с разными фокусными расстояниями.

Задание 5. Спроецируйте на экран диапозитивы, выполненные на широкой кинопленке.

Вынуть конденсор из цилиндрической обоймы корпуса фонаря и осторожно снимите с его оправы кольцо. На оправу конденсора наденьте насадку для кинопленки так, чтобы штифты оправы совпадали с вырезами в кольце (рис. 60).

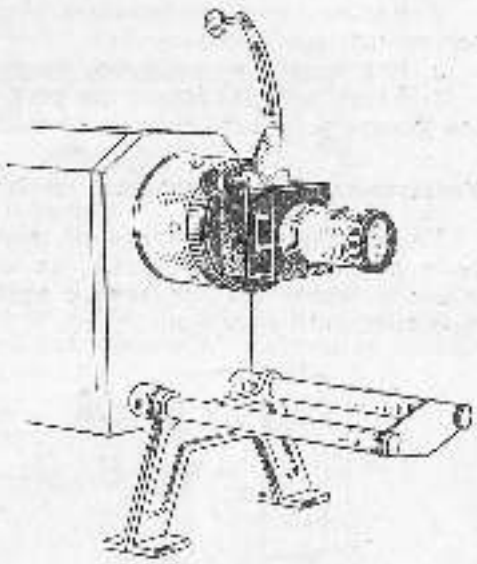


Рис. 60

Установите в фонаре кинопроекционную лампу мощностью 300 или 500 вт и получите на экране однородное световое пятно.

Сверхузкую пленку наденьте на стержень кронштейна-держателя так, чтобы в рамке пленка была в перевернутом положении и обращена матовой стороной к источнику света.

Конец пленки заложите в паз фильмового канала рамки и проведите до упора в резиновые валики. Вращая ручку по направлению часовой стрелки, проведите пленку до кадрового окна и получите на экране отчетливое изображение диапозитива.

Во избежание порчи пленки не допускайте длительного воздействия источника света на кадр.

Задание 6. Спроецируйте на экран сообщающиеся капиллярные сосуды.

Наполните один из сообщающихся сосудов смачивающей стекло жидкостью, а второй сосуд — несмачивающей жидкостью (вода и ртуть). Поставьте сообщающиеся сосуды на столик со стержнем и укрепите столик на оптической скамье на таком расстоянии от конденсора, чтобы сосуды были равномерно освещены.

Перемещая объектив вдоль оптической оси конденсора, получите на экране резкое обратное изображение сообщающихся сосудов.

Установите за объективом оборотную призму и получите на экране прямое изображение.

Вопросы

1. Как можно получить на экране изображение диапозитива площадью в два раза меньше, чем площадь экрана?
2. Как меняется освещенность диапозитива на экране с увеличением площади изображения?
3. Как правильно вставлять диапозитив в кассету рамки?
4. Каким образом можно без регулировки лампы в проекционном фонаре устранить явление хроматической аберрации?

Универсальный проекционный аппарат с оптической скамьей

Универсальный проекционный аппарат (рис. 61) имеет в комплекте раздвигающуюся скамью, на которую с помощью рейторов можно устанавливать различные приборы и приспособления для горизонтальной проекции.

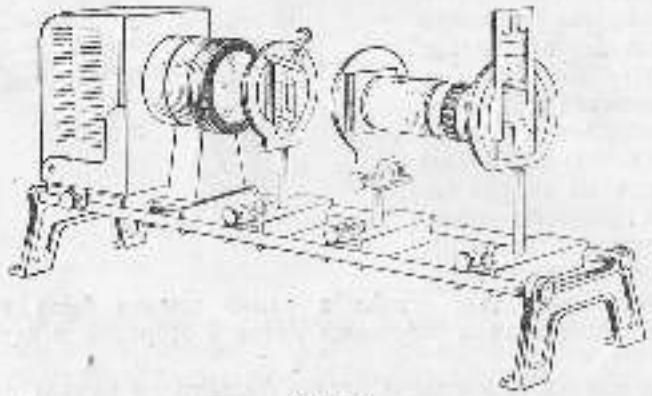


Рис. 61

Источники света устанавливаются в корпусе осветителя с помощью специальных патронов (рис. 62). Эти патроны заканчиваются вилкой, вставляемой в гнезда колодки, помещенной внутри корпуса.

Для центрирования света на корпусе осветителя имеется два регулировочных винта. Винт *а* предназначен для горизонтального перемещения лампы, а винт *б* — для вертикального перемещения.

В комплект проекционного аппарата (рис. 63) входят следующие детали: скамья *1*, корпус осветителя *2* с колодкой, в которой имеются гнезда для установки источников света; источники света *3*:

кинопроекционные лампы К-18 или К-12, автомобильная лампа А-20 *4*, дуговая лампа *5*, ртутная лампа СВДШ-250 *6* (последние два источника выпускаются Главучтехпромом отдельно); конден-

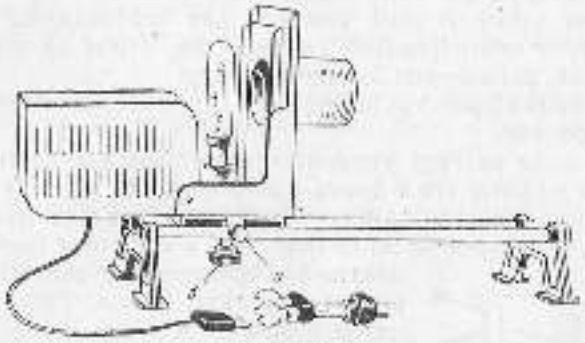


Рис. 62

сор разборный *7*; объектив типа «Перископ» *8* ($F = 13{,}6$ *см*); двойная рамка для диапозитивов на ширме *9*; диафрагма дисковая *10*; раздвижная щель *15*; столик на стержне *11*; рейторы с простым

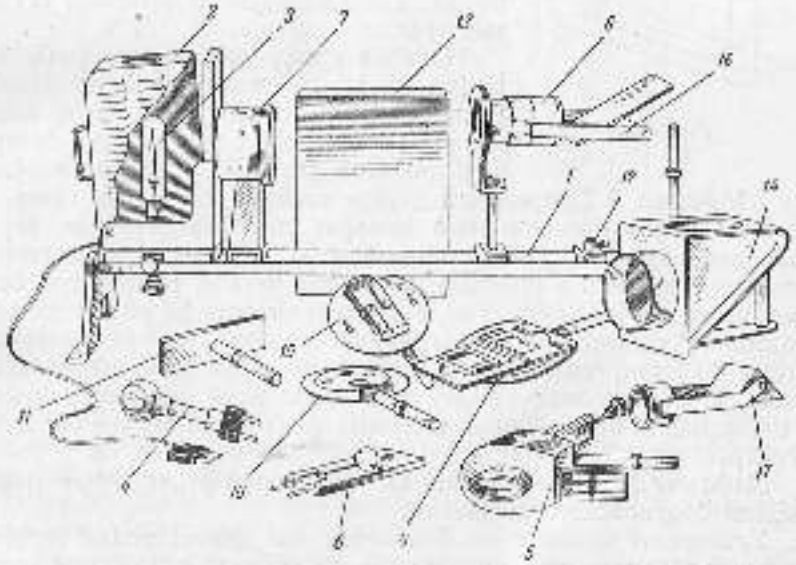


Рис. 63

универсальным креплением *12*; экран-ширма *13*; приспособление для горизонтальной проекции *14*; плоское зеркало с креплением на оправу объектива *16*; оборотная призма с креплением *17*.

Задание 7. Ознакомьтесь с устройством универсального проекционного аппарата.

Установите, какие основные части и детали входят в комплект аппарата, каково их назначение и фактические характеристики.

Соберите проекционный аппарат для вертикальной проекции и произведите центрирование системы так, чтобы на экране получился яркий, равномерно освещенный круг.

Задание 8. Спроецируйте на экран процесс выделения металла при электролизе.

Приготовьте раствор уксуснокислого свинца в дистиллированной воде и залейте его в сосуд с плоскопараллельными стенками.

Поместите в сосуд два фигурных свинцовых электрода, укрепленных на картонной крышке (рис. 64), и составьте цепь из последовательно соединенных ванны для электролиза, реостата, ключа, батареи аккумуляторов на 4—6 *в*.

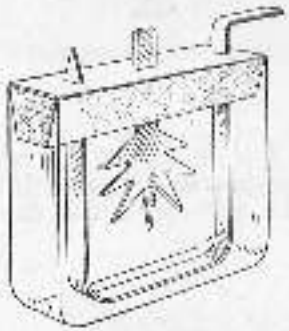


Рис. 64

Установите сосуд между конденсором и объективом и спроецируйте прибор на экран.

Замкните цепь и покажите процесс электролиза. Если реакция идет слишком медленно, увеличьте величину тока. Отметьте, сколько времени занимает эта демонстрация.

Получив «сатурново дерево» (выделяющийся на катоде свинец образует подобие расходящихся ветвей), переменьте соединение электродов с полюсами батареи и покажите, что при этом произойдет.

Задание 9. Продемонстрируйте явление дисперсии света.

Установите проекционный аппарат для демонстрации вертикальных объектов. Между конденсором и объективом поставьте раздвижную щель и получите на экране четкое, равномерно освещенное ее изображение. После этого поместите за объективом на подставке стеклянную трехгранную призму (с преломляющим углом 60°) так, чтобы ее преломляющее ребро было параллельно щели, и, поворачивая призму так, чтобы лучи шли через призму с наименьшим отклонением, получите на боковом экране сплошной спектр.

Задание 10. Спроецируйте на экран прибор для демонстрации модели броуновского движения.

Установите проекционный аппарат для демонстрации горизонтальных объектов; для этого выньте из обоймы конденсора переднюю линзу и укрепите вплотную к конденсору приспособление для горизонтальной проекции, в зеркало часть которого поместите выпуклую плоско-выпуклую линзу.

На вертикальный стержень наденьте ширму с объективом и плоским зеркалом и укрепите эту систему стопорным винтом

(рис. 65). Перемещая объектив с зеркалом вверх и вниз, спроецируйте на экран верхнюю линзу конденсора. Затем укрепите на стержне между объективом и конденсором модель броуновского движения и, перемещая по стержню объектив, получите на экране четкое изображение модели.

Задание 11. Спроецируйте на экран спектры электрических полей.

Налейте в стеклянный кристаллизатор, размер дна которого немного меньше диаметра конденсора, слой касторового масла

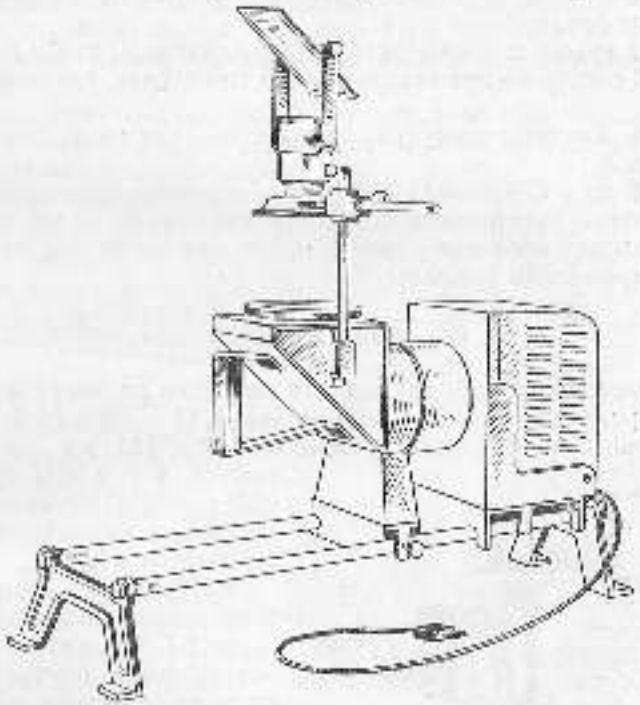


Рис. 65

толщиной 3—4 *мм*. Укрепите на боковой поверхности кристаллизатора электроды, на одном конце которых укреплен шарик или диск, а на другом — клемма.

Воспользуйтесь установкой для горизонтальной проекции и установите в качестве осветителя электрическую дугу.

Поместите на плоско-выпуклую линзу горизонтальной насадки чистое плоское стекло, установите на него кристаллизатор и спроецируйте на экран.

Насыпьте на поверхность касторового масла небольшое количество сухой манной крупы через мелкое сито, затем соедините электрод с одним из колдукторов электрофорной машины и пока-

жите спектр электрического поля, образованного двумя заряженными шариками и двумя плоскими параллельными пластинами.

Замените электрическую дугу кинопроекционной лампой и установите, в каком случае получается наилучшая видимость спектров электрического поля.

Вопросы

1. Что в методическом отношении целесообразнее использовать при горизонтальном проецировании на экран: плоское зеркало или оборотную призму?

2. Как нужно изменить установку в задании 9, чтобы получить сплошной спектр на прямом экране (на том экране, где получалась щель)?

3. Как влияет на картину сплошного спектра ширина щели диафрагмы?

4. При каких условиях получается наиболее отчетливая картина спектров электрического поля: в том случае, когда частички крупы находятся на поверхности масла или когда они предварительно перемешаны в масле?

Эпидиаскоп

Эпидиаскоп (рис. 66) служит для проекции на экран: прозрачных изображений (диапозитивов) размером 45 × 60 и 85 × 85 *мм*; непрозрачных изображений размером 140 × 140 *мм* (рисунков, текстов и т. п.); непрозрачных плоских объектов (кристаллов, измерительных инструментов и т. п.).

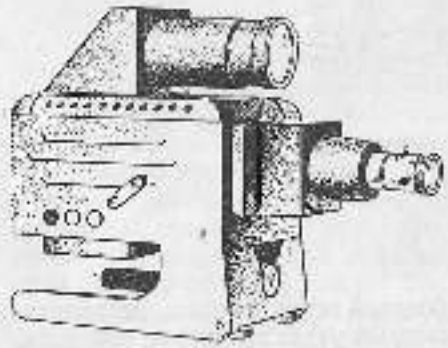


Рис. 66

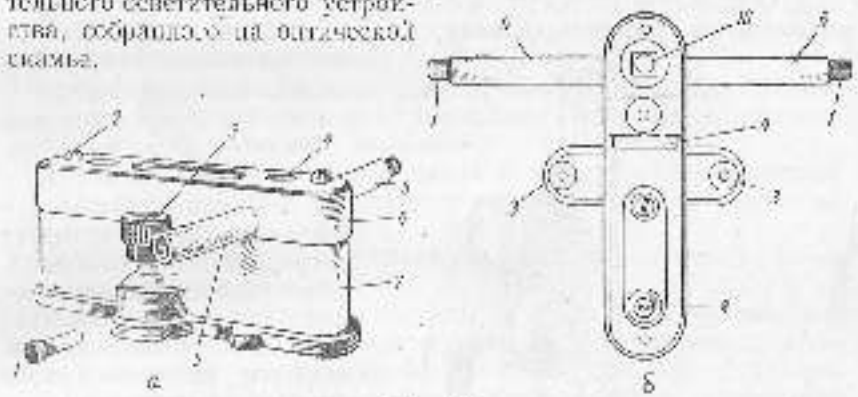
Внутреннее устройство эпидиаскопа показано на рисунке 67. Он состоит из металлического корпуса *1*, в котором находится лампа *11* прожекторного типа мощностью 500 *вт* на напряжение 127 или 220 *в*. Лампа вставляется в обычный патрон, укрепленный на трубке, которая крепится в дне корпуса с помощью винта. На шарнире внутри корпуса укреплен рефлектор 2. При помощи рукоятки, находящейся на наружной боковой стенке корпуса (на рисунке не показано), рефлектор можно устанавливать в двух положениях: для диапроекции или эпипроекции.

Для эпипроекции в эпидиаскопе есть объектив типа «Гранатель» (фокусное расстояние 442 *мм*, светосила 1 : 5) и для диапроекции —

объектив кинокопии для наблюдения броуновского движения. В корпусе (рис. 68, *б*) смонтированы осветитель *8* — лампочка от карманного фонаря (3,75 *в*; 0,25 *а*), экран *9* и камера *10*, закрытая сверху и сбоку тонким стеклом. На основании корпуса имеются две клеммы *3* для подведения напряжения к осветителю. С обеих сторон корпуса расположены два нипеля, сообщающиеся с камерой, на которые надеты две резиновые трубки *5* с металлическими колками *7*. Осветитель и экран расположены в корпусе так, что луч света через боковое стекло камеры направляется внутрь узким коническим пучком, касаясь верхнего стекла и освещая частички дыма, расположенные в непосредственной близости от него.

Описанный прибор предназначен только для визуального наблюдения.

Большинство микропроекций осуществляют при помощи биологического микроскопа, дающего увеличение более 600 ˣ и дополнительного осветительного устройства, собранного на оптической скамье.



а б

Рис. 58

Для получения достаточно отчетливого изображения микрообъекта его нужно усиленно освещать. Для этого в качестве источника света используют электрическую дугу, а изображения получают на матовом стекле сравнительно небольшого размера (900 × × 300 *мм*). При большом освещении объектив может сильно нагреться, и склеенные линзы испортятся, поэтому во избежание повреждения объектива на пути светового пучка нужно поставить тепловой фильтр. В простейшем случае таким фильтром может служить плоскопараллельная ванна с водой (слой воды не меньше 3—5 *см*).

Принципиальная оптическая схема микропроекционной установки показана на рисунке 69: *1* — источник света (электрическая дуга или кинопроекционная лампа К-18), *2* — конденсор, *3* — тепловой фильтр, *4* — предметный столик, *5* — препарат, *6* — объектив, *7* — экран.

Задание 1. Ознакомьтесь с устройством школьного микроскопа

1. Установите, из каких частей состоит микроскоп и назначение каждой части.

2. По вытравированным показателям на оправах объективов и окуляров установите увеличение микроскопа.

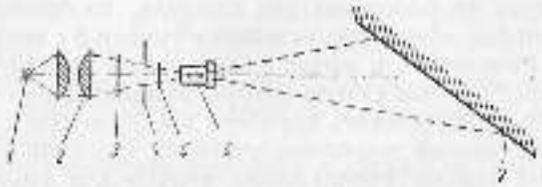


Рис. 69

3. Определите по вытравированным показаниям на объективах минимальные размеры объекта, могущего быть видимым. Для этого воспользуйтесь известной из оптики формулой

$$d = \frac{\lambda}{n \cdot \sin\alpha},$$

где λ — длина волны падающего света, которую в среднем можно принять равной 0,5 *мк*, а $n\sin\alpha$ — числовая апертура объектива.

4. Если в поле зрения имеются частички грязи, необходимо выяснить место загрязнения. Для этого, наблюдая в окуляр, немного изменяют положение зеркала. Если при этом в поле зрения частички грязи перемещаются, значит, загрязнено зеркало, которое необходимо протереть. Если при вращении зеркала картина загрязнения не меняется, то надо вращать окуляр и также наблюдать за изменением в поле зрения. Таким же образом проверяется и чистота объектива.

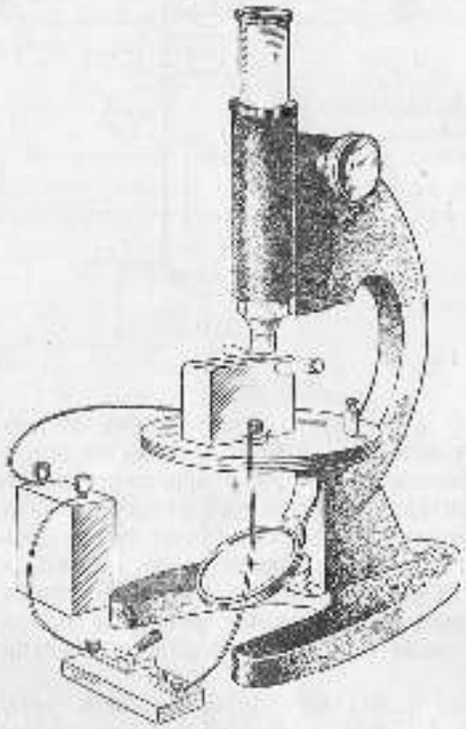


Рис. 70

Задание 2. Осуществите наблюдение броуновского движения в дыму с помощью специальной камеры.

Установите камеру на предметный столик микроскопа так, чтобы отверстие камеры *4* находилось точно под объективом, и закрепите ее в этом положении с помощью упругих пластин, имеющихся на предметном столике. Клеммы камеры соедините с батареей аккумуляторов на 4 *в* (рис. 70).

Снимите с одного конца резиновой трубки металлическую колку и пропустите через трубку дым от папиросы в камеру. Затем опустите тубус микроскопа так, чтобы объектив едва касался поверхности камеры, откройте вторую колку в резиновой трубке и включите цепь осветителя. Постепенно поднимая объектив от поверхности стекла камеры (на 3—4 *мм*), наблюдайте явление через микроскоп. Как только будет обнаружена отчетливая картина броуновского движения, закройте оба конца резиновых трубок металлическими колками.

Вопросы

1. С каким объективом и окуляром получается лучшая видимость броуновского движения?

2. Почему с помощью некоторых объективов, несмотря на большое увеличение, даваемое ими, невозможно получить отчетливого изображения броуновского движения?

3. Почему через некоторое время в камере для наблюдения броуновского движения приходится несколько менять положение объектива?

Задание 3. Покажите с помощью микропроекции образование и рост кристаллов.

Приготовьте в небольшом сосуде насыщенный раствор поваренной соли или медного купороса и с помощью стеклянной палочки перенесите каплю раствора на чистое предметное стекло. Установите препарат на предметном столике биологического микроскопа.

В качестве осветителя воспользуйтесь универсальным проекционным аппаратом с кинопроекционной лампой К-18.

Первоначально визуально с помощью микроскопа обнаружьте образование и рост кристаллов, а затем поместите между экраном и окуляром непрозрачную ширму с отверстием для окуляра микроскопа. На окуляре установите прямоугольную равнобедренную призму и, перемещая объектив от нижнего положения, получите на матовом экране четкую картину.

Задание 4. Покажите микропроекцию броуновского движения с помощью вертикальной установки.

Ход работы. 1. Для этой демонстрации воспользуйтесь установкой, изображенной на рисунке 71. В качестве источника света возьмите электрическую дугу (величина тока 8—10 *а*). Между отражательным зеркалом и конденсором проекционного аппарата установите теплопоглощающий фильтр.

2. Приготовьте эмульсию. Для этого твердую черную тушь или любую акварельную краску разведите в воде (хорошие результаты получаются с водой, разбавленной молоком).

3. Нанесите на предметное стекло при помощи стеклянной палочки каплю эмульсии. Поверх капли положите покровное стекло и придавите его к предметному стеклу. Приготовленный препарат

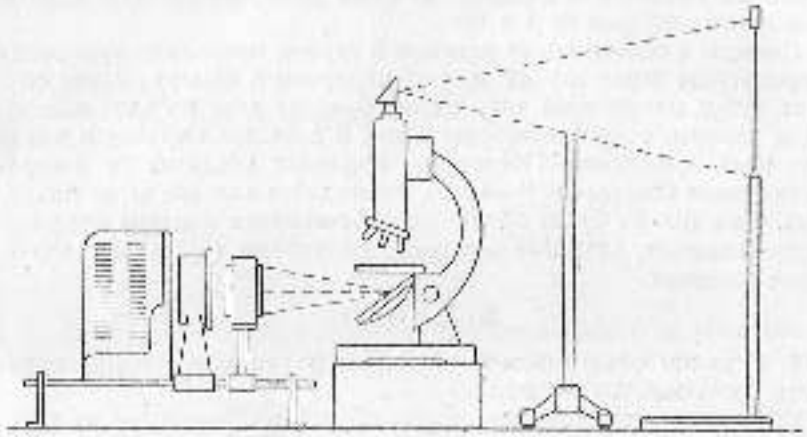


Рис. 71

поместите на предметный столик и покажите на экранном экране отчетливую картину броуновского движения.

Задание 5. Покажите микропроекцию броуновского движения с помощью горизонтальной установки (рис. 72).

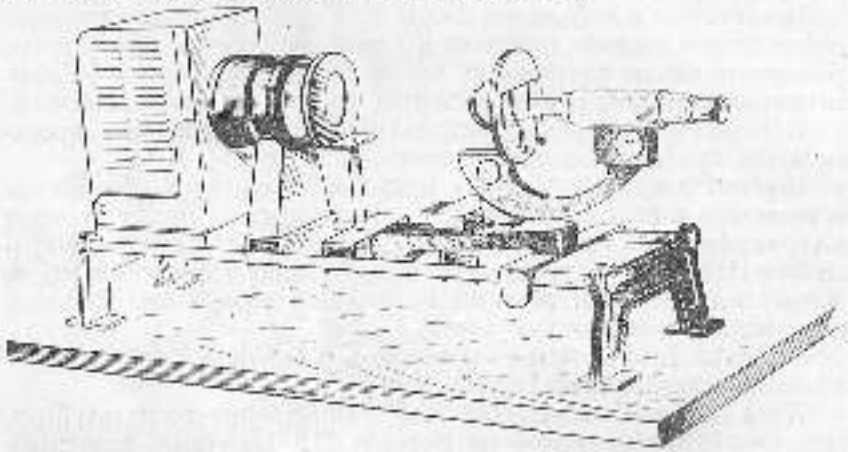


Рис. 72

Какие препараты для наблюдения броуновского движения дают более отчетливую картину?

В какой из двух установок (вертикальной или горизонтальной) микропроекции получаются лучшие результаты и почему?

Теневое проецирование

Некоторые явления, происходящие в прозрачных для лучей света веществах (пары эфира, углекислый газ, светильный газ, нагретый воздух), не могут быть наблюдаемы учащимися в аудитории ни непосредственных наблюдениях, ни с помощью светового проецирования. К таким демонстрациям относятся: наблюдение восходящих потоков воздуха от нагретого тела, обнаружение паров эфира и углекислого газа, волновые явления на поверхности воды и др.

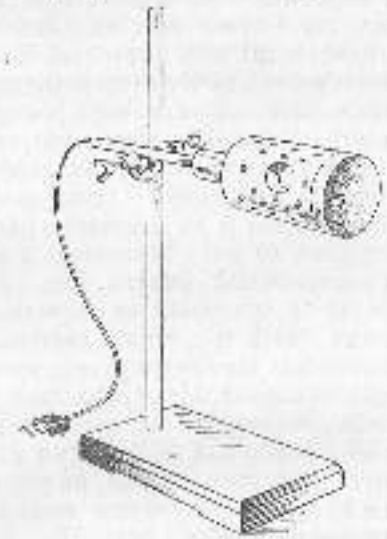


Рис. 73

Помимо этого, ограниченное применение светового проецирования обусловлено тем, что отчетливое проецирование зависит от размеров поля конденсора

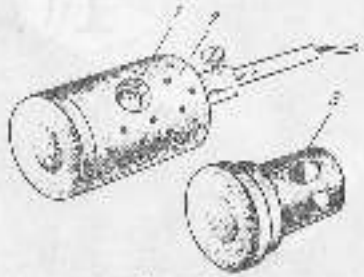


Рис. 74

и проецируемого прибора. Поэтому проецировать богатые приборы или целую установку, в которых имеются отдельные важные детали незначительных размеров, этим способом невозможно.

Для указанных выше случаев используется теневое проецирование. Теневое проецирование повышает наглядность при постановке чистых демонстраций. Показ явлений в бесцветных средах с помощью теневой проекции основан на явлении преломления света при прохождении через границу двух сред.

Удобство теневого проецирования состоит в том, что оно не требует специального оборудования (нужно иметь только источник света, приближающийся по своим свойствам к точечному источнику света).

Для получения теневой проекции источник света помещают в непрозрачный корпус с отверстием для светового потока (можно воспользоваться проекционным фонарем ПФ-115, из которого предварительно вынуть всю оптическую часть). В качестве источника света лучше всего использовать ртутные лампы СВДШ-250, ИВО-100 или электрическую дугу (с диаметром углей 3—5 мм), питаемую

током постоянного напряжения. Если указанных источников нет, то можно воспользоваться кинопроекционной лампой К-18 или автомобильной А-20. Очень удобен для теневых проекций осветитель (рис. 73), предложенный А. П. Кузьминым и А. А. Покровским [1]. Этот осветитель можно изготовить в любой школе.

Осветитель для теневой проекции (рис. 74) состоит из автомобильной лампы *1*, корпуса цилиндрической формы *2*, в нижней части которого укреплен патрон. В боковой части корпуса сделано отверстие цилиндрической диафрагмы *3*, надеваемой на корпус осветителя. На боковой поверхности ее находятся три отверстия диаметром 1, 2 и 3 см. В верхней части диафрагмы есть отверстие для охлаждения лампы, под которым расположена круглая пластинка, загораживающая прямой выход света от лампы наружу корпуса.

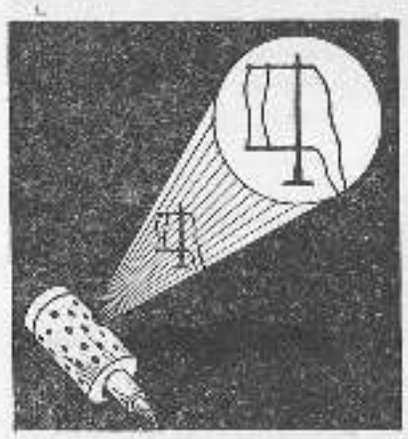


Рис. 75

Для получения вертикальной теневой проекции устанавливают экран и на некотором расстоянии от него осветитель или проекционный фонарь (без оптики) с указанными источниками света так, чтобы световой поток был перпендикулярен плоскости экрана. Между фонарем и экраном располагают проецируемый прибор или установку в конусе светового потока, на экране при этом получается теневая проекция прибора (рис. 75).

Чем дальше от экрана и ближе к источнику света будет расположен проецируемый объект, тем больше будет увеличение. Но так как часто имеют дело не с точечными источниками света, то при приближении объекта к источнику света появляется размытость границы тени, а следовательно, ухудшается четкость изображения. Поэтому в каждом отдельном случае нужно экспериментально найти такое расстояние между проецируемым прибором и экраном, а также подобрать величину диафрагмы осветителя так, чтобы получить нужное увеличение и достаточно резкие границы теней.

Для горизонтальной теневой проекции нужно иметь специальный стол со стеклянной крышкой. (Его можно сделать из обычной табуретки.) С трех сторон в нижней части стол обит фанерой, а с четвертой стороны завешен темной тканью. Источник света помещается под столом.

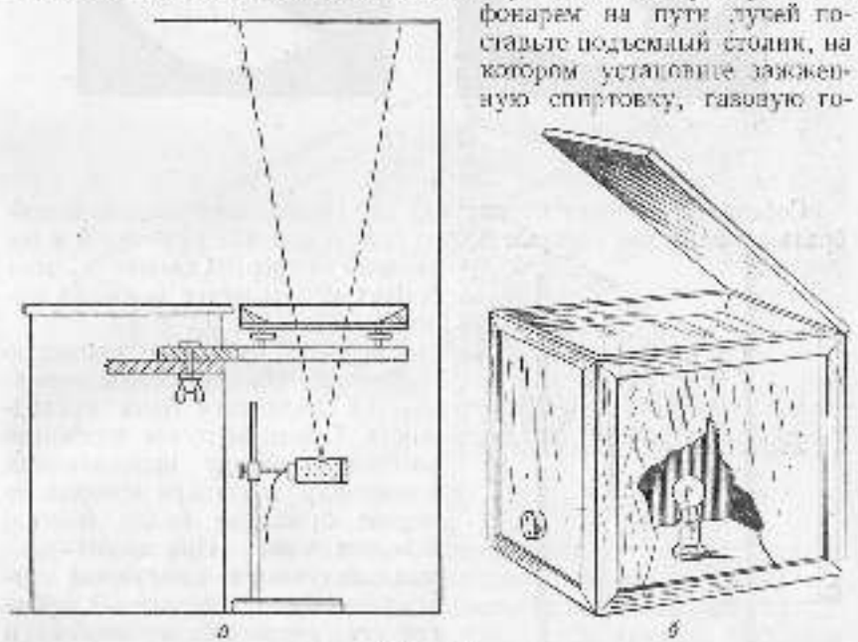
[1] А. П. Кузьмин, А. А. Покровский, Опыты по физике с проекционной аппаратурой, Учпедгиз, 1956, стр. 52.

Очень удобная и простая конструкция для горизонтальной теневой проекции разработана в лаборатории АПН РСФСР (рис. 76, *а*). В демонстрационном столе есть специальная выдвижная рама, на которую устанавливают неглубокую плоскую ванну со стеклянным дном.

Для горизонтальной теневой проекции небольших объектов можно использовать специальный деревянный ящик со стеклянной крышкой и внутренним осветителем (рис. 76, *б*).

Задание 1. Покажите с помощью теневой проекции восходящие потоки горячего воздуха.

Выньте всю оптическую часть из проекционного фонаря и установите в нем кинопроекционную лампу К-18. Между экраном и фонарем на пути лучей поставьте подъемный столик, на котором установите зажженную спиртовку, газовую го-



а *б*

Рис. 76

релку или электроплитку. Приближая или удаляя от экрана зажженную горелку, найдите положение, при котором восходящие потоки воздуха будут отчетливо видны. Поместите на пути восходящих потоков полоску картона и покажите изменение направления восходящих потоков воздуха.

Осуществите эту же демонстрацию, используя лампу А-20. С каким источником получается лучшая видимость явления?

Покажите, как влияет на получение теневой проекции размер отверстия в фонаре или диафрагма осветителя.

Задание 2. Покажите с помощью теневой проекции пары эфира (рис. 77).

В качестве источника света возьмите ртутную лампу ПРК-100.

Задание 3. Покажите в теневой проекции взаимодействие двух параллельных проводников с током.

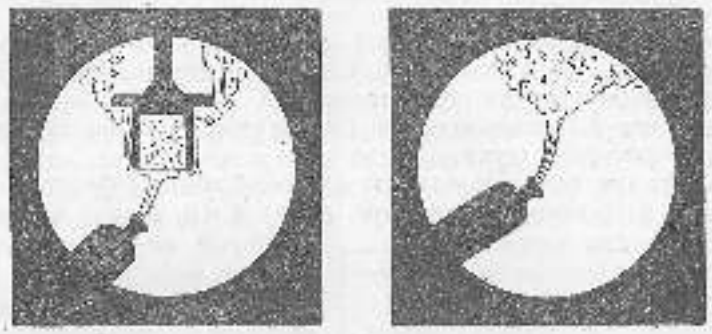


Рис. 77

Соберите установку по рисунку 78. Проводники следует подобрать такие, через которые можно пропускать ток величиной в несколько ампер. Обычно в этих опытах используется осветительная миниатюра.

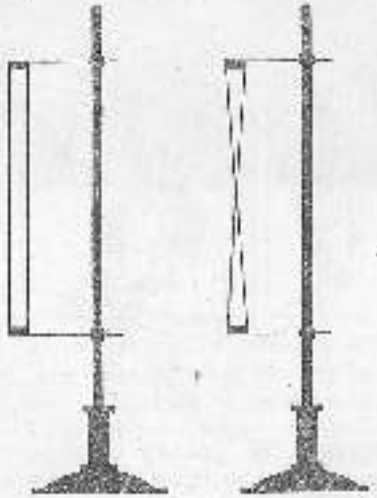


Рис. 78

Получите теневую проекцию установки, обратив особое внимание на видимость тени проводников. Опытным путем подберите расстояние между проводниками и величину тока, при которых на экране отчетливо видно взаимодействие токов. При каких данных получается наилучший эффект этой демонстрации? Как следует расположить экран и источник света для обеспечения лучшей видимости этой демонстрации?

Задание 4. Покажите в теневой проекции рисовную машину. В качестве источника света используйте в одном случае специальный осветитель, а в другом — проекционный аппарат с лампой А-20.

В каком случае получается лучшая видимость демонстрации?

Задание 5. Покажите в теневой проекции магнитные спектры прямого магнита и двух прямых магнитов, обращенных друг к другу одноименными и разноименными полюсами.

В качестве источника света используйте ртутную лампу ПРК-100 или электрическую дугу.

Задание 6. Покажите в теневой проекции дифракцию волн на поверхности воды.

Ход работы. 1. Ознакомьтесь с устройством и набором деталей волновой ванны, выпускаемой Главучтехпромом (рис. 79).

Установите горизонтально на столе для теневой проекции волновую ванну с помощью уравнительных винтов и уровня.

2. Для уменьшения отражения волн от стенок ванны надо обложить все ее борты темными полосками ткани (фланель или байка).

3. Налейте в ванну воды, перегородите ее двумя плоскими экранами так, чтобы между ними была узкая щель.

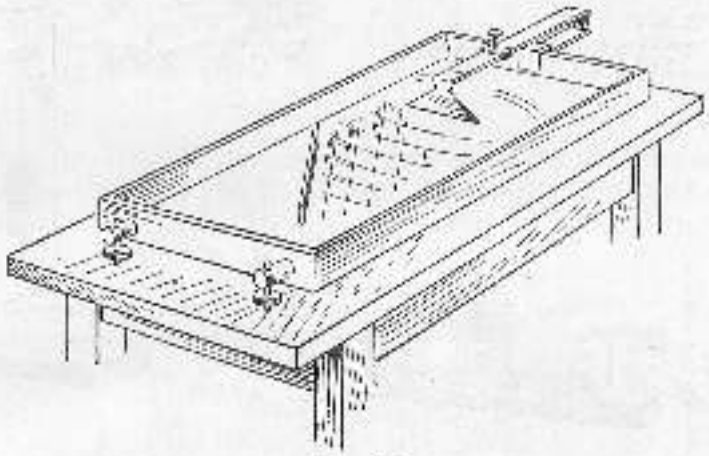


Рис. 79

4. Укрепите в держателе вибратор круговых волн и приведите его в колебание так, чтобы шарик не касался дна ванны. Покажите, что за щелью распространяются вторичные круговые волны.

После того как будет получена отчетливая картина дифракции волн при визуальном наблюдении, покажите это явление в теневой проекции, используя в качестве источника света электрическую дугу или ртутную лампу.

Задание 7. Покажите в теневой проекции интерференцию волн.

Воспользуйтесь установкой по предыдущему заданию. Снимите перегородку и вместо прежнего вибратора установите вибратор с двумя шариками.

Приведите в колебание вибратор и отрегулируйте его так, чтобы шарики при колебаниях не доходили до дна ванны, но касались бы поверхности воды. При этих условиях должны возбуждаться две системы круговых волн, дающих интерференционную картину.

Получив четкую картину интерференции волн, покажите это явление в теневой проекции.

Стробоскопический метод

В курсе физики рассматривается ряд периодических явлений, происходящих так быстро, что невооруженным глазом ни световая, ни тепловая проекции не дают возможности их наблюдать. В этих случаях приходится использовать стробоскопический метод проецирования, основанный на стробоскопическом эффекте. Стробоскопический эффект состоит в кажущемся слиянии быстро сменяющихся неподвижных изображений последовательных фаз движения объектов в изображения непрерывного движения этих объектов и, наоборот, восприятия в неподвижном виде отдельных фаз движения вращающихся предметов. Стробоскопический эффект объясняется тем, что установленное световое раздражение, воспринятое глазом, порождает в головном мозге возбуждение в виде образа, от которого в течение доли секунды после прекращения светового воздействия остается зрительное впечатление. Для получения коротких прерывистых зрительных воздействий на глаз пользуются двумя способами: равномерно мигающим источником света (например, лампа дневного света, питаемая от осветительной сети) или с помощью обтюратора, периодически перекрывающего постоянный световой поток. Последний способ широко используется в кинопроекции.

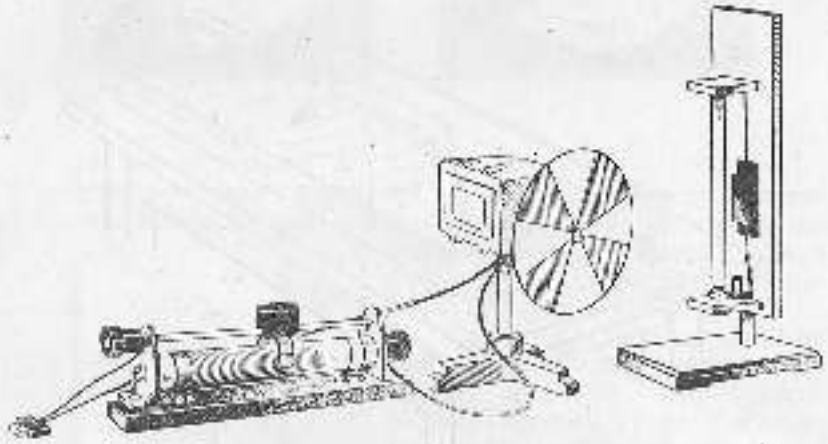


Рис. 80

Задание 1. Покажите стробоскопический эффект с помощью диска, разделенного на одинаковое число светлых и темных секторов.

Установите на демонстрационном столе двигатель, на ось которого укрепите диск с темными и светлыми секторами, а на некотором расстоянии от диска параллельно его плоскости лампу дневного света (рис. 80).

Для регулировки скорости вращения диска в цепь двигателя включите реостат. Включите двигатель и лампу дневного света

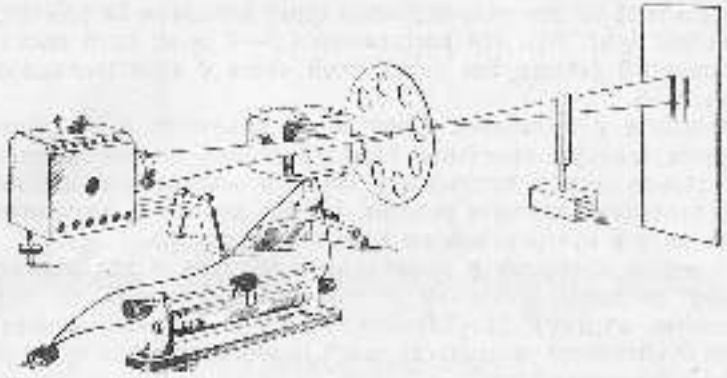


Рис. 81

в осветительную сеть и, изменяя скорость вращения вала двигателя, покажите в затемненной аудитории кажущуюся неподвижность диска.

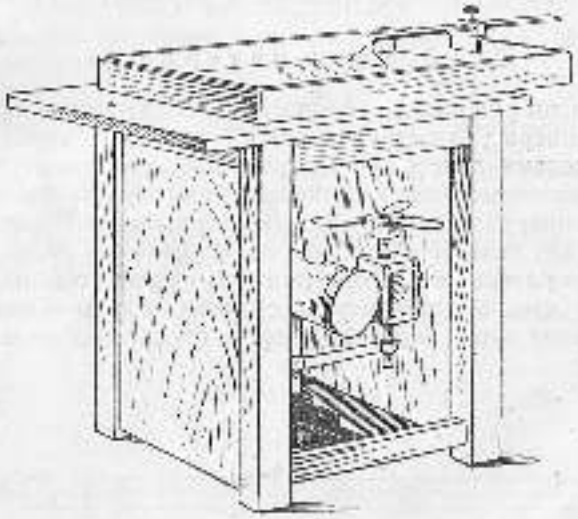


Рис. 82

Каково соотношение между числом оборотов двигателя и числом вспышек лампы дневного света при кажущейся неподвижности диска? При каком соотношении этих величин диск будет казаться вращающимся с меньшей скоростью по сравнению с истинной скоростью вращения?

Задание 2. Покажите проекцию колебаний ножек камертона стробоскопическим методом.

Установите на демонстрационном столе камертон на резонирующем ящике (рис. 81). На расстоянии 1,5—2 м от него поставьте проекционный фонарь без оптической части с кинопроекционной лампой К-18.

Приведите в колебание камертон и покажите в затемненной аудитории теневую проекцию верхних концов ножек камертона.

Поставьте между источником света и камертоном двигатель, в цепь которого включите реостат. На ось двигателя укрепите картонный диск с отверстиями по краям (обтюратор).

Приведите камертон в колебание и пустите в ход двигатель. Изменяя скорость вращения обтюратора, покажите на экране отчетливую картину затухающих колебаний ножек камертона.

Чем объясняется резкость теней ножек камертона при проекции без обтюратора?

Задание 3. Покажите стробоскопическим методом проекции волн на поверхности воды (рис. 82).

Установите между источником света и волновой ванной электродвигатель, на ось которого укрепите обтюратор. Регулируя скорость вращения вала двигателя, покажите стробоскопическим методом образование, распространение и отражения плоских волн.

Приборы и материалы

Микроскопы (школьный и биологический); универсальный проекционный аппарат; электродвигатель; стол для горизонтальной теневой проекции; электрическая дуга; плоское зеркало; полосовые магниты; железные опилки; батарея аккумуляторов; рыбки; волновая ванна; газовая горелка или спиртовка; зеленая минерал; осветитель для теневой проекции; лампа дневного света; тепловой фильтр; обтюраторы; камертон; штативы; соединительные провода; предметные стекла; химические стаканы; акварельные краски; твердая черная тушь; медный купорос; поваренная соль.

ГЛАВА VII

МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ДЕМОНСТРАЦИИ ПО ОТДЕЛЬНЫМ ТЕМАМ КУРСА ФИЗИКИ

9. ЗАКОН АРХИМЕДА

При выполнении демонстраций по этой теме необходимо иметь в виду, какое значение имеет закон Архимеда в науке (определение плотности тел, движение тел в жидкой или газовой среде и др.) и технике (обтекание колонцией, флотация, основа для расчета судов, воздухоплавательных аппаратов и др.).

Можно рекомендовать следующий порядок демонстраций, которые должны быть показаны в школе на протяжении уроков, предназначенных для изучения этой темы.

Литература

А. К. Гладарин, А. А. Покровский и др., Демонстрационные опыты по физике в VI—VII классах средней школы. Учпедгиз, 1954, стр. 134—142.

Б. Н. Горбунов, Методика преподавания физики в семилетней школе, т. II, Учпедгиз, 1948, стр. 181—189.

Задание 1. Покажите, что на погруженное в жидкость тело действует выталкивающая сила.

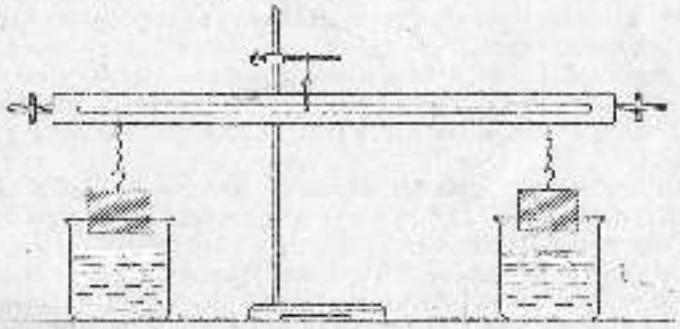


Рис. 83

Прицепите к пружине кирпич или другое твердое тело и покажите растяжение пружины в воздухе и при погружении его в воду.

Какой вывод можно сделать из этого опыта и какой дальнейший вопрос для изучения явления можно поставить?

Задание 2. Покажите качественно, что величина выталкивающей силы, действующей на тела со стороны жидкости, зависит от объема погруженного тела.

Для этого соберите установку, подобную установке рисунка 83.

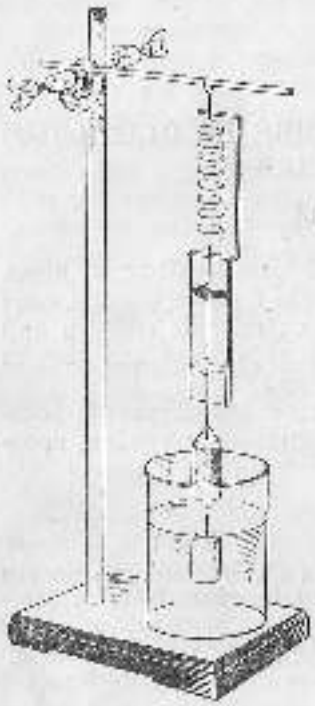


Рис. 84

Задание 3. Покажите качественно, что величина выталкивающей силы, действующей на тела равных объемов, зависит от удельного веса жидкости (рис. 83).

Задание 4. Покажите, что выталкивающая сила, с которой жидкость действует на погруженное в нее тело, равна весу жидкости в объеме погруженного тела.

Ход работы. На приборе «ведерко Архимеда» (рис. 84) покажите, что объем сплошного цилиндра, погружаемого в воду, равен объему полого цилиндра.

Расположите прибор, как показано на рисунке, и покажите величину выталкивающей силы.

На уроках следует повторить опыт с другими жидкостями, например с насыщенными растворами поваренной соли, медного купороса или с денатурированным спиртом.

Эту демонстрацию можно показать на установке с демонстрационным динамометром Главучтехпрома (рис. 85).

Как по динамометру учащиеся могут определить величину выталкивающей силы?

Задание 5. Покажите, что погруженное в жидкость тело действует на жидкость с силой, равной по величине и противоположной по направлению той, с которой жидкость действует на тело (рис. 86).

Как продемонстрировать закон Архимеда на весах Беранже (рис. 87, *а*, *б*, *в*)? Какие преимущества имеет эта установка сравнительно с предыдущими?

Задание 6. Покажите, что на погруженное в газ тело действует выталкивающая сила, равная весу газа в объеме этого тела (рис. 88).

Подвесьте на одно плечо весов стеклянную колбу (емкостью 2 *л*) и уравновесьте ее. Под колбу поставьте стеклянный сосуд.

Получите углекислый газ при помощи аппарата Киппа и наполните им сосуд. Покажите, что по мере заполнения сосуда газом рычаг с колбой поднимается.

Сохраняя газ во внешнем сосуде, наполните им колбу. Нарушится ли равновесие в этом случае?

Почему трудно добиться полного восстановления первоначального положения весов?

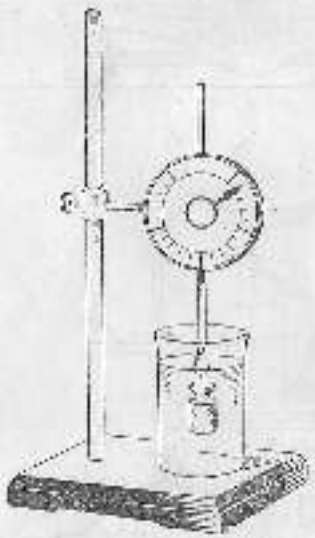


Рис. 85

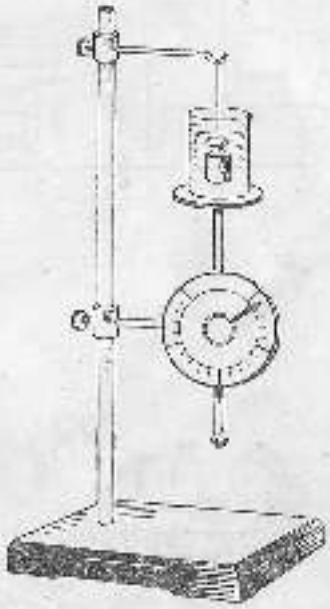


Рис. 86

Задание 7. Определите условия плавания тел в жидкости: а) тело тонет ($P > F$); б) тело плавает ($P = F$); в) тело всплывает ($P < F$).

Для этого нужно изготовить различные тела из парафина, изменяя их удельный вес добавлением дробинок.

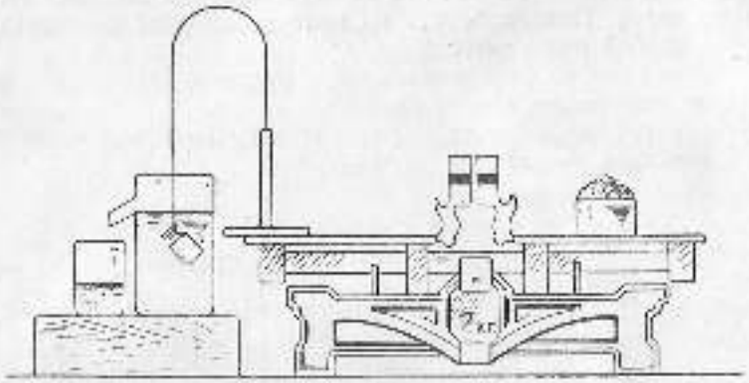
Определив поведение этих тел в воде, взвесьте их, а затем определите выталкивающую силу, действующую на эти тела в воде.

Сравнение P и F позволяет сделать вывод об условиях плавания тел.

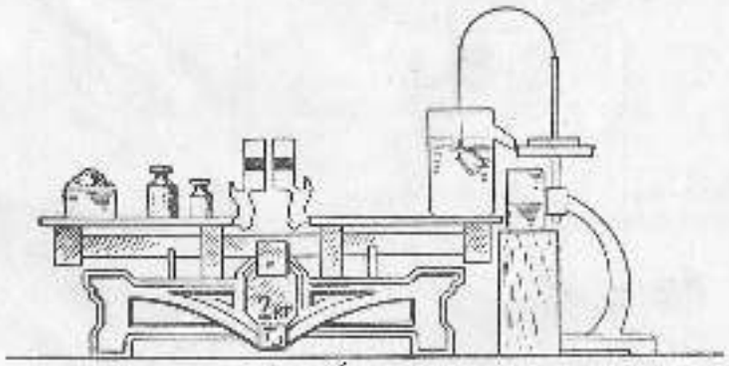
Задание 8. Проделайте опыт задания 7 с пробирками, наполненными различным количеством дроби.

Задание 9. Покажите всплывание тел в воздухе.

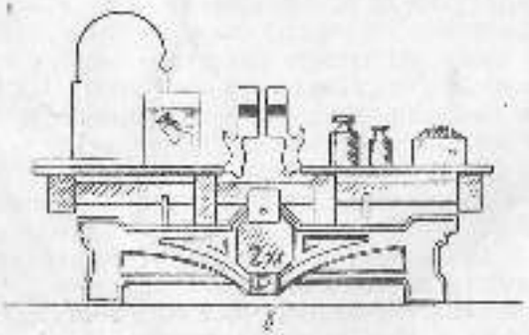
Ход работы. 1. Научитесь наполнять водородом мыльные пузыри.



а



б



в

Рис. 87

Мыльный раствор из мыльного порошка или стружек мыла готовят в небольшом цилиндрическом стеклянном сосуде; в раствор добавляют 2—3 капли глицерина.

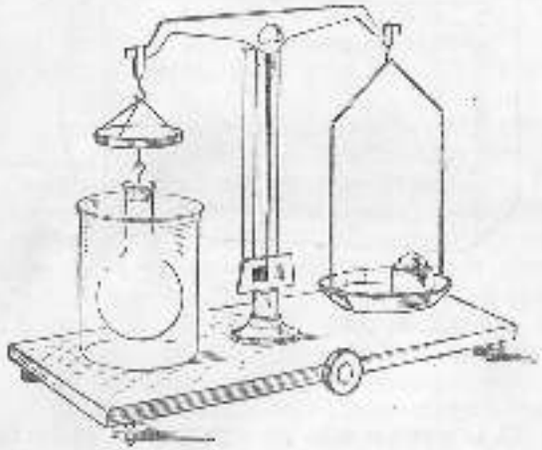


Рис. 88

2. Водород получают в склянке Вульфа при реакции цинка с серной кислотой (рис. 89). Водород будет проходить по резиновой трубке, конец которой надо предварительно опустить в мыльный

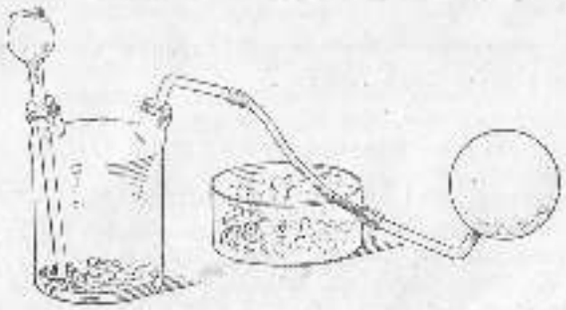


Рис. 89

раствор. На конце трубки образуется мыльный пузырь. Резким движением стряхните пузырь с трубки и покажите, что он поднимается в воздухе.

Повторите опыты с пузырями разных объемов.

3. Заполнив подобным же образом малый пузырь углекислым газом (полученным при помощи аппарата Киппа), покажите, что он падает.

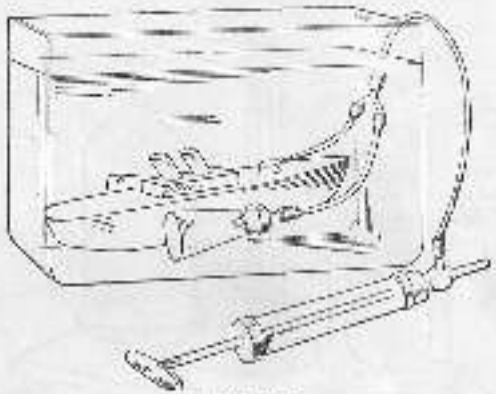


Рис. 91

Задание 10. Покажите одно из технических применений закона Архимеда — подъем затонувших судов (рис. 90).

Задание 11. Покажите измерение ареометром удельного веса различных жидкостей.

Вопросы

1. Почему для демонстрации закона Архимеда для газов рекомендуется брать тело несколько большего объема при незначительном весе?

2. Какие домашние лабораторные задания можно рекомендовать учащимся по данной теме?

Приборы и материалы

Весы Бераиже; весы технические; демонстрационный динамометр; ведерко Архимеда; аппарат Киппа; склянка Вульфа; ареометры; нагнетательный насос; двухлитровая колба; мензурка; пробирки с пробками; титатив; модель парохода; дробь; парафин, денатурат, поваренная соль; медный купорос, мыльная стружка.

10. ЗАКОНЫ ДИНАМИКИ

Для демонстрации законов Ньютона можно использовать ряд приборов. Во многих школах есть прибор для демонстрации опытов по кинематике и динамике и прибор, имеющий то же целевое назначение, разработанный А. Н. Казыриным.

Качество демонстраций опытов по этой теме во многом определяется точностью измерения малых отрезков времени при движении тележки.

В первом приборе время измеряется с помощью капельницы, снабженной краном, обеспечивающим различную частоту падения капель, во втором — с помощью хронографа.

Но ни тот, ни другой способ не обеспечивает точного измерения малых отрезков времени. В этом и состоит главный недостаток указанных приборов.

Поэтому в работе измерение времени производится с помощью электрического секундомера, как это предлагают Н. Т. Николаенко и А. М. Енкин (см. список литературы).

Большое число опытов по динамике не требует особого оборудования и могут быть поставлены с помощью простых приборов. Для демонстрации второго и третьего законов динамики можно использовать платформу с тележками. Платформа имеет два проволочных рельса, по которым перемещается тележка. Для того чтобы тележка двигалась с наименьшим трением, рельсы натягивают строго горизонтально. Для натяжения рельс имеется два натяжных винта, расположенных на стойке платформы. Эксцентрик, поворачиваемый винтом, расположенным в центре платформы, не дает рельсам прогибаться в средней их части.

С одной стороны платформы расположены блок и установочный винт. При демонстрации второго закона динамики с помощью установочного винта всей платформе придается небольшой уклон в сторону предполагаемого движения тележки (для компенсации влияния силы трения). Через блок перекидывается нить, привязанная одним концом к тележке, на другой конец которой привязывается площадка для грузов.

По обоим концам платформы расположены защелки, которые удерживают тележки в крайних положениях. Для освобождения тележки от защелки необходимо повернуть против часовой стрелки винт, расположенный у края платформы. Защелка при этом прижимается к основанию платформы, и тележка уже может двигаться.

Для изменения массы тележки предлагается установить на ней два добавочных груза по 0,5 кг каждый. Для более прочного их укрепления грузы имеют небольшие винты, а поверхность одной из тележек имеет отверстия с винтовой нарезкой.

Благодаря использованию электрического секундомера, обеспечивается синхронизация движения тележки и отсчета времени движения.

В момент освобождения тележки от защелки (рис. 91) одновременно замыкается цепь электрического секундомера. При ударе тележки о выключатель, находящийся вблизи блока, цепь секундомера размыкается. Измерение пройденного пути производится по масштабной линейке, установленной над платформой.

Первый закон динамики в чистом виде в природе не проявляется, поэтому демонстрация этого закона затруднительна. Ряд демонстра-

ций, которые в нашем и других руководствах предлагаются для подтверждения первого закона, в действительности в полной мере могут быть объяснены только в рамках второго закона.

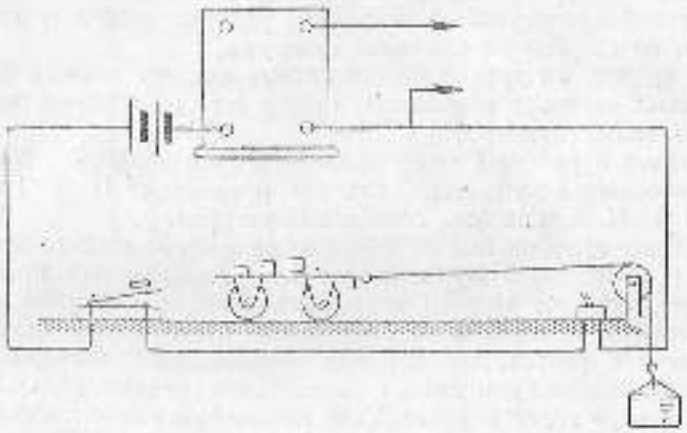


Рис. 91

При выполнении опытов на второй закон динамики необходимо знать, что они даны в расчете на определение массы как меры инерции.

Литература

А. В. Млодзеевский. Лекционные демонстрации по физике. Общая механика, вып. 8, ГИТТЛ, 1954.

А. З. Лобанов, Законы механического движения, Учпедгиз, 1955.

И. И. Соколов, Методика преподавания физики в средней школе, Учпедгиз, 1951, стр. 365—398.

И. Г. Николаенко и А. М. Ерпин, Прибор для демонстрации законов кинематики и динамики. «Физика в школе», 1959, № 5, стр. 75—77.

Первый закон динамики

Задание 1. Покажите, что изменение скорости движения тела по величине происходит при действии на него другого тела.

Для выполнения этого задания воспользуйтесь любым предметом: шариком, мячом, цилиндром.

Задание 2. Покажите, что изменение направления скорости движения тела происходит под действием другого тела.

Установите желоб под небольшим углом (10—15°) к плоскости стола, пустите по нему стальной шарик и поставьте на пути шарика на расстоянии 10—15 *см* от желоба брусок. Шарик должен изменить направление своего движения после взаимодействия с бруском.

Повторите опыт, поставив вплотную к желобу плоскутую железную пластинку, сильный магнит.

Как обеспечить наилучшую видимость этих опытов?

Какими примерами необходимо дополнить эти опыты, чтобы подвести учащихся к нужному выводу?

Задание 3. Покажите, что с уменьшением трения скорость движения тела сохраняется более продолжительное время.

Установите желоб под небольшим углом к плоскости стола и пустите по нему шарик, положив предварительно на столе кусок сукна или газету, посыпанную песком. Шарик пройдет небольшое расстояние.

Повторите опыт, предоставляя шарику возможность двигаться по свободной поверхности стола, по листу стекла.

Какой общий вывод можно сделать из всех вышеописанных опытов?

Задание 4. Покажите, что тело сохраняет свое состояние покоя или состояние движения, если на него не действуют силы, выводящие его из этого состояния.

Ход работы. 1. Установите вертикально на тележку деревянный цилиндр и резким толчком приведите тележку в движение. Цилиндр упадет в сторону, противоположную движению.

2. Пустите тележку с вертикально стоящим на ней цилиндром по наклонной плоскости, а затем мгновенно остановите ее. Цилиндр упадет по направлению движения.

3. Положите на полый цилиндр полоску картона и на нее, над отверстием в цилиндре, шарик. Резким ударом (с помощью упругой пластины) выбейте картон. Шарик должен упасть в цилиндр.

4. Поставьте стакан с водой на лист бумаги на расстоянии 20—30 *см* от края стола. Сначала медленно тяните за конец бумаги, и когда до края стола останется 1—0,5 *см*, резким движением руки выдерните бумагу из-под стакана. Стакан и вода в нем останутся в покое.

5. Составьте высокую стопу металлических дисков (можно пятикопеечных монет) или наполненных песком спичечных коробок и резким ударом выбейте нижний диск, затем следующий и т. д. Каждый раз вся стопа остается в покое.

Вопросы

1. Почему неосуществим непосредственный опыт, подтверждающий первый закон динамики?

2. Какое более глубокое толкование можно дать опытам задания 4?

3. Как после введения первого закона динамики можно дать понятие силы?

Второй закон динамики

Задание 5. Покажите, что ускорение, которое получает тело под действием силы, пропорционально действующей силе.

Ход работы. 1. Поставьте платформу на демонстрационный стол так, чтобы блок вышел за пределы стола. На противоположный конец платформы поставьте тележку, привяжите к ней нить, перекиньте ее через блок и привяжите к ней легкую коробку (можно из бумаги). Для компенсации силы трения придайте платформе нужный уклон в сторону предполагаемого движения тележки с помощью установочного винта. Предварительно на тележку поставьте набор гирь 5, 10, 20 *Г*.

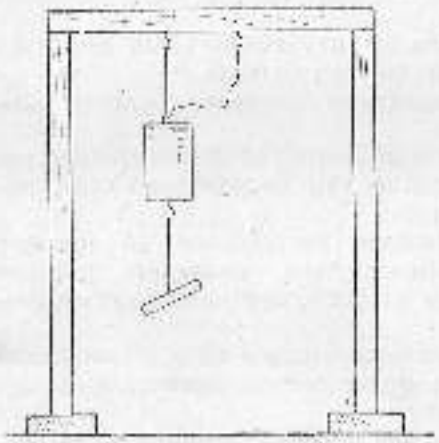


Рис. 92

2. Соберите цепь с электрическим секундомером (рис. 91).

3. Одну из гирь переложите с тележки в бумажную коробку и с помощью электрического секундомера определите время прохождения тележкой всей платформы. Путь отсчитайте по масштабной линейке, установленной над платформой.

Повторите измерение времени не менее трех раз и на основании этих измерений высчитайте $a_{ср}$.

Увеличьте вес перегрузка в две раза (или другое целое число раз) и, повторив опыт, высчитайте $a_{ср}$.

Продумайте и составьте таблицу для результатов измерений.

Какой вывод можно сделать на основании данного опыта?

Одинаковая ли сила, приводящая тележку в движение, от веса перегрузка?

С какой целью прибегаются при установке прибора поставить на тележку набор гирь?

Задание 6. Покажите, что для любого тела отношение действующей силы к сообщаемому ею ускорению есть величина постоянная.

Вычислите отношение $\frac{F}{a_1}$ для тележки по результатам предыдущего задания.

Увеличьте массу тележки, установив на ней все гири по 0,5 *кГ*, и, повторив с ней все опыты задания 5, найдите для нее отношение $\frac{F}{a_2}$.

К какому выводу вы приходите на основании данного опыта?

Укажите, какие качественные опыты можно поставить для обоснования понятия массы?

Задание 7. Покажите, что количество движения, приобретаемое телом под действием силы, зависит от времени взаимодействия (рис. 92).

Гирю значительной массы подвесьте на нити к раме и привяжите к нижнему крючку гири такую же нить, свободный конец которой намотайте на середину деревянного или металлического стержня. Взяв рукой стержень, резким движением потяните его вниз. Должна оборваться нижняя нить.

Привязав вновь такую же нить к нижнему крючку гири, медленно тяните ее вниз, постепенно увеличивая силу натяжения. Теперь должна оборваться верхняя нить.

Какое объяснение можно дать этим опытам?

Почему для этого опыта рекомендуется брать гири большей массы?

Третий закон динамики

Задание 8. Покажите зависимость между скоростями и массами взаимодействующих тел (рис. 93).

Ход работы. 1. На горизонтально расположенную платформу, используемую в задании 5, поставьте две равные по массе тележки, между которыми с помощью нитки закрепите сжатую пружину.

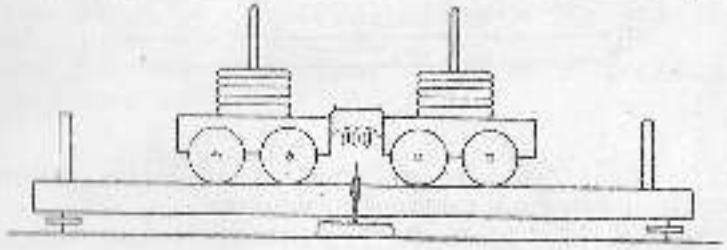


Рис. 93

Добейтесь такого положения установки, чтобы после пережигания нити обе отскакивающиеся тележки ударились о края платформы одновременно.

2. Увеличьте массу одной из тележек вдвое и установите тележки с закрепленной между ними пружиной так, чтобы после пережигания нити удары тележек о края платформы происходили опять одновременно.

3. Свяжите себе тележки небольшой по размеру резинкой, а затем разведите их на противоположные концы платформы. Отпустите одновременно тележки и измерьте пути, пройденные ими в случаях: а) когда массы тележек одинаковы и б) когда масса одной из тележек вдвое больше массы другой тележки.

4. Установите на одну из тележек небольшой электродвигатель и свяжите нитью ось двигателя и вторую тележку. Тележки с пи-

сле опыта поставьте по краям платформы. Включите двигатель и покажите, что пути, пройденные тележками, будут обратно пропорциональны их массам.

Вопросы

1. Как на основе этих опытов можно доказать соотношение между ускорениями и массами взаимодействующих тел? Как доказать, что силы, с которыми взаимодействуют тела, равны по величине и противоположно направлены?

2. Почему не рекомендуется ставить опыт, иллюстрирующий третий закон Ньютона, с использованием массивных тележек, на которые ставятся два ученика, держащие в руках динамометры, соединенные между собой веревкой?

3. Как показать равенство сил электростатического отталкивания с помощью двух наперстных гильз?

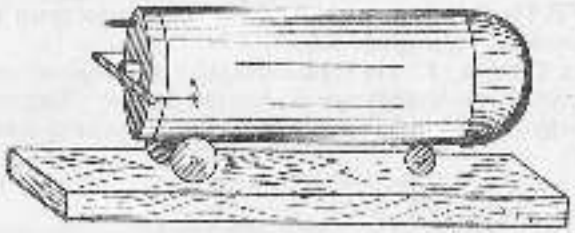


Рис. 33

Как показать равенство сил при взаимодействии магнитных полюсов (или магнита и стальной пластинки)?

Задание 9. Подтвердите опытом закон сохранения количества движения.

На легкую тележку укрепите «пушку», представляющую собой наклонно расположенную пробирку. В пробирку налейте немного воды или эфира и закупорьте хорошо пригнанной утяжеленной пробкой. Под нижний конец пробирки подставьте баночку с ватой, смоченной спиртом, и зажгите спирт. Обратите внимание учащихся на результат действия и противодействия.

Для доказательства закона сохранения количества движения укрепите на тележку сачок для улавливания пробки и произведите выстрел из «пушки».

Какое объяснение можно дать этому опыту?

Как подтвердить закон сохранения количества движения с помощью упругих шаров?

Задание 10. Покажите принцип реактивного движения.

Наполните реактивную тележку, выпускаемую Главучехпромом (рис. 34), на $^3/_4$ ее объема водой. После этого выходное отверстие тележки закройте тонкой пробкой и для удержания ее свяжите ниткой рычажок, удерживающий пробку, с крючком. Тонкую нить можно сложить вдвое или связать по рычажком с крючком дважды (много ниток наматывать не нужно, так как они будут плохо перегораться).

Затем соедините резиновым шлангом ниппель реактивной тележки с нагнетающим ниппелем насоса Комовского и, вращая маховик насоса, наполните баллон тележки воздухом до возможно большего давления. После чего отделите тележку от плинта, поставьте ее на стол и перережьте нить.

Повторите опыт, не наливая в баллон тележки предварительно воду. В каком случае опыт получается лучше? Почему?

Задание 11. Покажите, что внутренние силы не могут сообщить телу поступательное движение.

Подвесьте большую упругую пружину, стянутую ниткой, в горизонтальном положении на двух шнурах и перережьте нить. Пружина в целом должна остаться на месте.

Подвесьте пружину так, чтобы одним концом она упиралась в раму, и перережьте нить.

Заводную детскую игрушку подвесьте на нитях и предоставьте возможность пружине раскручиваться. Наблюдается ли движение игрушки в целом?

К какому выводу вы приходите на основании этих опытов?

Какие жизненные явления объясняются на основании данных опытов?

Какие домашние лабораторные задания можно рекомендовать по данной теме?

Приборы и материалы

Прибор для демонстрации опытов по кинематике и динамике; реактивная тележка; динамометры; разновесы; гиря с двумя крючками; тележка с «пушкой»; магнит; деревянный молоток; желоб; шар деревянный; шар стальной; деревянный цилиндр; брусок; линейка; медные диски; стальная пружина.

11. ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ

Среди разнообразных видов движения широко распространено вращательное движение тел.

При изучении методики и техники эксперимента по этой теме надо обратить особое внимание на следующие важные положения данной темы:

1) Скорость в каждой точке пути направлена по касательной к траектории.

2) В качестве центростремительной силы могут быть:

а) сила упругости удерживающего тела, возникающая вследствие его деформации под действием инерции движущегося по окружности тела;

б) сила тяготения (в частности, проявляющаяся при движении планет вокруг Солнца и спутников вокруг Земли);

в) равнодействующая сил, действующих на вращающееся тело.

Литература

Г. С. Ландсберг. Элементарный учебник физики, т. 1, Гостехиздат, 1956.

А. И. Чернобыльов. Криволинейное и вращательное движения в курсе физики средней школы, Учпедгиз, 1957.

Рудольф Гирке и Георг Шрохкоф. Эксперимент по курсу элементарной физики, т. 1, Учпедгиз, 1959, стр. 198—230.

Л. Л. Пиковский. Об изложении темы «Вращательное движение», «Физика в школе», 1956, № 1, стр. 44—49.

Задание 1. Покажите, что скорость материальной точки, равномерно движущейся по окружности, направлена в каждой точке пути по касательной:

а) искры от точильного камня на станке;

б) следы на бумаге от капель краски, пущенных на диск, вращающийся на центробежной машине;

в) получение следов на бумаге от капель краски, пущенных на тяжелый диск, низко насаженный на вертикальную ось (волчок).

Задание 2. Покажите, что для характеристики вращательного движения тела недостаточно понятия линейной скорости, необходимо ввести понятие об угловой скорости.

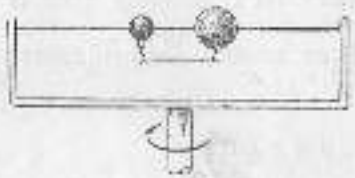


Рис. 96

Возьмите круг и отметьте мелом на одном и том же радиусе 2—3 точки; поверните круг на некоторый угол, отмечая мелом угол поворота и дуги, описанные отмеченными точками. Покажите, что, в то время как пути, описанные разными точками тела, различны, угол поворота для всех радиусов круга один и тот же. При этой демонстрации надо ввести понятие о радиане и показать модель радиана.

Задание 3. Покажите, что центростремительная сила может быть обусловлена деформацией удерживающего тела.

Привяжите шарик к резиновому шнуру и приведите его во вращательное движение в вертикальной плоскости. Растяжение резинового шнура может быть видимо всему классу.

Вращайте шнур, привязанный к динамометру. В прорез пружины динамометра вставьте кусочек пробки. Смещение пробки покажет деформацию пружины динамометра при вращении.

Задание 4. Покажите, что вращающееся тело деформируется при взаимодействии с удерживающим телом.

Привяжите к динамометру вместо шара второй динамометр со вставленной в прорез пробкой и вращайте их.

Вставленные в прорез динамометров пробки отметят деформации их обоих.

Задание 5. Покажите на приборе рисунка 95, что действующая на нить сила при одном и том же периоде вращения и радиусе окружности увеличивается с увеличением массы вращающегося тела.

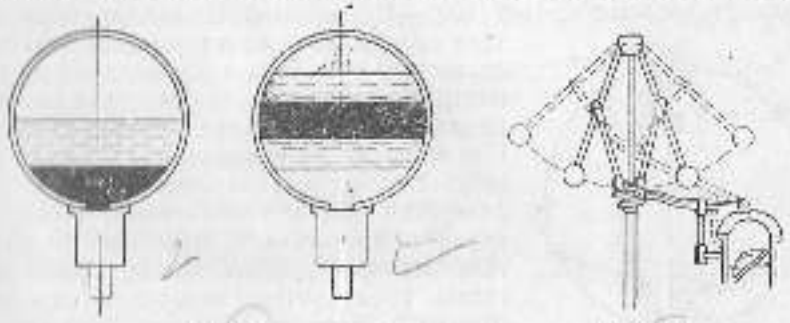


Рис. 96 Рис. 97

Покажите на том же приборе, что при одном и том же периоде вращения равенство сил наступает в том случае, если массы вращающихся тел обратно пропорциональны радиусам окружностей.

Задание 6. Покажите, что при вращении:

а) поверхность жидкости в сосуде изменяет плоскогоризонтальную форму на вогнутую;

б) отвес отклонится от вертикального направления, устанавливаясь нормально к вогнутой поверхности жидкости;

в) слои разнородных несмешивающихся жидкостей (например, ртуть, вода, масло) (рис. 98) располагаются кольцами, радиусы которых увеличиваются с увеличением плотности жидкости. Дать объяснение этого расположения.

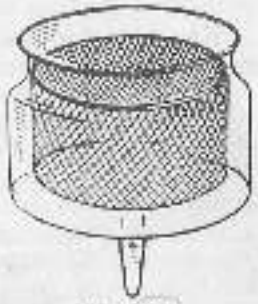


Рис. 98

Рис. 99

Задание 7. Покажите использование инерции вращающегося тела на так называемых «центробежных» механизмах:

а) Центробежного регулятора (рис. 97).

б) Центробежной сушилки (рис. 98).

в) Центрифуги (рис. 99).

г) Растяжение гибких прутьев по экватору (рис. 100).

д) Покажите инерцию вращающейся цепочки (рис. 101).

Для этой демонстрации воспользуйтесь электродвигателем с больших чисел оборотов (1200—1500 об/мин). На вал электродвигателя насаживается деревянный маховик диаметром 15—20 см и укрепляется на нем контргайкой. На обод маховика плотно надевается гибкая металлическая цепочка. Под маховик на расстоянии 1—2 см от его нижней точки устанавливают край узкого фанерного листа, второй конец которого укреплен в штативе. В цепь электродвигателя включают реостат. Когда электродвигатель раскрутится, необходимо плоской палочкой, касаясь маховика, постепенно сменять цепочку к краю маховика и затем снять ее. Цепочка должна покатиться вверх по наклонной плоскости как твердое колесо.

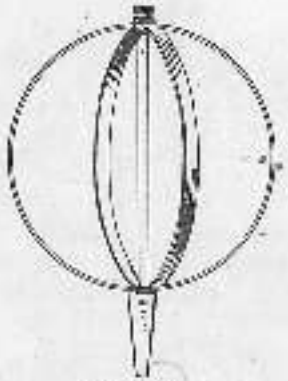


Рис. 100

От чего зависит эффективность этого эксперимента?

Какие необходимо принять меры предосторожности при проведении этой демонстрации в школе?

е) Режущее свойство вращающегося картонного диска.

Для проведения эксперимента воспользуйтесь этим же электродвигателем, с вала которого снимите деревянный маховик. Возьмите

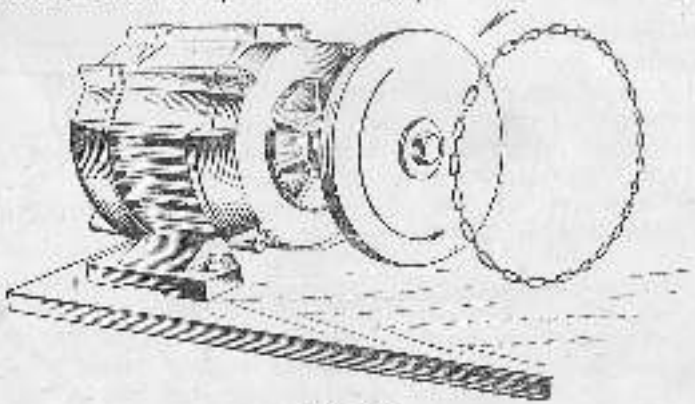


Рис. 101

картонный круг (диаметром 12—15 см) с отверстием посередине, расположите его между двумя стальными шайбами (диаметр которых меньше диаметра картонного круга) и укрепите эту систему на валу электродвигателя с помощью контргайки.

Включите электродвигатель и покажите, что при большой скорости вращения картонный круг благодаря большой твердости, приобретаемой при вращении, может перепилить деревянную дощечку.

Задание 8. Покажите действие силы Кориолиса.

Примечание. Вопрос о силе Кориолиса выходит за пределы программы. Но так как сила Кориолиса должна учитываться в технике (полет пуль и снарядов, износ железнодорожных рельсов и др.), то желательно познакомить учащихся с ее проявлениями (на внеклассных занятиях).

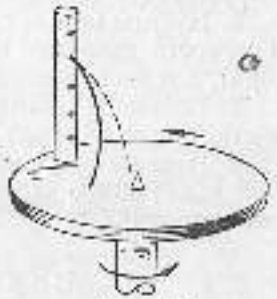
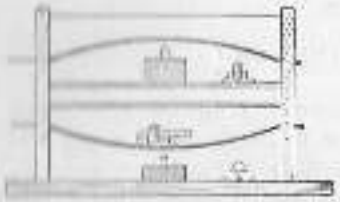


Рис. 102

Сила Кориолиса проявляется в искривлении траектории тела, движущегося поступательно по другому вращающемуся телу.

Для демонстрации ось деревянного диска или доски укрепите в гнезде центробежной машины (рис. 102). На диск установите цилиндрический сосуд с отверстиями. (Для устойчивости сосуда на дно его положите гирю.) Из отверстия сосуда будет вытекать вода, для сбора которой поставьте поднос.

Сначала помещают сосуд близко к оси вращения и пускают струю при неподвижном круге в сторону от наблюдателей — от оси (полюса) к окружности (экватору) так, чтобы наблюдатели смотрели вдоль вытекающей струи.



При вращении круга против часовой стрелки (как вращается Земля) струя отклоняется вправо.

Затем переставляют сосуд на край круга со стороны наблюдателей так, чтобы они опять смотрели вдоль вытекающей струи (теперь от экватора к полюсу). При приведении круга во вращение против часовой стрелки струя опять отклоняется вправо.

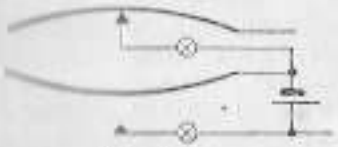


Рис. 103

Задание 9. Покажите, что при движении тела его давление на верхнюю часть выпуклого моста будет меньше, а на нижнюю часть вогнутого моста больше, чем при состоянии покоя тела в этих точках.

Для демонстрации следует воспользоваться прибором, предложенным Д. М. Муром[1]. Устройство прибора легко понять из рисунка 104, на котором показан общий вид и электрическая схема.

[1] Д. М. Мур. Прибор для вращательного движения, «Физика в школе» 1967, № 3.

ливать до наружному цилиндру, пока установится показание динамометра.

Динамометр весьма прост и может быть изготовлен учителем физики, лаборантом или под их руководством учащимися.

Литература

Д. Д. Галанин и др., Физический эксперимент в школе, ч. II, в. 2, § 8, Учпедгиз, М., 1956.

И. И. Соколов, Методика преподавания физики в средней школе. Учпедгиз, М., 1951, стр. 411—413.

А. А. Косодекьянский, Курс теоретической механики для педагогических институтов, ГИТТЛ, 1955, стр. 142—144, 230—232.

П. А. Знаменский, Методика преподавания физики в средней школе, Учпедгиз, Л., 1955, стр. 293—296.

«Элементарный учебник физики» под ред. акад. Г. С. Ландсберга, т. I, ГИФМЛ, М., 1958, стр. 11—13.

Г. С. Гусак, Прибор для разложения силы на плоскости, «Физика в школе», 1958, № 4.

А. И. Глазырин, Самодельные приборы по физике, изд. АПН РСФСР, М., 1953, стр. 23—24.

Сложение сил, действующих на тело по прямой линии

Задание 1. Ознакомьтесь на приборе с устройством демонстрационного динамометра. Разберите его на отдельные части. Выясните, как производится регулировка механизма. Произведите сборку динамометра и приготовьте его к работе. Выясните назначение призм, столиков, корректора.

Рис. 106

Примечание. Освобождение и удаление пружины, крепящей стеклянный диск, требует значительного усилия. Во избежание порчи циферблата, стрелки и стекла равномерно отжимайте пружину гладким деревянным бруском, имеющим заострение.

Задание 2. Покажите, что результат действия силы на твердое тело не изменяется, если ее точку приложения перенести вдоль линии действия силы.

Соберите установку по рисунку 106. Отметьте показание динамометра. Проделайте аналогичные опыты, закрепляя стержень в местах, расположенных выше или ниже первоначально выбранных. Сравните показания динамометра.

Задание 3. Продумайте и осуществите демонстрацию, доказывающую, что вывод предыдущей демонстрации справедлив и для равномерно движущегося твердого тела (динамометр в этом случае отметит величину силы тяги, уравновешенной силой трения скольжения).

Задание 4. Продемонстрируйте сложение двух сил, действующих на тело по одной прямой (два случая). Используйте для этого демонстрационные динамометры с насадками.

Как на основе этих опытов дать учащимся понятие о равнодействующей и уравновешивающей силах?

Вопросы

1. Как осуществить опыты в задании 4, если силы действуют не в вертикальном направлении?

2. Почему в демонстрациях по сложению сил необходимо пользоваться блоками с малым трением?

3. Как можно осуществить опыты по определению равнодействующих сил, действующих вдоль одной прямой, используя весы Беранже?

4. Нуждаются ли опыты заданий 2—4 в дополнительных приемах улучшения видимости?

5. Объясните, почему в опытах с использованием блоков момент инерции блока незначительно влияет на точность показания динамометра.

6. Как ввести понятие об установившемся движении тел, перемещающихся в однородной среде?

Сложение сил, действующих на тело под углом друг к другу

Задание 5. Покажите на опыте сложение двух сил, направленных под углом друг к другу.

В качестве тела возьмите шарик, к которому привязаны три нити. Соберите установку по рисунку 107 (гвозди для крепления динамометров вбиты в произвольных местах рамы). Натяните на раму картон или бумагу.

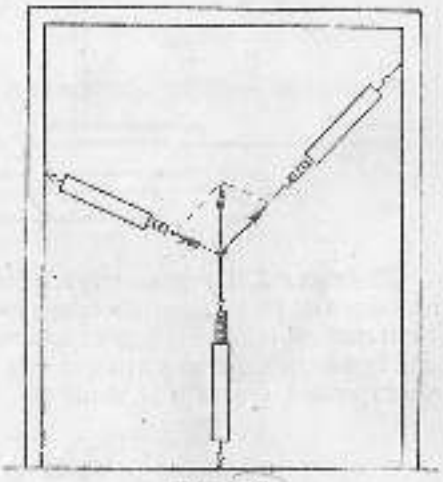


Рис. 107

Отметьте на бумаге положение шарика, направления нитей и величины сил по показаниям динамометров.

Отцепите два каких-либо динамометра и натяните пружину третьего до восстановления отмеченного положения тела. Покажите, что динамометр измеряет равнодействующую натяжений двух других динамометров.

Постройте параллелограмм сил.

правлению осей балки и подкоса и покажите совпадение опытных данных с графическими.

Задание 11. Продемонстрируйте разложение силы тяжести на наклонной плоскости.

Установите тело в равновесии с помощью двух динамометров, как указано на рисунке 112.

Отметьте показания динамометров и сравните их с результатами, полученными графически.

Задание 12. Продемонстрируйте разложение силы тяги на коленчатом прессе.

Закрепите на раме динамометр. Один крючок динамометра с помощью столика (насадки) соедините с коленчатым рычагом *ABC* в точке *A* (рис. 113). Второе колено рычага жестко закрепите на нижней части рамы. Место шарнирного соединения *B* соедините с вторым демонстрационным динамометром, укрепленным на штативе. Перемещая вправо укрепленный на штативе динамометр, осуществите натяжение нити.

Отметьте показания обоих динамометров.

Измерьте величину угла между вертикалью и рычагами *AB* и *BC*. Уменьшайте этот угол путем натяжения нити. Отметьте новые показания динамометров. Сделайте вывод о зависимости сил от угла, образованного коленами рычага и вертикалью.

Как на основании выполненного опыта объяснить устройство и работу коленчатого пресса (рис. 114)?

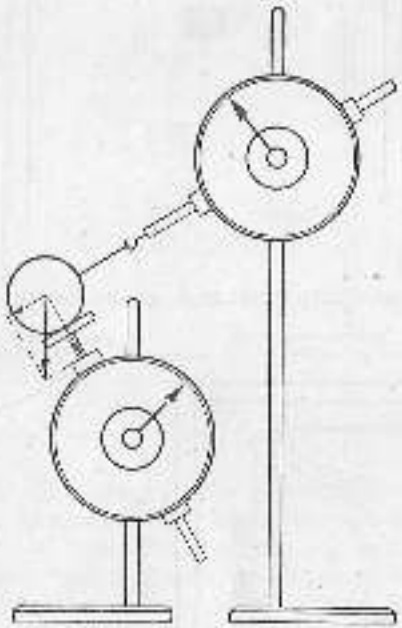


Рис. 112

Задание 13. Продемонстрируйте разложение силы на клине.

Для демонстрации воспользуйтесь прибором, изображенным на рисунке 115.

Прибор состоит из массивной опоры с нарезным отверстием, пластинчатой изогнутой пружины, винта, крепящего пружину к стойке. Пластинчатая пружина имеет на концах вырезы и петли для крепления роликовых шарниров.

К пружине с помощью растяжек прикреплена стрелка, перемещающаяся по градуированной дуге.

Градуировка прибора производится с помощью динамометров, присоединенных к осям роликов. Против указателя стрелки отме-

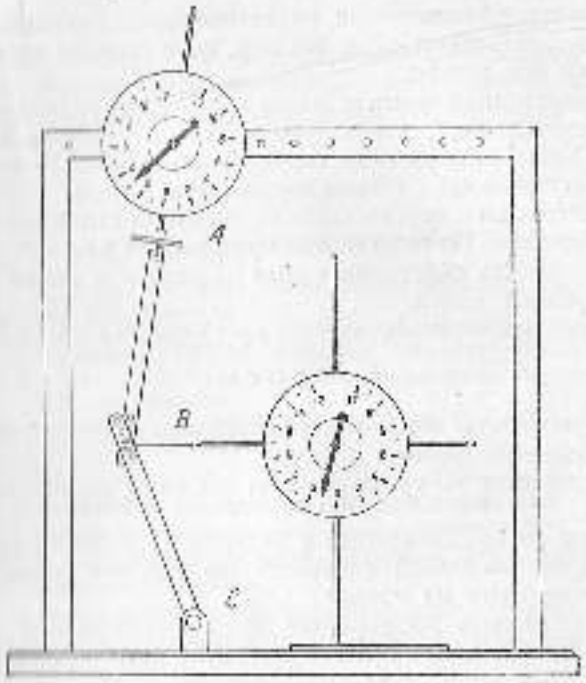


Рис. 113

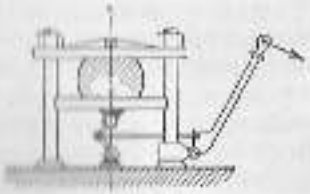


Рис. 114

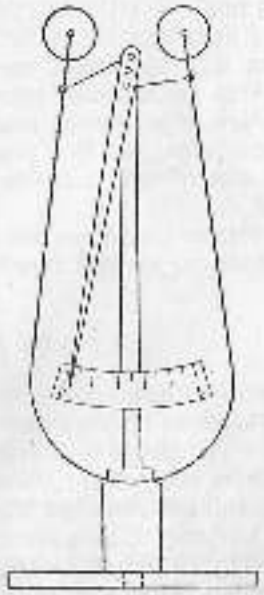


Рис. 115

чается показание динамометра, растягивающего пружину. Растяжение пружины производится до тех пор, пока стрелка прибора не отклонится на всю шкалу.

Для демонстрации опыта вставьте клин между роликами прибора. Стрелка отметит силу, характеризующую действие веса клина на пружину. Установите на клин гирю, отметьте новое показание прибора и сопоставьте его с общим весом клина и гири.

Повторите опыт с других клиньев, имеющих отличный от первого угол при вершине. По показаниям прибора для каждого клина проверьте зависимость выигрыша в силе от размеров клина и сделайте соответствующий вывод.

Вопросы

1. Как показать зависимость деформации частей кронштейна от угла крепления подкоса к балке?
2. Как проверить, уравновешены ли силы на наклонной плоскости?
3. Какую из предложенных в задании 11 демонстраций разложения сил на наклонной плоскости вы считаете более целесообразным осуществить на уроке?
4. Как объяснить расхождение между вычисленной величиной силы и опытными данными, полученными при выполнении задания 11?
5. Как в опыте по разложению веса тела на наклонной плоскости ввести понятие об угле трения и угле естественного откоса?
6. Какие можно привести примеры использования в технике шпоночных или клиновых соединений?
7. Что показывают динамометры в опыте по заданию 12?
8. Чем объясняется некоторое расхождение между показаниями прибора (задание 13) и расчетами, имеющее место даже при незначительном трении роликов в обойме и при качении их по щекам клина?
9. Какие домашние лабораторные задания можно рекомендовать учащимся по данной теме?

Приборы и материалы

Рама по механике; штативы с муфтами — 3 шт.; набор грузов, гири; блоки со струбцинками — 3 шт.; динамометры демонстрационные с насадками — 2 шт.; динамометры пружинные — 3 шт.; наклонная плоскость; динамометр цилиндрический А. И. Гальперина; деревянная линейка с делениями; деревянный брусок; лист картона или фанеры; ножницы; бечева; линейка; транспортир; бумага; модель кронштейна; модель колончатого пресса; металлический стержень с кронштейнами; проволочный коленчатый рычаг с шарнером; прибор для демонстрации разложения силы на клине.

13. ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ СИЛЫ. ЦЕНТР ТЯЖЕСТИ

В этой теме должны быть рассмотрены такие технические приложения, как статическая балансировка и центровка валов и колес, понятие о фермах (статически определимых), основные типы связей и многие другие.

Литература

Д. Д. Гальперин и др., Физический эксперимент в школе, т. II, ч. 2, гл. 6, Учпедгиз, М., 1936.

И. И. Соколов, Методика преподавания физики в средней школе, Учпедгиз, М., 1951, стр. 412—418.

А. А. Космодемьянский, Курс теоретической механики для педагогических институтов, ГИТТЛ, 1955, стр. 260—271, 287—306.

А. П. Знаменский, Методика преподавания физики в средней школе, Учпедгиз, Л., 1955, стр. 295—296.

«Элементарный учебник физики», под ред. акад. Г. С. Ландсберга, ч. 1, ГИФМЛ, М., 1958, стр. 131—152.

Сложение и разложение параллельных сил

Задание 1. Продемонстрируйте сложение двух параллельных и одинаково направленных сил.

Положите металлическую двутавровую балку с делениями на два закрепленных в штативах демонстрационных динамометра (рис. 116).

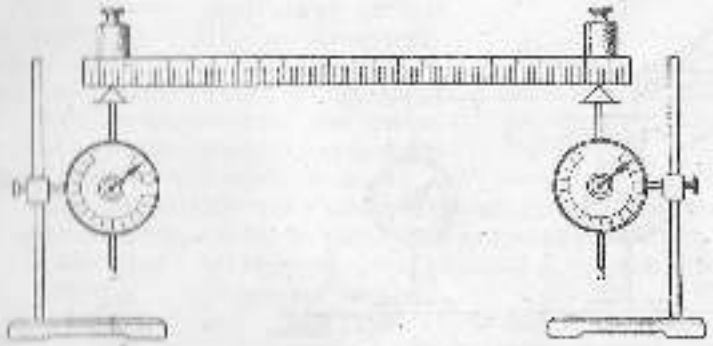


Рис. 116

Установите показания динамометров на нуль. Поставьте на балку две гири различного веса в местах со опоры на динамометры. Измерьте расстояния между ними и отметьте показания динамометров. Снимите обе гири и установите на балку одну гирю, равную по весу сумме весов обеих гирь, в таком месте, чтобы сохранились показания динамометров.

Измерьте расстояния от места установки гири до динамометров, и, пользуясь данными опыта, подтвердите основной вывод о величине, направлении и точке приложения равнодействующей.

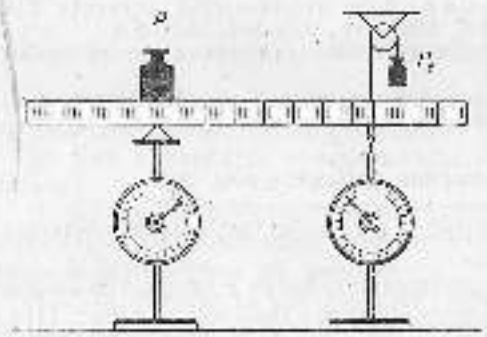
Задание 2. Продемонстрируйте разложение силы на два заданных параллельных направления.

Ход работы обратный изложенному в задании 1. Введите понятия реакций опор балки.

Задание 3. Определите равнодействующую двух антипараллельных сил.

Соберите установку, как указано на рисунке 117. Груз P_2 возьмите меньше груза P_1.

Отметьте показания динамометров. Снимите грузы и подбором места установки новой гири, вес которой равен $P_1 - P_2$, добейтесь получения тех же показаний динамометров. Измерьте расстояния между точками приложения сил, сделайте вывод.



Примечание. Проследите, чтобы балка была достаточной длины, иначе точка приложения равнодействующей выйдет за пределы балки.

Задание 4. Покажите, что пара сил не может быть уравновешена силой.

На установке, описанной в задании 3, изменяйте грузы так, чтобы уменьшалась их разность. Отмечайте новые положения точки приложения равнодействующей силы. Сделайте вывод. Введите понятие о паре сил.

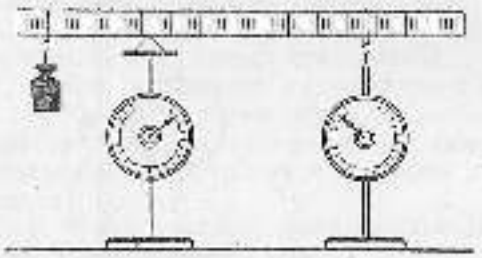


Рис. 117

Вопросы

1. Как поставить опыт по сложению параллельных сил, действующих на тело не в вертикальном направлении?

2. Как можно продемонстрировать неизменяемость положения центра параллельных сил при их повороте на один и тот же угол?

3. Для чего показания динамометров приводятся к нулевому отсчету после установления на них балки?

4. Почему в опытах с параллельными силами удобнее использовать насадки к динамометрам в виде призм, а не стержней?

Центр тяжести. Виды равновесия

Задание 5. Покажите на опыте, как определяется центр тяжести плоской фигуры произвольной формы.

Вырежьте из картона или фанеры фигуру произвольной формы. Подвесьте ее на штативе за одно из отверстий, сделанных в ней.

С помощью отвеса проведите на фигуре вертикальную линию. Измените положение фигуры, для чего подвесьте ее на штативе за какое-либо другое отверстие и отметьте новое положение вертикали (рис. 118).

Подвесьте фигуру на штативе за отверстие, сделанное в точке пересечения вертикальных линий, и покажите, что при поворачивании фигуры на любой угол ее равновесие сохранится.

Примечание. Для лучшей видимости демонстрации угол между двумя положениями фигуры должен быть значительным (45—90°).

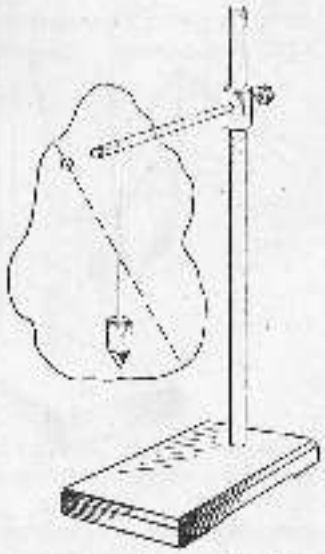


Рис. 118

Задание 6. Покажите, что центр тяжести однородных тел, имеющих точку, ось или плоскость симметрии, совпадает с точкой симметрии, лежит на оси симметрии или в плоскости симметрии.

Продемонстрируйте последовательно нахождение центра тяжести однородного металлического диска, фигурного листа картона (или фанеры), имеющего ось симметрии, и двутавровой балки.

Покажите, что найденный в каждом случае центр тяжести совпадает с геометрическим центром диска, лежит на оси симметрии листа картона (или фанеры) и в плоскости симметрии балки.

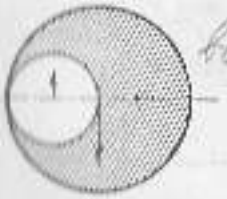


Рис. 119

Задание 7. Покажите, что центр тяжести тела не всегда лежит на теле. Используйте для этого металлическое или деревянное кольцо.

Задание 8. Покажите, как определяется центр тяжести тела, имеющего вырез.

Взвесьте фанерный диск. Определите и отметьте положение его центра тяжести. Сделайте в диске круглый вырез так, чтобы сохранилась отметка положения его центра тяжести (рис. 119).

Измерьте расстояние между положениями центра тяжести диска и вырезанного круга. Взвесьте удаленную часть.

Найдите новое положение центра тяжести оставшейся части диска и обратите внимание на характер смещения его.

Определите расчетом центр тяжести оставшейся части диска как центр двух антипараллельных сил, из которых одна — вес всего

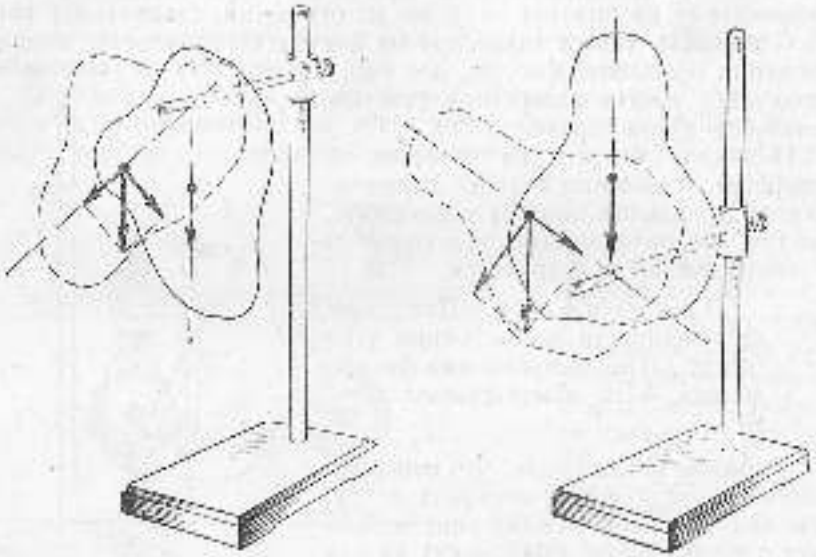


Рис. 120

диска, направленный вертикально вниз, а другая — вес вырезанной части, направленный вертикально вверх, и покажите его совпадение с найденным опытным путем центром тяжести.

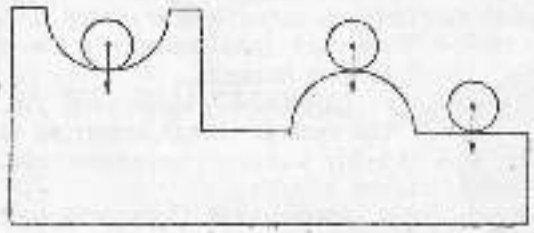


Рис. 121

Задание 9. Покажите различные виды равновесия однородного тела, имеющего точку опоры.

Подвесьте на штативе плоскую фанерную или металлическую фигуру, на которой отмечен найденный заранее центр тяжести.

Подвешивание проведите тремя способами (рис. 120):

1) чтобы центр тяжести находился на одной вертикали с точкой подвеса и был расположен ниже ее;

2) чтобы центр тяжести находился на одной вертикали, но был расположен выше ее;

3) чтобы точка подвеса совпадала с центром тяжести фигуры. Покажите поведение фигуры во всех трех случаях при выводе ее из положения равновесия.

Сделайте вывод из опыта.

Осуществите демонстрацию различных равновесий шара на установке, изображенной на рисунке 121. Сделайте сравнение двух поставленных демонстраций.

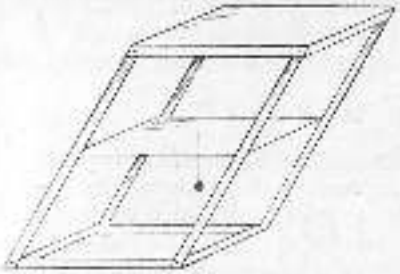


Рис. 122

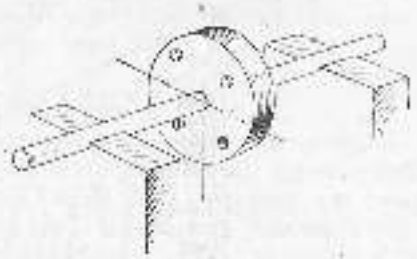


Рис. 123

Задание 10. Продемонстрируйте устойчивость тела, имеющего площадь опоры. Используйте для этого наклонную призму с отвесом (рис. 122).

Задание 11. Продемонстрируйте статическую балансировку вала.

Установите на два одинаковых по высоте бруска длинный стержень круглой формы, на котором жестко посажен деревянный диск (рис. 123). Поворачивая стержень, покажите, сохраняется ли равновесие диска.

При положениях диска, не сохраняющих безразличное равновесие, закрепите на нем или снимите с него отъемные части, посаженные на шипы.

Дайте наиболее простое объяснение сущности статической балансировки вала.

Вопросы

1. Почему вызывает затруднения подвешивание плоской фигуры, если ее центр тяжести расположен выше точки подвеса?
2. Считаете ли вы целесообразным проведение лабораторной работы с учащимися по определению центра тяжести?
3. Как показать на опыте нахождение центра тяжести объемной фигуры? (Используйте для этой цели пластилин.)
4. Какие домашние лабораторные задания можно рекомендовать учащимся по данной теме?

Момент силы, условие равновесия сил на теле, имеющем ось вращения

Задание 12. Продемонстрируйте зависимость момента силы от величины плеча и силы.

Закрепите струбцинками металлический или деревянный диск так, чтобы он мог вращаться в вертикальной плоскости вокруг неподвижной оси (рис. 124). Закрепите деревянные пробки в отверстиях на диске так, чтобы на них можно было с помощью веревочных петель подвешивать гири различного веса.

Покажите, что при подвешивании гири на вертикали, проходящей через ось вращения диска, его вращение не наблюдается. Проде-

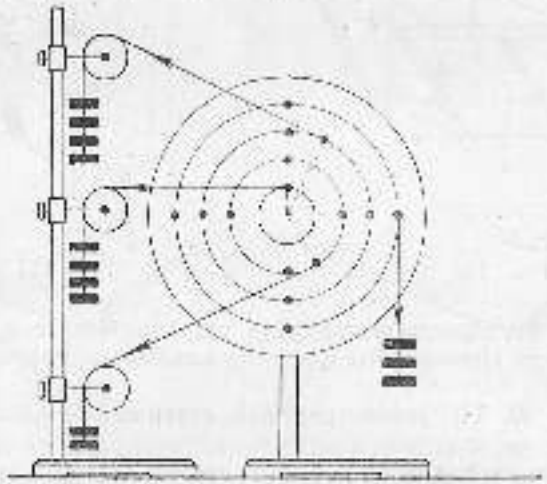


Рис. 124

монстрируйте затем вращение диска, когда грузы подвешены на различных расстояниях от оси вращения. Изменяйте веса этих грузов. Введите понятия плеча и момента силы, знака момента.

Задание 13. Выполните опытную проверку условия равновесия сил на теле, имеющем ось вращения.

Подбором грузов, подвешенных на диске на различных расстояниях, покажите, что при равновесии диска алгебраическая сумма моментов сил относительно оси вращения равняется нулю, т. е.

$$\Sigma M = 0$$

Задание 14. Используйте для введения понятия плеча, момента силы и правила условия равновесия сил на теле, имеющем ось вращения, проградуированный рычаг. Подвесьте рычаг на штативе. Для устойчивости прижмите штатив к столу струбциной. Подействуйте на рычаг несколькими силами. Покажите величину плеча каждой

силы. Проверьте условие $\Sigma M = 0$ при сохранении горизонтального положения рычага. Сравните эту демонстрацию с выполненной в заданиях 12 и 13.

Вопросы

1. Как обеспечить видимость демонстрации равновесия сил на диске?

2. Какая из демонстраций равновесия сил на теле, имеющем ось вращения, более целесообразна в методическом отношении и проще — выполненная с помощью вращающегося диска или рычага? (См. задания 13 и 14.)

3. Как можно иначе, чем указано в задании 12, выполнить демонстрацию равенства нулю момента силы (сила $F = 0$)?

4. Какие кратковременные (10—15-минутные) лабораторные работы можно предложить учащимся по этой теме?

Приборы и материалы

Демонстрационная рама; демонстрационные динамометры — 2 шт., двутавровая балка металлическая с делениями; деревянный (или металлический) диск с отверстиями и делениями на нем, струбцинки — 2 шт.; штативы — 2 шт.; деревянное или металлическое кольцо; фанерный или картонный круг; металлический или фанерный лист произвольной формы с отверстиями; ножницы; нитки; блоки — 2 шт.; линейка измерительная; набор гирь; отвес; прибор для демонстрации видов равновесия шара; наклонная призма с отвесом.

14. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Изучение колебательного движения расширяет знания учащихся о механическом движении.

Кроме того, наиболее общие закономерности, установленные для механических колебаний, являются справедливыми и для электрических колебаний. Поэтому усвоение учащимися темы «Механические колебания» — условие успешного изучения темы «Электромагнитные колебания и волны».

Литература

«Элементарный учебник физики», под ред. акад. Г. С. Ландсберга, т. 3, Физматгиз, М., 1958, стр. 18—40.

Рудольф Гарпе и Георг Шпрокхоф. Эксперимент по курсу элементарной физики, ч. 1, кн. VIII, Учпедгиз, М., 1960.

Д. К. Шевчук. Механические колебания и волны в школьном курсе физики, Учпедгиз, М., 1955.

Свободные колебания

Задание 1. Покажите свободные колебания следующих колебательных систем:

а) Груза, подвешенный на нити.

б) Груз, подвешенный бифилярно.
в) Металлическая пластина, зажатая с одного конца.
г) Пружинный маятник на вертикальном подвесе.
д) Маятник на стержне.
е) Горизонтальный пружинный маятник.

Вопросы

1. Что общего во всех этих примерах?

2. На каком из приведенных примеров легче ввести основные понятия колебательного движения (период, частота, амплитуда, действующая сила)?

3. Какова природа сил, поддерживающих свободные колебания в приведенных примерах?

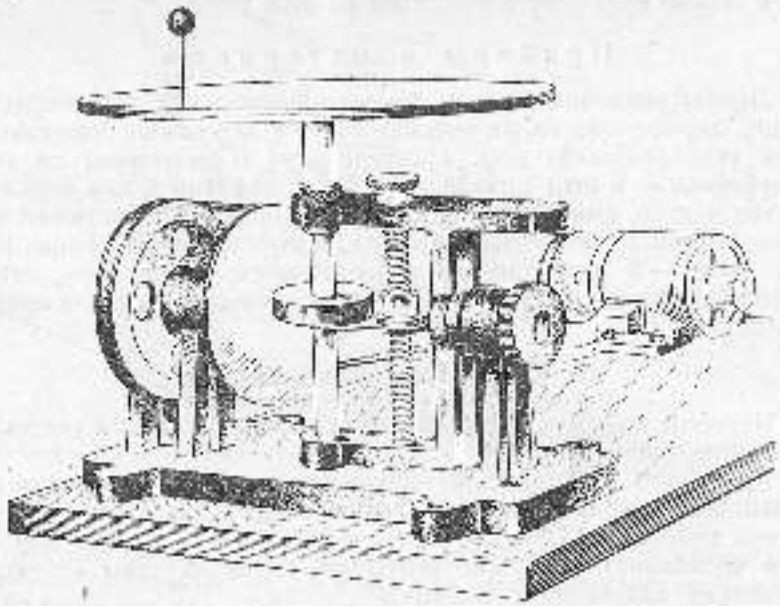


Рис. 125

Задание 2. Покажите теневую проекцию равномерно движущегося по окружности шарика как пример гармонического колебания.

Для этой демонстрации и ряда других можно использовать непробежную машину. Однако удобней проводить опыты с помощью стробоскопической машины (рис. 125).

В этой машине вращение от электродвигателя передается с помощью ременной передачи на диск, с которым фрикционно связан ролик, передающий движение кругу. Благодаря подвижности круга имеется возможность осуществить вращательное движение в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Во многих опытах необходимо плавно изменять скорость вращения круга. В этой машине это достигается тем, что ролик, осуществляющий фрикционную связь, может перемещаться по вертикали и тем самым изменять скорость вращения круга. Если в цепь электродвигателя включить реостат, то с помощью этих двух устройств можно в широком пределе плавно изменять вращение круга. В данной работе используется описанная машина.

Ход работы. Укрепите на вертикальной оси описанной машины (или электропроигрывателя) деревянный круг (или планку) с отверстиями на разных расстояниях от оси вращения. Стержень с шариком вставьте в одно из отверстий и спроецируйте шарик на экран. К экрану прикрепите масштаб с нулевым делением посередине. Совместите проекцию шарика на экране (тень шарика) с нулевым делением масштаба и приведите круг в равномерное вращение.

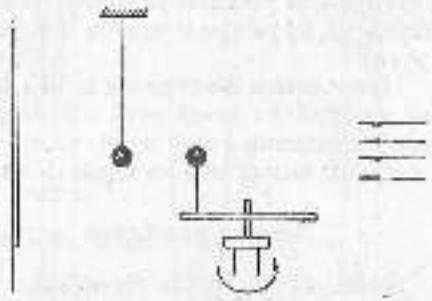


Рис. 126

Как на основе наблюдений за движением тени дать понятие о смещении, амплитуде, периоде и частоте колебания, о направлениях и величинах скорости в разные моменты колебания или в разных точках пути?

Поставьте два шарика на одном радиусе на разных расстояниях от оси вращения, совместите их тени с нулевым делением масштаба и приведите в движение круг. Как с помощью этого опыта закрепить понятие об амплитуде и ввести понятие о фазе колебания?

Шарики вставьте в различных местах круга и вращайте круг. Как на основе этой демонстрации ввести понятие о противоположных фазах и о разности фаз?

Как следует расположить приборы, чтобы получить четкое теневое изображение? Какой следует взять для этих целей проекционный фонарь?

Задание 3. Покажите, что колебание плоского маятника при малых амплитудах есть гармоническое колебание.

Укрепите на потолке или на высоком штативе маятник на длинной нитке. Спроецируйте на экран одновременно движущий маятник и шар на круге из предыдущего задания (рис. 126). В цепь электродвигателя включите реостат для регулировки скорости вращения. Приведите в совпадение тени шариков в состоянии покоя и в одной из крайних точек пути. Заметьте угол, на который следует при этом отвести маятник для совпадения теней в крайних точках.

Включите мотор и отведите рукой маятник из положения равновесия на угол α. В тот момент, когда шарик, укрепленный на

круга, будет проходить через крайнее положение, отпустите маятник. Регулируя скорость вращения диска реостатом, покажите совпадение теней движущихся тел (совпадение может быть в течение очень небольшого отрезка времени — 2—3 *сек*, так как маятник совершает затухающие колебания).

Как следует лучше расположить приборы для обеспечения четкой теневой проекции? Почему следует подвешивать маятник на очень длинной нити и брать колебания с малой амплитудой?

Задание 4. Покажите, что колебание шарика, подвешенного на вертикальной пружине, при малых амплитудах есть гармоническое колебание.

Подвесьте шарик на вертикальной пружине. Ось машины для вращательного движения укрепите горизонтально, чтобы круг с шариками на стержнях вращался в вертикальной плоскости. Рядом с кругом установите шарик на пружине и спроецируйте на экран шарик на пружине и шарик на стержне, оставленном в отверстии круга.

Приведите в совпадение тени шариков в состоянии покоя и в одной из крайних точек пути и приведите шарики в движение. Добейтесь совпадения теней во время их движения.

Какой вывод можно сделать из этой демонстрации?

Законы колебания математического маятника

Задание 5. Покажите независимость периода колебания маятника от его массы.

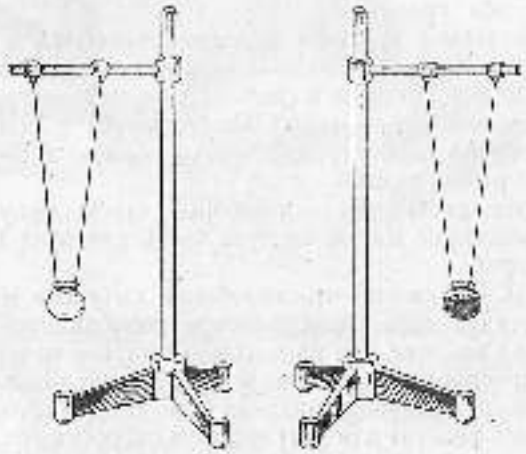


Рис. 127

Подвесьте бифилярно на двух штативах рядом два маятника одинаковой длины, но разной массы (рис. 127).

Отведите оба маятника на одинаковый угол от положения равновесия и отпустите их. Подсчитайте с помощью секундомера периоды колебаний маятников.

Какой вывод можно сделать из этой демонстрации?

Задание 6. Покажите, что период колебания маятника при малых амплитудах не зависит от амплитуды.

Отведите маятник от положения равновесия на угол не более 5° и отпустите его. Подсчитайте с помощью секундомера период маятника. Проделайте 2—3 измерения для различных амплитуд.

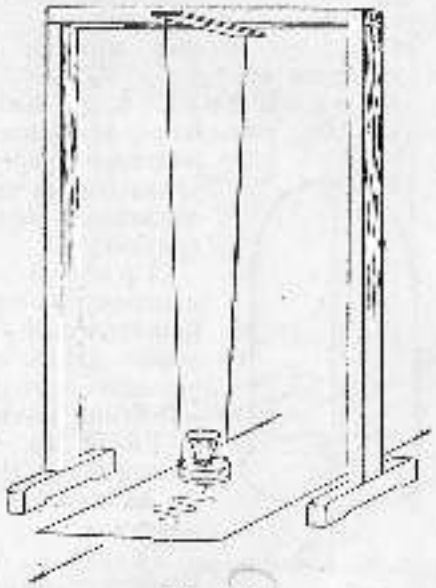


Рис. 128

Какой вывод можно сделать из этой демонстрации? От чего зависит результат данного эксперимента?

Задание 7. Покажите, что период маятника зависит от его длины.

Возьмите три маятника, длины которых отличаются на 20 *см* друг от друга, и определите с помощью секундомера период каждого маятника.

Рассчитайте по формуле период каждого маятника и сравните полученные результаты с экспериментом.

Какой наименьшей длины следует взять маятник? От чего зависит результат данного опыта? Можно ли на основании полученных данных показать, что период маятника пропорционален $\sqrt{l}$, где l — длина маятника?

Задание 8. Покажите, что период колебания маятника зависит от величины силы, действующей на маятник.

Подвесьте на штативе маятник с железным шариком и определите период колебаний.

Поместите ниже маятника магнит или электромагнит и определите также период колебаний.

Как следует расположить приборы для получения лучшего эффекта опыта? Как можно обобщить результат опыта для установления зависимости периода колебания маятника от ускорения свободного падения?

Какой можно сделать общий вывод по демонстрациям, предложенным в заданиях 5—8.

Задание 9. Покажите различные приемы записи колебаний маятника.

Первый способ. В качестве маятника возьмите воронку, укрепленную в диске, утяжеленном свинцовой накладкой. (Очень удобная по конструкции песочница для записи простых и сложных колебаний предлагается в руководстве по эксперименту Гирке и Шорокхоф [1].) Подвесьте маятник бифилярно к горизонтальной перекладине механической рамы. Под воронку подложите доску (лучше обитую сукном). В воронку насыпьте мелкий песок или толченый мел и приведите ее в колебание. Одновременно продвигайте равномерно доску в направлении, перпендикулярном к плоскости колебания (рис. 128).

Используя плоское зеркало, покажите полученную кривую и объясните ее.

Второй способ. В высыпающийся песок добавьте примерно 10%, разведенного марганцевокислого калия. На доске под маятником укрепите белый лист бумаги, слегка увлажненный чистой мокрой тряпкой. Запишите движение и покажите на бумаге полученную кривую.

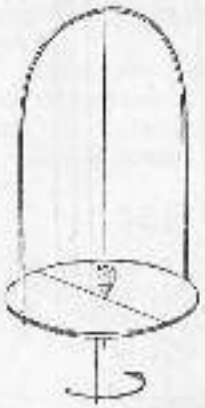


Рис. 129

Третий способ. Возьмите маятник, к шарику которого припаян кусочек упругой металлической проволоки. Под проволоку положите длинную стеклянную пластинку, предварительно закопченную. Осуществите запись колебаний маятника.

Какой из трех способов в методическом отношении более эффективен?

Задание 10. Покажите затухание колебаний маятника.

Покажите колебания маятника в воздухе. Поместите шарик маятника в сосуд с водой или с какой-либо другой более вязкой жидкостью и покажите колебания маятника, отклонив его от положения равновесия на тот же угол, что и в воздухе. Сравните время затухания в обоих случаях.

Каковы способы улучшения видимости этой демонстрации?

Задание 11. Покажите с помощью установки, изображенной на рисунке 129, свойство маятника сохранять плоскость колебаний.

Задание 12. Покажите свойства физического маятника: а) существование центра качания; б) сохранение периода колебания маятника при перенесении его оси параллельно самой себе в центр качания.

Сложение колебаний

Задание 13. 1) Покажите сложение двух колебаний, совершаемых в одной и той же плоскости.

[1] Рудольф Гирке и Георг Шорокхоф. Эксперимент на курсе элементарной физики, ч. 1. Учпедгиз, М., 1953, стр. 245—246.

Подвесьте бифилярно песочницу для записи колебаний к промежуточному массивному телу, а последнее — к перекладине рамы (рис. 130).

Выведите из равновесия этот двойной маятник и получите запись колебаний песком.

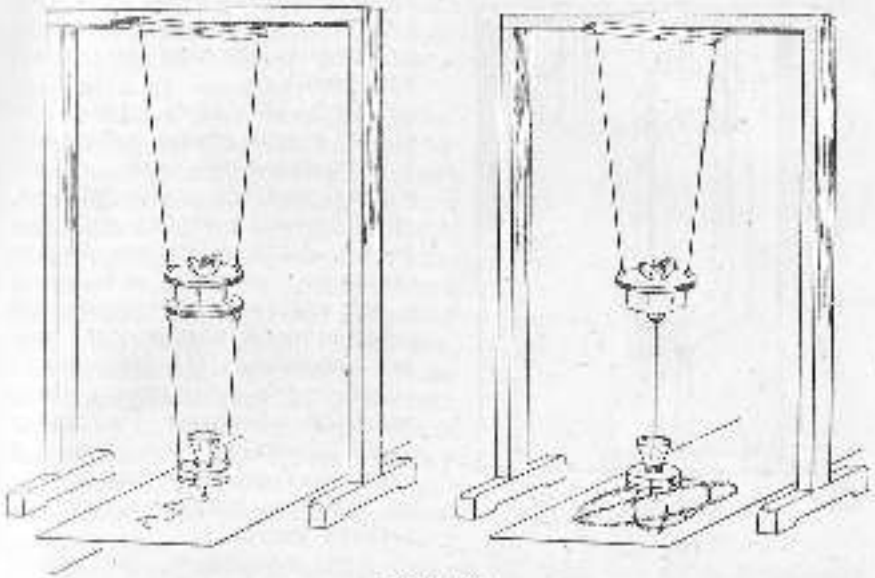


Рис. 130

2) Покажите сложение двух колебаний, совершаемых во взаимно перпендикулярных плоскостях.

Укрепите на механической раме маятник с двойным подвесом. Сообщите маятникам движения во взаимно перпендикулярных плоскостях и покажите, что в этом случае песочница запишет фигуры Лиссажу (рис. 130).

Вынужденные колебания

Задание 14. Покажите примеры вынужденных колебаний:

а) Колебание груза, подвешенного на пружине; точка подвеса пружины движется по окружности (рис. 131).

б) Колебание маятника, периодически подталкиваемого усилием руки.

в) Колебание мембраны телефона, через обмотки которого пропускают переменный ток.

г) Колебание пластин резонатора Фрама.

Задание 15. Покажите, что вынужденные колебания происходят с частотой, равной частоте изменения внешней силы.

а) Покажите, что с увеличением или уменьшением числа оборотов точки подвеса пружины (рис. 131) изменяется частота колебаний пружины.

б) Телефонные наушники или громкоговоритель соедините со звуковым генератором ЗГ-1. Изменяя (вращением ручки конденсатора) частоту тока, заметьте изменение звучания телефона (изменение частоты колебания мембраны).

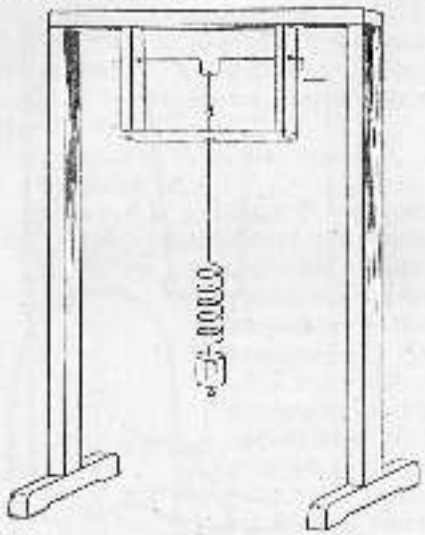


Рис. 131

Чтобы показать равенство частот вынужденных колебаний и вынуждающей силы, можно воспользоваться демонстрацией, предлагаемой в учебнике Стрелкова[1]. Если в тисках зажать стальную пластинку и поднести к ней электромагнит, питаемый сетевым током, то пластинка придет в колебание. Наблюдайте за колебаниями пластинки в свете неоновой лампочки. Пластинка будет казаться неподвижной в силу стробоскопического эффекта. Это есть доказательство равенства частот.

Как объяснить учащимся этот опыт?

Задание 16. Покажите резонанс колебаний маятников.

Нить длиной 4—6 *м* натянута между двумя противоположными стенками лаборатории или на двух штативах.

На одном краю нити подвесьте маятник — «источник» колебаний, а на другом — маятники — «приемники» колебаний (рис. 132). Приведите первый маятник в колебание и покажите, как резонирует третий маятник.

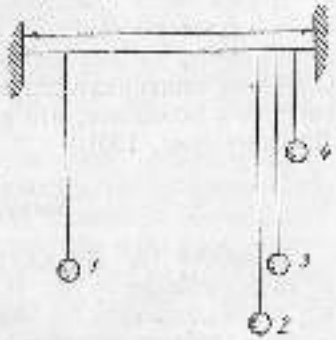


Рис. 132

Покажите резонанс, используя роли источников колебаний поочередно второй, третий и четвертый маятники.

Проверьте на опыте, в чем состоит недостаток этой демонстрации, если использовать короткую (40—60 *см*) общую нить.

Покажите явление резонанса с помощью резонатора Фрама.

[1] С. П. Стрелкова, Механика, ГИТТЛ, М., 1956, стр. 383.

Задание 17. Ознакомьтесь с устройством язычкового частотомера и измерьте с помощью его частоту сетевого переменного тока.

Задание 18. Покажите гашение колебаний.

К доске, изображающей форму поперечного сечения корабля, прикрепите два сообщающихся сосуда, соединенные в верхней части воздухопроводом с запорным краном. В верхней части доска насаживается на ось (рис. 133).

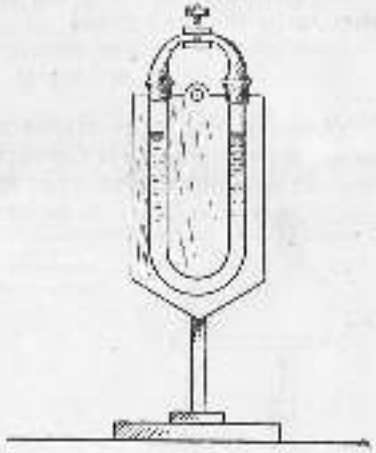


Рис. 133

Закрывая или открывая кран, добейтесь, чтобы частота колебаний воды в неподвижных сосудах была значительно меньше частоты колебаний всего прибора. Выведите прибор из положения равновесия и отметьте длительность его колебаний. Затем, открывая или закрывая кран, добейтесь, чтобы частота колебаний воды в покоящихся сосудах и частота колебаний всего прибора стали одинаковыми. Приведите прибор в колебание и отметьте, что прибор после 2—3 колебаний останавливается.

Затухание колебаний происходит от того, что фазы колебаний воды в сосудах и всего прибора противоположны. Опыт объясняет действие стабилизатора боковой качки судов при помощи так называемых цистерн Фрама.

Автоколебания

Задание 19. Покажите автоколебания на примерах:

а) Колебания молоточка в электрическом звонке.

б) Колебания маятника метронома.

в) Колебания маятника на модели часов.

г) Спираль Рюмкорфа (рис. 134).

д) «Сосуд Тантала» (рис. 135), в котором периодические изменения уровня воды происходят так. Если установить прибор под краном *1*, из которого вытекает вода с постоянной скоростью, то сосуд наполняется водой до уровня h_2, сифон *2* вступит в действие и быстро опорожнит сосуд до уровня h_1. Затем явление повторяется.

Как лучше обеспечить видимость этих демонстраций?

Какие основные части имеются в любой автоколебательной системе?

Задание 20. Покажите с помощью хронометра и модели часового механизма, что частота автоколебаний определяется только параметрами самой колебательной системы.

Вопросы

1. Чем отличаются автоколебания от свободных и вынужденных колебаний?

2. Какие кратковременные (10—15-минутные) лабораторные работы можно поставить в классе по данной теме?

3. Какие домашние лабораторные задания можно рекомендовать учащимся по этой теме?

Приборы и материалы

Машина для вращательного движения или центробежная машина; деревянный круг с отверстиями, укрепленный в гнезде центробежной машины или мотора; два деревянных шара на стержнях, укрепляемых в отверстиях деревянного круга; проекционный фонарь

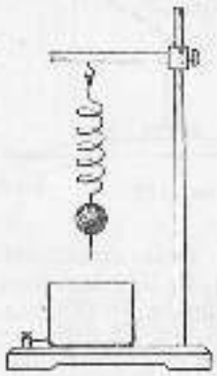


Рис. 134

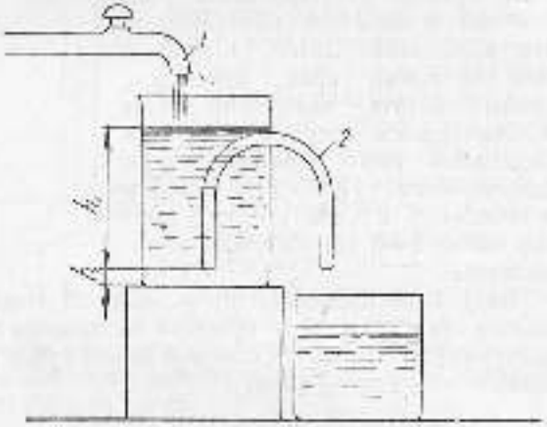


Рис. 135

с точечным источником света; экран; масштаб с нулевым делением посередине; спираль Рокке; тиски; упругая пластинка с грузом; два штатива; пружина с грузом; маятник на длинном подвесе; подставка в виде рамы; воронка и песок; сосуд с вязкой жидкостью; физический маятник (фанерный или жестяной лист любой формы); маятники разной длины; сообщающиеся сосуды; маятниковый регулятор хода часов; модель плотины Фрама; трансформатор; телефон; звонок; батарея аккумуляторов на 4 в; звуковой генератор ЗГ-1; прибор для демонстрации сложения колебаний.

13. ЗВУК

Демонстрации звуковых явлений являются по существу довольно простыми, но их осуществление осложняется тем, что, кроме видимости, необходимо обеспечить также и достаточную слышимость

их. Преподаватель, готовясь провести демонстрации по звуку, должен прослушать их и оценить с точки зрения их слышимости.

Литература

Б. С. Зворыкин, Простейший звуковой генератор, «Физика в школе», 1957, № 6.

А. П. Рихкенин, Опыты с применением звукового генератора на уроках физики в средней школе, «Физика в школе», 1957, № 3.

К. В. Дубровский, Простые физические приборы по акустике, «Физика в школе», 1940, № 4.

Задание 1. Покажите, что звучащее тело находится в колебательном движении на следующих установках:

а) на звучащем камертоне при помощи прикасающегося к нему маятника;

б) на звучащей струне при помощи касаженных на нее бумажек;

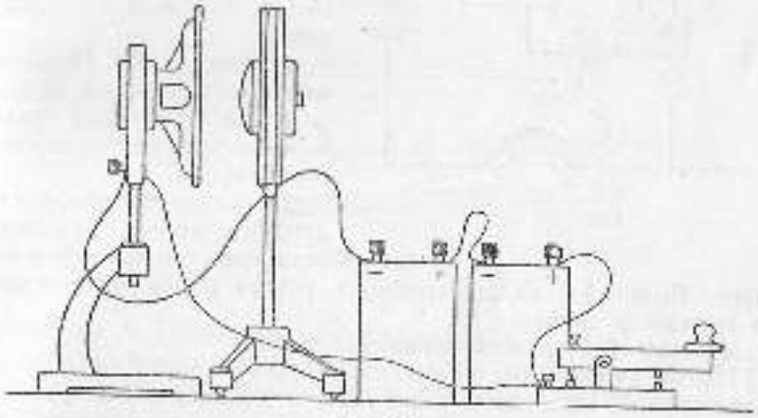


Рис. 136

в) на звучащем стеклянном колпаке при помощи прикасающегося маятника;

г) на звучащей пластинке при помощи насыпанного на нее песка.

Задание 2. Покажите получение звука при помощи звукового генератора [1].

Составьте цепь из последовательно соединенных электродинамического громкоговорителя, угольного микрофонного капсюля, источника тока и ключа (рис. 136). Напряжение источника тока надо подобрать опытным путем, чтобы не допустить перегрузки микрофона.

---

[1] Б. С. Зворыкин, Простейший звуковой генератор, «Физика в школе», 1957, № 6.

В момент замыкания цепи катушка динамика получает толчок, вследствие которого она начинает совершать свободные затухающие колебания. Звук, обусловленный колебаниями подвижной системы динамика, действует на угольную мембрану микрофона. Сопротивление микрофона поэтому периодически усиливается. Ток становится пульсирующим и поддерживает колебания катушки, которые становятся незатухающими. Вследствие этого возникает громкий звук высокого тона.

В зависимости от направления тока катушка динамика либо втягивается внутрь магнитного зазора, либо выталкивается из него. Вследствие этого механическое напряжение в подвижной системе динамика становятся различными, что влияет на собственную частоту системы и на высоту издаваемого звука. Убедитесь в этом, изменив направление тока в цепи.

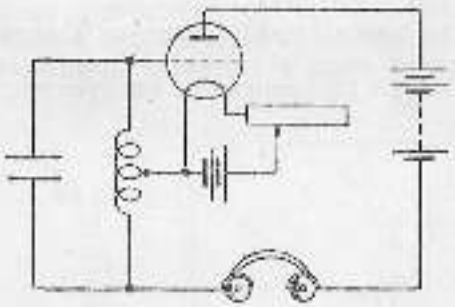


Рис. 137

Задание 3. Покажите, что звук передается от излучателя к приемнику только через окружающую источник звука среду.

Поместите под колокол воздушного насоса будильник, установив его на мягкой подставке. Выкачайте из-под колокола воздух и покажите изменение громкости звука.

Задание 4. Покажите отражение звука.

Положите карманные часы на слой ваты и закройте их цилиндрической трубой. Приставьте к верхнему отверстию трубы пластинку под углом 45° к горизонту и покажите различную слышимость часов при наличии пластинки и без нее.

Установите оба зеркала Пикте так, чтобы их главные оси совпали. В фокусе одного зеркала поместите пламя газовой горелки. В фокусе другого зеркала воспроизведите звук при помощи свистка или телефона, питаемого от звукового генератора, и покажите изменение пламени при отражении звука. Покажите состояние пламени при расстройстве установки.

Направьте звук от первого зеркала на гладкую доску (например, чертежную) и чувствительному пламени, помещенным в фокусе второго зеркала, покажите отражение звука от доски.

Примечания. 1) Для получения чувствительного пламени в резиновую трубку, надетую на газовый кран, вставляют стеклянную трубку диаметром 1—1,5 см, имеющую оттянутый конец с диаметром 1—2 мм (размер надо подобрать путем проб).

2) Для получения звука от телефона можно соединить его со звуковым одноламповым генератором, собранным по схеме, изображенной на рисунке 137.

Вопросы

1. Какой закон отражения можно вывести из последней демонстрации?
2. Как показать, что различные вещества отражают звук различно?
3. Какие явления природы объясняются отражением звука?
4. Какие случаи использования звука в технике надо указать учащимся?
5. Какие источники звука (кроме свистка и телефона) можно применить в опытах с зеркалами Пикте?
6. Какой из источников звука дает наилучшие результаты в опытах с отражением от зеркал Пикте?

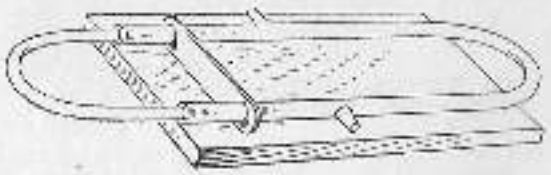


Рис. 138

Задание 5. Покажите преломление звука.

Поместите между зеркалами (установка задания 4) газовую горелку или электрическую плитку и покажите, что поток теплого воздуха изменяет направление звуковых лучей.

Поместите между зеркалами призму со стенками из шелка, наполните ее углекислым газом и покажите изменение направления звуковых лучей, проходящих углекислый газ.

Задание 6. Покажите интерференцию звука.

Вращайте звучащий камертон вокруг вертикальной оси и слушайте получающийся звук. Докажите, что здесь имеет место явление интерференции звука, устраняя одну из звуковых волн посредством надевания на ветвь камертона трубки, не соприкасающейся с ветвью.

Продемонстрируйте явление интерференции на интерферометре (рис. 138).

Интерферометр состоит из двойной металлической или стеклянной трубы, одна часть которой может вдвигаться в другую или выдвигаться из нее на разные расстояния. Перед одной воронкой помещается источник звука (лучше всего телефон, соединенный со звуковым генератором). К другой воронке приставляется приемник

звука. При раздвигании частей трубы приемник звука обнаруживает последовательные ослабления и усиления звука.

Продемонстрируйте биение звука. Возьмите два камертона с одинаковым числом колебаний и приведите их в звучание легкими ударами резинового молоточка. Затем на ветвь одного камертона укрепите насадку (короткий кусок толстостенной резиновой трубки или металлическую полоску, туго обжимающую ветвь камертона) и снова приведите камертоны в звучание. Какое явление имеет место в этом случае?

Вопросы

1. Почему в качестве источника звука для интерферометра лучше всего брать телефон, соединенный со звуковым генератором?
2. Какой признак звука является наилучшим в опыте с интерферометром?
3. Почему происходят ослабления и усиления звука при выдвигании одной части трубы из другой. Через какие промежутки длины наступают при этом последовательные усиления и ослабления звука?
4. От чего зависит частота биений в опыте с двумя камертонами (задание 6).
5. При помощи каких опытов можно дать учащимся понятие о диффракции звуковых волн?

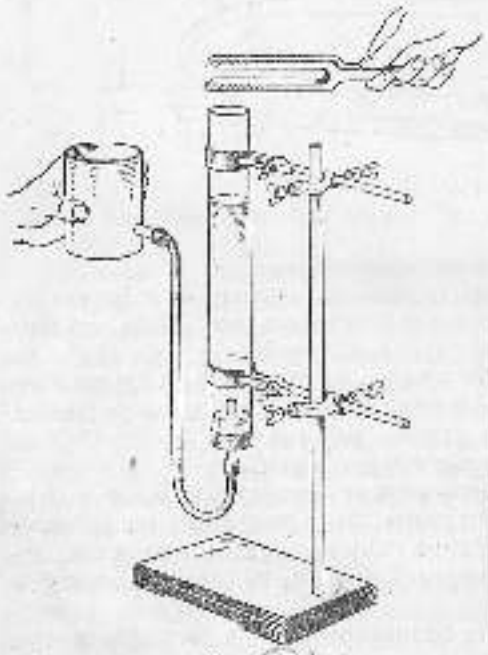


Рис. 139

Задание 7. Покажите звуковой резонанс.

Возьмите два настроенных в унисон камертона и поставьте их резонаторные ящики один против другого отверстиями друг в другу. Приведите в звучание один камертон и через некоторый короткий промежуток времени заглушите его звучание. Отметьте звучание второго камертона.

Покажите, что резонанс возникает только при одинаковости периодов обоих звучащих тел.

Возьмите установку из двух сообщающихся сосудов, соединенных гибкой резиновой трубкой и частично заполненных водой (рис. 139).

К отверстию цилиндрического сосуда поднесите звучащий камертон. Поднимая или опуская другой сосуд (тем самым удлиняя или укорачивая воздушный столб в цилиндрическом сосуде), добейтесь резонирования воздушного столба на звучание камертона.

Можно осуществить резонанс для двух (и более) различных уровней воды в цилиндрическом сосуде, если взять камертон с большим числом колебаний в секунду.

Поставьте вокруг динамика, соединенного со звуковым генератором (например, типа ЗГ-1), несколько камертонов с различными частотами собственных колебаний. Приведите в действие звуковой генератор и изменяйте высоту подаваемого динамиком звука. Камертоны будут по очереди резонировать. Резонанс камертона обнаруживается по отскакиванию соприкасающегося с ним шарика [1].

Наброски

1. Как можно с помощью резонанса (рис. 139) измерить длину волны, излучаемой звучащим камертоном?
2. Как показать резонанс воздушного столба при помощи установки, изображенной на рисунке 140.
3. Какое различие существует между двумя видами звука — шумом и тоном? Как показать это различие?
4. Какие качества различают в тоне?

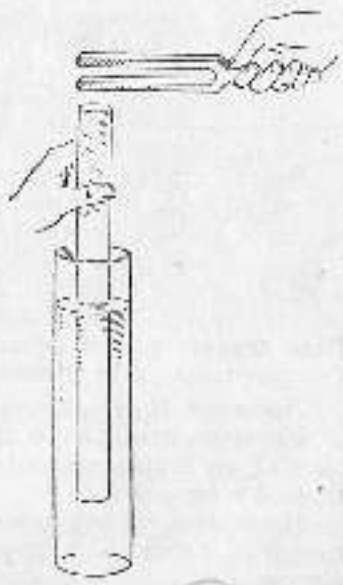


Рис. 140

Задание 8. Покажите при помощи камертона и маятника, что громкость тона зависит от амплитуды колебаний звучащего тела.

Задание 9. Покажите, что высота тона зависит от частоты колебаний.

Стальную пластинку зажмите в тисках и приведите в колебание. Повторите опыт, изменив длину колеблющейся части пластинки. Сравните частоты колебаний пластинки и сопоставьте изменение частоты с улавливаемым на слух изменением высоты тона.

Возьмите колеса с разными числами зубцов по окружности, приведите их во вращение с одним и тем же периодом и по очереди подставляйте к зубцам каждого колеса край листа плотной бумаги (картон). От ударов зубцов лист приходит в колебание и издает

[1] А. П. Рыжкевич. Опыты с применением звукового генератора на уроках физики в средней школе, «Физика в школе», 1957, № 3.

звук. Покажите повышение высот издаваемых тонов с увеличением частоты ударов зубцов о картон.

На конец камертона насадите легкое острие, приведите камертон в звучание и проведите острием по закопченной стеклянной пластинке. Повторите опыт с камертонами различных частот колебания, осуществляя равномерное перемещение острия по пластинке с одной и той же скоростью.

Проектируя на экран полученные синусоиды, сравните частоты колебаний и сопоставьте их с воспринятыми на слух высотами тонов.

Задание 10. Покажите звучание высших гармонических тонов.

Возбудите колебание струны на монохорде, щипнув ее на расстоянии одной четверти длины от конца. Коснитесь бородкой птичьего пера или просто пальцем точно середины струны. Сравните высоту слышимого звука с высотой основного тона струны (слышен тон на октаву выше). Введите название «первый высший гармонический тон» или «первый обертон».

Дергая струну посередине и касаясь бородкой пера на расстоянии одной трети длины от конца струны, обнаружьте второй обертон.

Дергая струну посередине и касаясь по очереди пером точек струны, отстоящих от ее конца на расстоянии одной четверти, одной пятой, одной шестой длины, обнаружьте звучание третьего, четвертого, пятого обертонов.

На основании этих опытов дайте понятие о тембре звука.

Дергая струну монохорда в различных точках и не заглушая основного тона, покажите, что тембр звука одной и той же струны меняется с изменением числа и громкости обертонов. Если дернуть струну за середину — возбуждается основной тон и четные обертоны. Нечетные обертоны, для которых узлы должны лежать в середине струны, образоваться не могут; тембр звука глуховатый. Если дернуть струны вблизи ее концов, усиливаются более высокие обертоны, звук становится звенящим.

Задание 11. Покажите образование стоячих звуковых волн.

Укрепите стеклянную трубку длиной около 0,5 *м* и диаметром около 5 *см* в горизонтальном положении на доске-экране, выкрашенной в черный цвет.

Наполните трубку дымом из дымаря. С одного конца вдвиньте в трубку поршень, к другому концу поднесите источник звука (свисток).

При помощи подвижного поршня подберите такую длину столба воздуха в трубке, чтобы в ней образовались стоячие волны [1].

Задание 12. Произведите запись колебаний камертона на пластинке.

---

[1] Н. А. Бабанова, Два опыта по акустике, «Физика в школе», 1956, № 3.

Положите на диск патефона картонный диск с отверстием в центре, подобрав толщину картона так, чтобы конец оси диска оказался ниже поверхности картона.

На картонный диск положите закопченную стеклянную пластинку. Камертон с острием приведите в колебание и касайтесь поверхности стекла острием. Передвигая острие к оси вращения, получите запись в виде спиральной волнистой линии.

Проведя карандашом диаметр, пересекающий спираль, подсчитайте число колебаний за половину периода вращения.

Определите время, в течение которого диск делает 40—50 оборотов, определите время одного оборота и вычислите частоту колебания камертона [1].

Приборы и материалы

Воздушный насос с колпаком; будильник; два зеркала Пикте; интерферометр; монохорд; колесо Савара; сирена; телефон; микрофон МБ; звуковой генератор (например, ЗГ-1); динамик (примерно, мощностью в 1,95 *вт* и сопротивлением около 3,5 *см*); камертоны с разной частотой, из них один с частотой до 200 *гц* и пара одинаковых с резонаторными ящиками; резиновый молоточек; острие для насаживания на камертон; закопченная стеклянная пластинка; струбцинка для зажима пластинок; резиновая или металлическая насадка на камертон; пластинки металлические; газовая горелка со стеклянной оттянутой трубкой для получения чувствительного пламени; свисток; газовая горелка со многими отверстиями или электроплитка; трехгранная призма со стенками из шелка для заполнения углекислым газом; маятники на штативах; карманные часы; цилиндрическая труба; сообщающиеся сосуды для демонстрации резонанса; войлок, пробка, камешки, дощечки, стеклянная или металлическая пластинка; масштаб; тиски; батарея аккумуляторов; граммофон.

16. ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

Для проведения демонстраций по этой теме имеется ряд приборов, выпускаемых Главучтехпромом.

1) *Прибор для демонстрации явления обтекания тел* состоит из ванны, в дне которой имеется стеклянное окно. Внутри ванны установлены две перегородки с полуокружными каналами для направления потока жидкости. Поперек ванны установлен валик с закрепленными на нем колесами, которые при вращении создают поток жидкости. К прибору прилагаются тела различной формы (рис. 141).

---

[1] Н. А. Пушкарь и А. К. Бабенко, Тема «Звук» в VI классе, «Физика в школе», 1950, № 6.

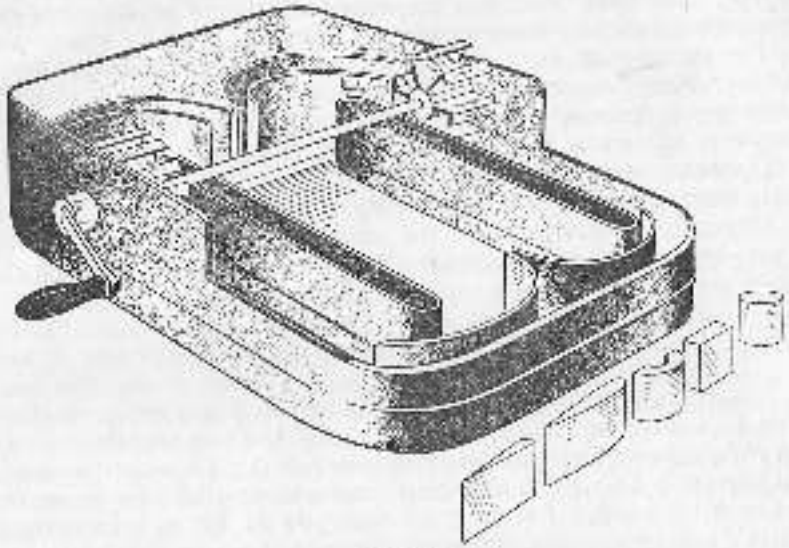


Рис. 141

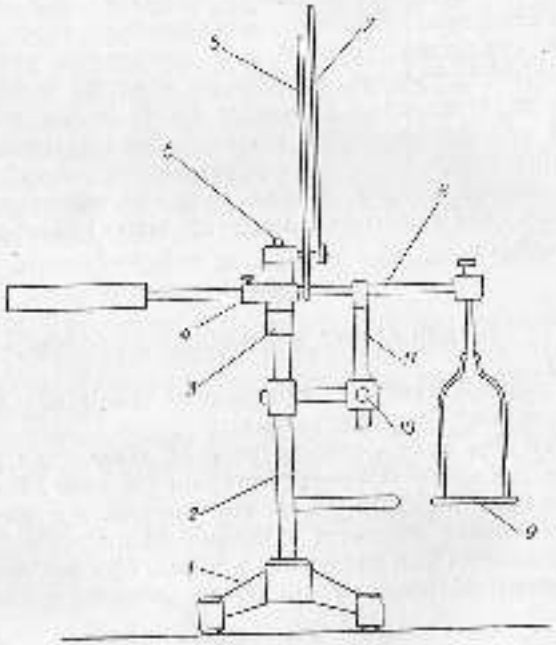


Рис. 142

2) *Аэродинамические весы* служат для определения зависимости величины аэродинамического сопротивления от формы движущихся в воздухе тел. Аэродинамические весы (рис. 142) состоят из чугунной подставки *1*, стальной стойки *2*, скобы *3* с прикрепленной к ней шкалой *7* и центровой втулки *4*.

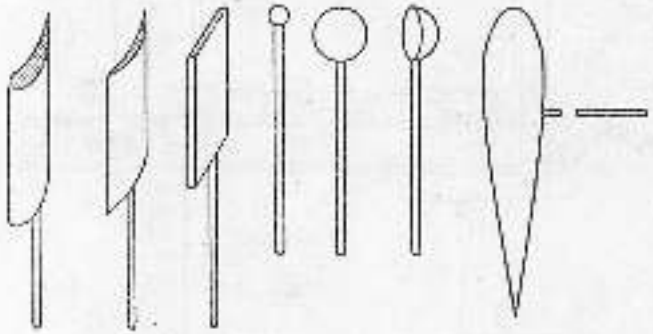


Рис. 143

В центровой втулке с одной стороны закрепляется тело, которое обдувается потоком воздуха, а с другой стороны с помощью штанги *8* закрепляется чашка весов *9*. На стойке *2* при помощи колонки *10* закрепляется плоская пружина *11*. Пружина через штангу *8* воспринимает усилия, которые испытывают тела при обдувании. При этом центровая втулка вращается и отклоняет стрелку *6*. Усилие, возникшее при обдувании, определяется по шкале *7*.

К прибору прилагается комплект тел, изображенных на рисунке 143.

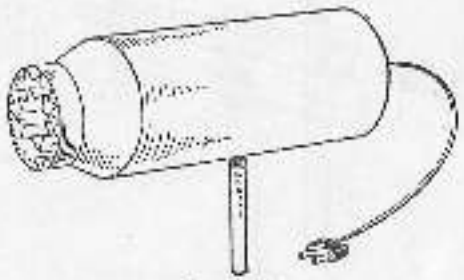


Рис. 144

3) Для создания потока воздуха Главучтехпромом выпускается *аэродинамическая труба* (рис. 144). Она состоит из электродвигателя переменного тока на 127 *в* (от швейной машины) и укрепленного на его оси двухлопастного винта, которые заключены в металлическую трубу, имеющую с одной стороны сужение. Для создания воздушного потока, приближающегося к ламинарному, в передней и задней частях трубы вставлены ячейковые вкладыши.

Во многих школах для создания воздушного потока используется удобный для различных демонстраций фен.

4) Для демонстраций движения жидкостей в трубах выпускаются различные *модели из прозрачного стекла*, предназначенные для проецирования их на экран (рис. 145).

Эти приборы страдают тем недостатком, что они могут быть показаны только с помощью проекции. Во многих школах движение жидкостей в трубах демонстрируют без проекции на самодельных приборах гораздо больших размеров, чем модели Главучтехпрома.

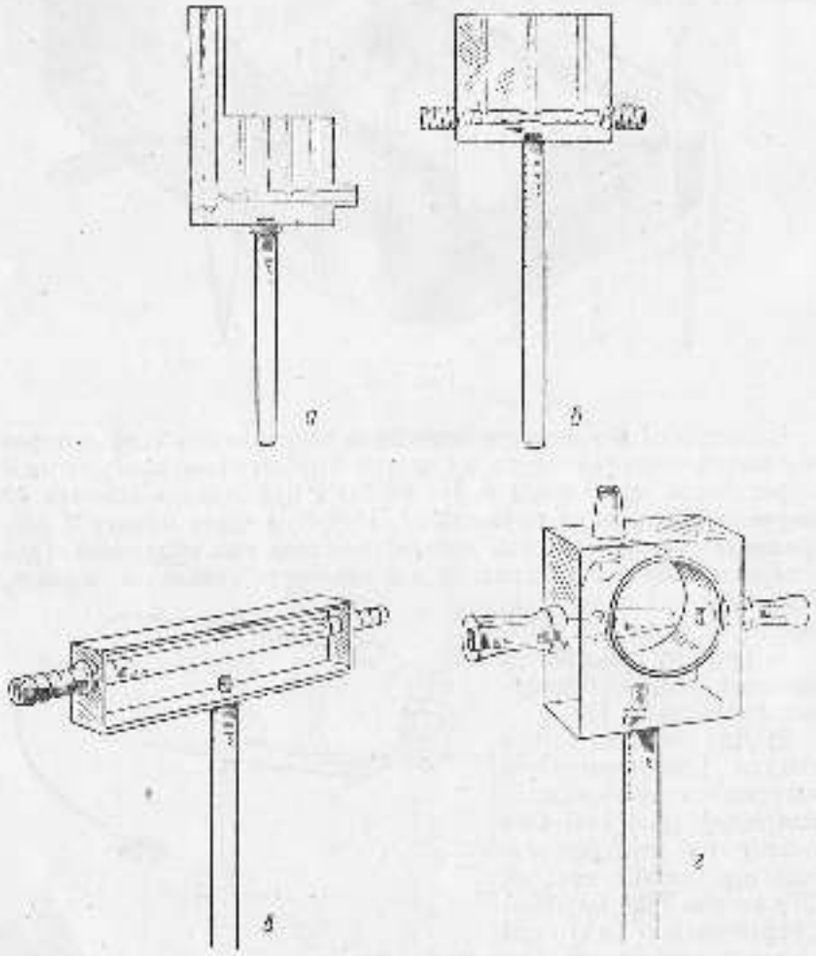


Рис. 146

При изготовлении трубы переменного сечения необходимо иметь в виду, что переход от одного сечения к другому следует осуществить плавно, так как в противном случае в переходной части получаются завихрения.

Для показа движения газов в трубах Главучтехпром не производит приборов. Поэтому их следует изготовить в школах. Трубу

переменного сечения можно изготовить из картона или нескольких слоев склеенной бумаги, а жиклерные трубки сделать из стекла.

Успех многих демонстраций по аэродинамике зависит от возможности измерить незначительные давления, создаваемые потоком

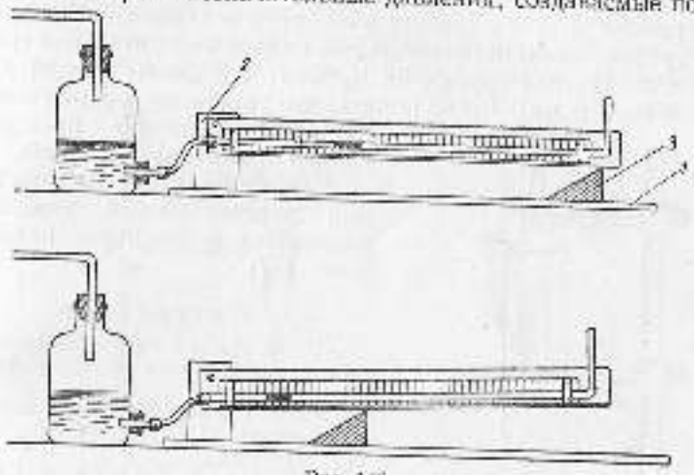


Рис. 146

воздуха. Для этих целей следует изготовить самодельный микроманометр высокой чувствительности. Один из таких чувствитель-

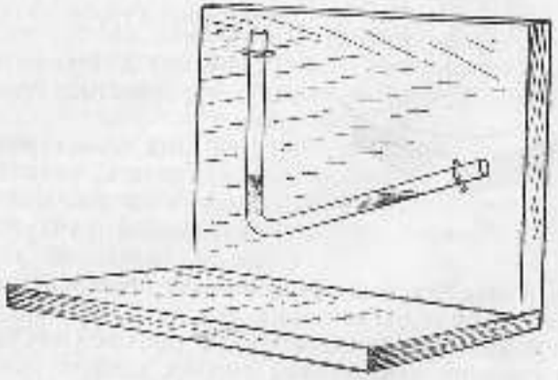


Рис. 147

ных манометров описан в недавно переведенном на русский язык немецком пособии [1], другой — в книге А. И. Глазырина [2]

[1] Рудольф Гирке и Георг Широкхоф. Эксперимент по курсу элементарной физики, п. 2. Учпедгиз, М., 1959, стр. 149.
[2] А. И. Глазырин. Самодельные демонстрационные приборы по физике, Учпедгиз, М., 1960, стр. 203.

Устройство первого манометра показано на рисунке 146. Манометр смонтирован на деревянной подставке *1*. Передний конец измерительной части шарнирно укреплен в вертикальной стойке 2, а задний конец свободен и опирается на переставляемую деревянную призму 3. Изменяя наклон трубки, можно менять чувствительность прибора. Бутыль следует наполнить подкрашенной водой до такого уровня, чтобы незначительный наклон измерительной трубки создавал заполнение трубки на $^1/_4$ часть его длины (общая длина трубки 400—450 *мм*). Легко понять, что изменение длины столбика жидкости в трубке пропорционально изменению давления.

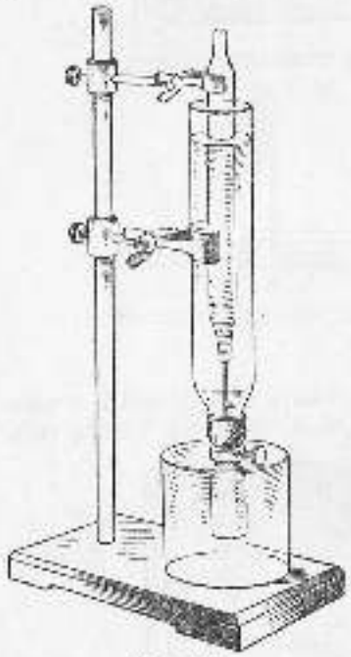


Рис. 146

Еще более прост по конструкции чувствительный наклонный манометр с регулируемым наклоном (рис. 147).

Литература

П. А. Рыженко, Вопросы гидро- и аэродинамики в курсе физики, Учпедгиз, М., 1959.

Р. В. Поль, Введение в механику и акустику, ГИТТЛ, М.—Л., 1953, стр. 167—180.

Рудольф Гирке и Теодор Широкхоф, Эксперимент по курсу элементарной физики, ч. 2, гл. IV, Учпедгиз, М., 1958, стр. 311—320.

Ламинарное и турбулентное течения

Задание 1. Покажите ламинарное и турбулентное течения жидкости.

Для этой демонстрации можно воспользоваться установкой, изображенной на рисунке 148.

В широкую трубку, с которой соединен резиновый шланг, следует налить воды. Узкую трубку-пипетку, предварительно набрав в нее подкрашенной воды, закрепите так, чтобы уровень воды в ней был на одной высоте с уровнем воды в широком сосуде.

Для образования ламинарного течения следует немного отпустить зажим, тогда из малой трубки будет вытекать узкой струйкой подкрашенная вода. Для показа турбулентного течения следует открыть больше зажим.

Как обеспечить в этой демонстрации хорошую видимость? На каких еще установках можно показать ламинарное и турбулентное течения?

Задание 2. Покажите ламинарное и турбулентное течения воздуха.

В качестве индикатора различных видов течения воздуха в книге Гирке и Широкхоф рекомендуется воспользоваться ниточным зондом. Он представляет собой металлический стержень, к которому прикреплены на равных расстояниях друг от друга 2—3 нити по 20—25 *см*.

Для обнаружения линий тока ламинарного течения следует укрепить горизонтально воздуходувный прибор и на расстоянии 20 *см* от прибора расположить в потоке воздуха ниточный зонд

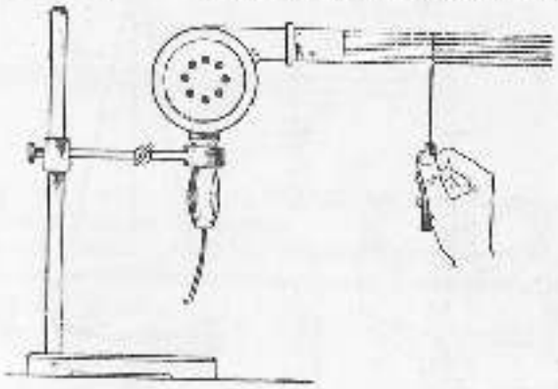


Рис. 149

так, чтобы стержень его был перпендикулярен воздушному потоку. Тогда нити расположатся вдоль линий тока (рис. 149).

Для обнаружения линий тока турбулентного течения следует на пути воздушного потока поставить металлическую пластинку. За пластинкой образуются завихрения, которые можно обнаружить, поместив за преградой ниточный зонд.

Каким образом следует поставить эти демонстрации для обеспечения хорошей видимости? Почему не следует ниточный зонд помещать в непосредственной близости у воздуходувного аппарата? Какими еще способами можно показать линии тока в воздухе?

Внутреннее трение в жидкостях и газах

Задание 3. Покажите существование внутреннего трения в жидкостях.

Во втулке центробежной машины закрепите центробежную крыльчатку без внутреннего металлического сосуда. Наполните сосуд до половины водой. На поверхность воды установите плоскую пробку с фланцем (рис. 150), чтобы она не касалась стенок сосуда. Приведите во вращение центробежную машину и покажите наличие в ней внутреннего трения.

Задание 4. Покажите существование внутреннего трения в газах.

Закрепите во втулке центробежной машины деревянный диск. На некотором расстоянии от плоскости диска подвесьте картонный круг (рис. 151). Приведите во вращение диск и покажите существование внутреннего трения в газах.

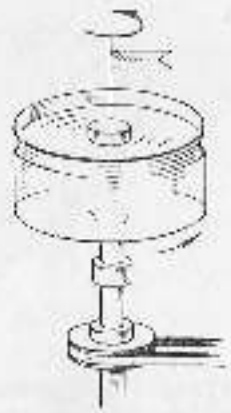


Рис. 150

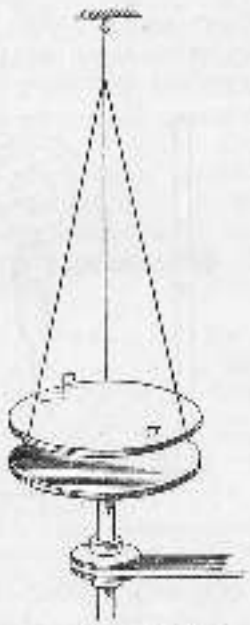


Рис. 151

Как обеспечить хорошую видимость демонстраций в заданиях 3 и 4? Каким образом можно усилить или ослабить внутреннее трение в этих опытах?

Движение жидкостей в трубах

Задание 5. Покажите распределение давления на стенки горизонтальной трубки постоянного сечения в покоящейся и движущейся жидкостях.

Установите на столе прибор, изображенный на рисунке 152. Наполните водой большой сосуд и покажите давление, производимое покоящейся и движущейся жидкостями на стенки трубки.

Покажите, как меняется давление на стенки сосуда с изменением скорости течения жидкости.

Задание 6. Покажите распределение скоростей в сечении потока жидкости внутри трубы.

Для демонстрации воспользуйтесь бюреткой, в которую налейте воды на $^{3}/_{4}$ ее высоты. Осторожно, не производя перемешивания,

налейте сверху подкрашенный водный раствор спирта (1 часть спирта и 3 части воды). Можно заполнить сосуд на $^{1}/_{4}$ раствором

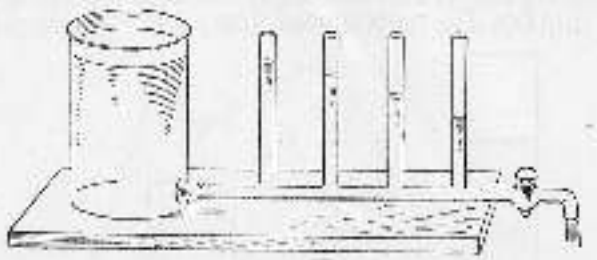


Рис. 152

(300 г сахару, 180 г воды и 10 г уксусной кислоты) и залить сверху тот же, но подкрашенный раствор.

Если немного открыть кран, то можно показать, что подкрашенная жидкость будет перемещаться медленно у стенок и иметь максимальную скорость в средней части сечения (рис. 153).

Задание 7. Покажите, что в узких частях трубы статическое давление текущей жидкости меньше, чем в широких.

Установите с помощью штатива на демонстрационном столе прибор, изображенный на рисунке 154. Отрегулируйте положение крана так, чтобы в узкой части трубы не получилось завихрений.

Покажите на этой же установке, что при некоторой скорости давление в узкой части может стать меньше атмосферного, и следовательно, будет происходить засасывание воздуха в узкую часть трубы.

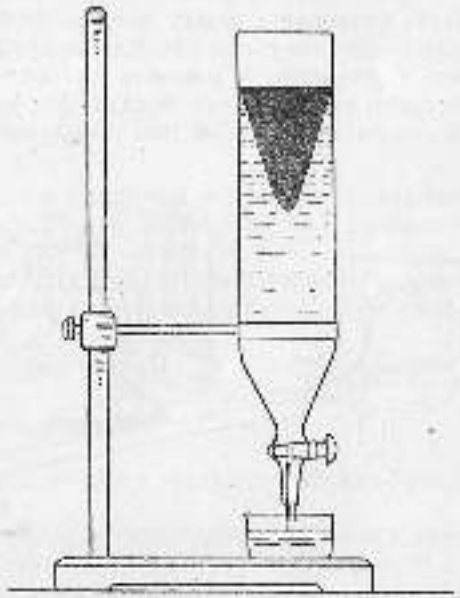


Рис. 153

Покажите эту же демонстрацию с помощью проекции, используя прибор, изображенный на рисунке 145, б. Сравните результаты обеих демонстраций.

Задание 8. Покажите технические применения зависимости статического давления движущейся жидкости от скорости течения.

а) Покажите с помощью стеклянной модели работу водоструйного насоса (эта демонстрация описана в работе «Насосы», стр. 46).

б) Покажите работу водоструйного насоса с помощью проекции, используя прибор Главучтехпрома (рис. 145, г).

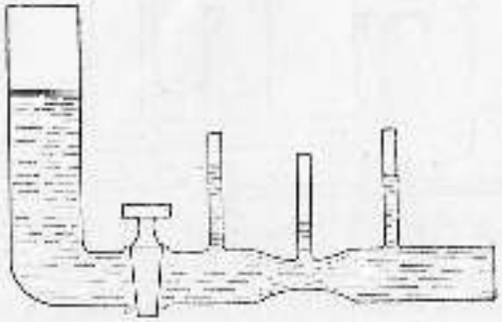


Рис. 154

Установите на столе универсальный проекционный фонарь. Насос установите между конденсором и объективом. Входной штуцер соедините с водопроводным краном, выходной штуцер соедините с отливом, а штуцер отсоса — с двугорлым сосудом, из которого выкачивается воздух. Второе отверстие сосуда соедините со стеклянным манометром. Соединение следует осуществить с по-

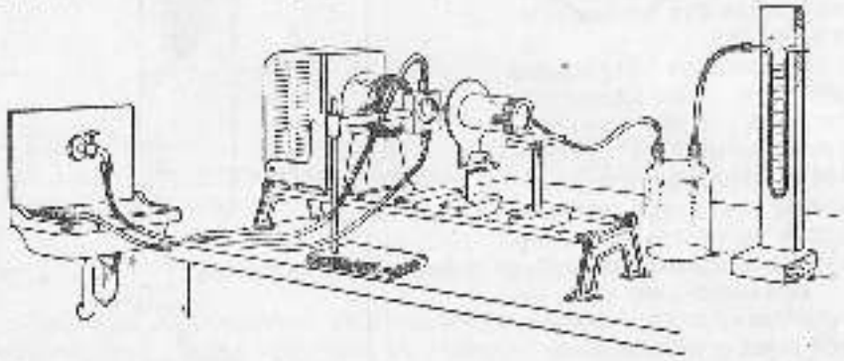


Рис. 155

мощью длинных резиновых шлангов диаметром 7—8 мм. Спроецируйте прибор на экран и покажите процесс откачки водоструйным насосом (рис. 155).

Как следует расположить приборы при проецировании для лучшей видимости манометра?

в) Покажите притяжение двух пробок в воде.

Установите на демонстрационном столе стеклянный аквариум и заполните его водой. К одной пробке с помощью нитки прикрепите

груз таких размеров, чтобы пробка плавала в воде. Вторую пробку укрепите на длинной металлической спице. За аквариумом поставьте подсвет с молочным стеклом. После того как пробка с грузом займет на поверхности воды определенное положение, образуйте с по-

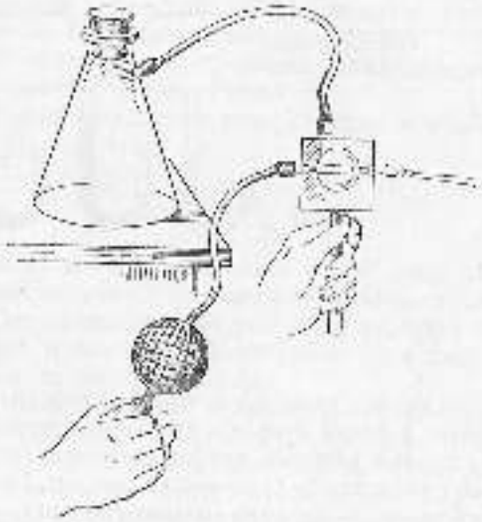


Рис. 156

мощью второй пробки движение жидкости в направлении, перпендикулярном к поверхности жидкости, и наблюдайте за положением пробки в момент образования потока жидкости.

г) Покажите действие модели насоса (рис. 145, а) с помощью дыма.

Для этого соберите установку согласно рисунку 156 (колбу наполните дымом).

д) Покажите работу пульверизатора.

Вопросы

1. Каким образом обеспечить лучшую видимость демонстраций, указанных в пунктах б, в, г?
2. Большого или малого сечения нужно взять трубу для демонстрации падения давления в трубе с одинаковым сечением?
3. В каких случаях падение давления в трубах практически незаметно?

Движение газов в трубах

Задание 9. Покажите, что в узкой части трубы статическое давление потока воздуха меньше, чем в широкой.

Воспользуйтесь для этой демонстрации установкой, изображенной на рисунке 157.

Осуществите эту демонстрацию, используя микроманометр (рис. 147). Какая из этих двух установок дает наилучший эффект?

Задание 10. Покажите демонстрации, позволяющие ввести понятие о динамическом и полном давлении.

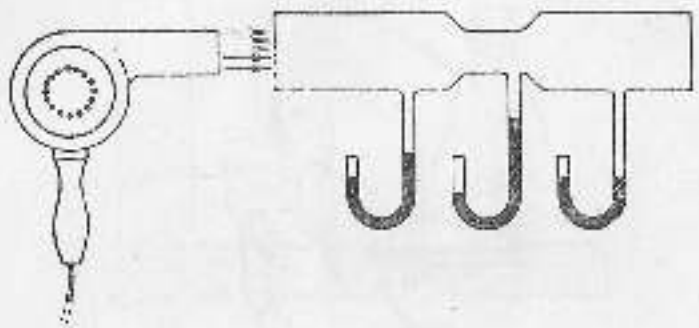


Рис. 157

Установите на столе трубу постоянного сечения. Для создания воздушного потока с одной стороны трубы установите воздуходувный прибор. С другой стороны трубы установите на штативе манометр, одно колено которого соединено с зондом. Создайте воздушный поток и отметьте показания манометра (рис. 158). Снимите с колена манометра зонд, вставьте вместо него трубку Пито и вновь отметьте показания манометра. Затем поставьте на пути воздушного

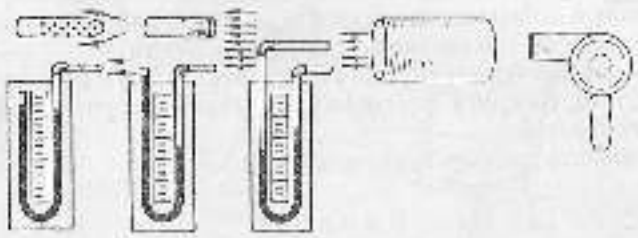


Рис. 158

потока манометр, одно колено которого соединено с зондом, а второе с трубкой Пито, и измерьте разность показаний уровней.

Задание 11. Покажите ряд частных явлений, объясняемых зависимостью давления от скорости течения газа.

Покажите притяжение двух картонных цилиндров, подвешенных на нитях, при продувании воздуха между ними.

Покажите прижимание бумажного фильтра, помещенного в воронку, при дутье через трубку воронки.

Покажите поднятие легкого бумажного кружка, лежащего на столе, если на него дуть сверху вниз через трубку, близко приставленную к кружку.

Вопросы

1. Какие условия обеспечивают наилучшую эффективность демонстраций?
2. Как на основе демонстрации, указанной в задании 10, ввести понятие о полном и динамическом давлениях?
3. В каких технических приборах используется зависимость давления от скорости течения газов?
4. Какие домашние лабораторные задания можно рекомендовать учащимся по данной теме?

Обтекание тел

Задание 12. Покажите обтекание тел в жидкости.

Для этих демонстраций используйте прибор, изображенный на рисунке 141. Ознакомьтесь с устройством прибора и соберите его (протрите чистой тряпочкой дно сосуда и проверьте правильность закрепления оси на корпусе ванны).

Установите универсальный проекционный фонарь ПФ-115 для горизонтальной проекции. На конденсор поместите прибор так, чтобы прозрачная часть ванны была хорошо освещена. В средней части стеклянного дна поместите тело в форме цилиндра и налейте в ванну воды столько, чтобы ее уровень был на 0,5—1 *мм* выше тела. Передвигая объектив, добейтесь четкого изображения профиля обтекаемого тела на экране.

Для того чтобы были видны линии тока движущейся жидкости, в воду насыпают легкие нерастворимые порошки. В качестве индикаторов линий тока можно воспользоваться мелким алюминиевым порошком, ликоподием, тертой пробкой. Эти порошки понемногу равномерно насыпают на поверхность воды между перегородкой и стенкой ванны. Можно вместо порошков влить в воду несколько кубических сантиметров раствора медного купороса и столько же раствора едкого кали. В результате реакции этих веществ выпадает мелкий темный осадок.

Выбрав определенный индикатор, приведите в медленное движение колеса с лопатками и покажите в проекции линии тока ламинарного движения.

Помещая в среднюю часть ванны тела разных форм, покажите различие в обтекании тел потоком жидкости. Какой вывод можно сделать из этой демонстрации?

После демонстрации опытов жидкость из ванны необходимо вылить, ванну и набор тел вымыть и тщательно просушить.

Вопросы

1. Какой из предложенных индикаторов дает наилучший эффект?
2. Какое тело, из имеющихся в комплекте, обладает минимальным и максимальным лобовым сопротивлением?

3. Почему следует тела устанавливать в центральной части ванны?

4. Можно ли на этой установке показать зависимость лобового сопротивления от скорости движения жидкости?

Задание 13. Покажите обтекание тел в воздухе.

Воспользуйтесь для этой демонстрации аэродинамическими весами (рис. 142).

Ознакомьтесь на приборе с устройством аэродинамических весов. Проверьте, как регулируется противодействие упругой пружины, поставьте указатель в нулевое положение.

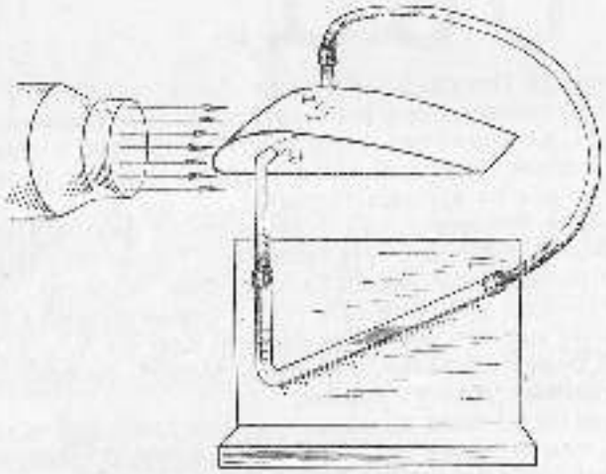


Рис. 158

Укрепите на приборе испытуемое тело и уравновесьте его. Для создания потока воздуха установите фен или аэродинамическую трубу. Воздуходувный аппарат следует включать в сеть переменного тока через реостат.

Покажите влияние формы тела на величину аэродинамического сопротивления. Для этого помещайте на аэродинамические весы последовательно тела разных форм, имеющие одинаковые лобовые площади. Каждый раз, перед тем как включать воздуходувный прибор, точно уравновесьте испытуемое тело.

Создавая над каждым телом поток одинаковой скорости, покажите зависимость аэродинамического сопротивления от формы тела.

Покажите, что величина аэродинамического сопротивления при неизменной скорости потока зависит от лобовой площади тела.

Покажите, что величина аэродинамического сопротивления при неизменной форме и сечении зависит от скорости потока воздуха.

Задание 14. Покажите, что при обтекании модели крыла самолета потоком воздуха давление над крылом меньше, чем под крылом.

Укрепите в штативе модель крыла самолета, в которое вставлены две трубки. Одна из трубок выходит на верхнюю поверхность, а вторая на нижнюю. Концы трубок соединены резиновыми шлангами с микроманометром. Легко понять, что в этом случае микроманометр будет фиксировать наличие определенной разности статических давлений (рис. 159).

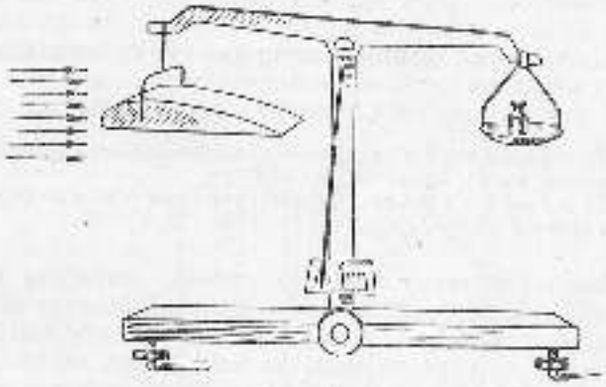


Рис. 160

На расстоянии 20 *см* от модели крыла установите горизонтально воздуходувный аппарат и покажите наличие разности статических давлений над крылом и под крылом.

Покажите, что при изменении угла атаки разность давления будет меняться.

Какой вывод можно сделать из этой демонстрации?

Задание 15. Покажите существование подъемной силы крыла самолета.

Уравновесьте на технических весах модель крыла самолета (рис. 160).

На расстоянии 20 *см* от крыла установите аэродинамическую трубу и покажите, что при обтекании крыла потоком воздуха равновесие нарушается.

Приборы и материалы

Прибор для демонстрации линий тока в жидкости; прибор для демонстрации линий тока в газе; труба постоянного сечения (с манометрическими трубками) для движения жидкости; труба переменного сечения (с манометрическими трубками) для движения жидкости; труба постоянного сечения (с манометром) для движения газов; труба переменного сечения (с манометром) для движения газов; проекционный фонарь с горизонтальной насадкой; прибор для показа в проекции обтекания тел в жидкости; аэродинамические весы; фен; аэродинамическая труба, набор тел с одинаковой

лобовой площадью для аэродинамических весов; манометр, смонтированный на панели; микроманометр; зонд к трубке Пито; технические весы; штативы; модель крыла самолета; плоское зеркало; оборотная призма; шкала для аэродинамических весов; реостат; полюс; резиновые трубки; химические зажимы; алюминиевый порошок; наждачная; пробка; краски; соединительные провода.

17. ОБОСНОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

Литература

А. А. Покровский и др., Демонстрационные опыты по молекулярной физике и теплоте, гл. II, Учпедгиз, М., 1950.

А. А. Покровский и др., Демонстрационные опыты по физике в VI—VII классах средней школы, Учпедгиз, М., 1956, стр. 79—82.

Задание 1. Покажите высокую степень делимости вещества.

Отсыпьте 0,1 *г* марганцевокислого калия и всыпьте его в воду, заполняющую сосуд в 5 *л*. Сзади сосуда поставьте белый экран или подсвет. Видна ли окраска воды во всех частях объема?

Отмерьте 1 *см*³ эфира и вылейте его на стеклянную пластинку на классном столе. Ощущается ли запах эфира в классе?

Задание 2. Обнаружьте, что молекулы не сплошь занимают весь объем тела, а разделены промежутками.

В стеклянную трубку диаметром около 1 *см* налейте до половины ее высоты воду, отметьте уровень воды резиновым кольцом. Затем долейте в трубку (до самого верха) спирт и отметьте вторым кольцом верхний уровень спирта.

Перевертывая несколько раз трубку, возможно тщательнее смешайте жидкости. Поставив трубку вертикально, покажите, что объем смеси воды и спирта меньше суммы объемов составных частей. Какой вывод можно сделать из этого опыта?

Примечание. Предостерегите учащихся от такого понимания явления, будто бы более мелкие молекулы воды распределяются между более крупными молекулами спирта подобно тому как более мелкие дробинки размещаются в промежутках между более крупными. На самом деле при смешении воды и спирта происходит соединение молекул воды в более тесные группы или ассоциации, чем это имеет место в воде до ее соприкосновения со спиртом.

Задание 3. Покажите существование сил сцепления между молекулами в твердых телах.

а) Надвигайте одну хорошо полированную стеклянную пластинку на другую, крепко прижимая их друг к другу (чтобы вытеснить воздух между ними). Держа верхнюю пластинку рукой, покажите, что нижняя пластинка удерживается верхней.

б) Тщательно очистите ножом от окислов поверхности оснований двух свинцовых цилиндров. Выравняйте эти поверхности и надвигайте их одна на другую, крепко прижимая цилиндры друг к другу. Верхний цилиндр подвесьте к штативу. На столе под цилиндрами поставьте ящик с мелким песком (чтобы ослабить удар при падении грузов) и постепенно нагружайте нижний цилиндр грузами. Покажите, что при нагрузке, превосходящей силу атмосферного давления на площадь основания цилиндров, цилиндры остаются сцепленными. Увеличивайте нагрузку до разрыва цилиндров. Величина нагрузки может дать представление о порядке величины силы сцепления при данной площади сечения цилиндров. Размер нагрузки,

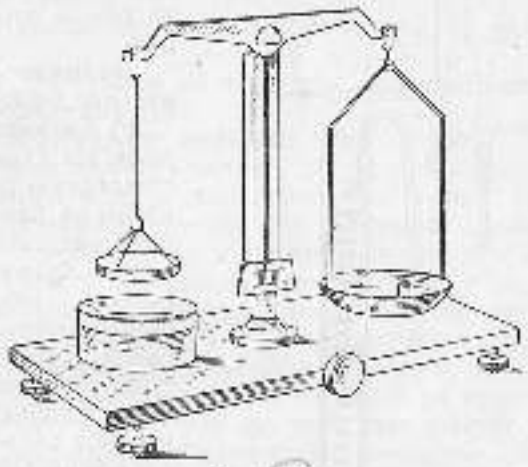


Рис. 161

разрывающей цилиндры, зависит от тщательности очистки и выравнивания соприкасающихся поверхностей.

в) Покажите сцепление на кусках воска, глины, пластилина.

Задание 4. Покажите существование сил сцепления в жидкостях.

а) Подвесьте к коромыслу весов стеклянную пластинку так, чтобы она заняла горизонтальное положение (рис. 161), и уравновесьте ее дробью или песком.

Осторожно подносите снизу стеклянный сосуд с водой до соприкосновения поверхности воды со стеклянной пластинкой. После этого осторожно опустите сосуд на заранее подготовленную подставку. Равновесие весов нарушается. Сделайте вывод о возникновении силы сцепления.

Чтобы составить представление о порядке величины этой силы, накладывайте на другую чашку весов грузы до отрыва стеклянной пластинки от воды. После отрыва пластинки поверните нижнюю поверхность ее вверх и заметьте на ней капли воды.

Сделайте выводы из демонстрации. Введите понятие о жидкости, смачивающей данное твердое тело.

б) Повторите предыдущий опыт, взяв вместо воды ртуть. После отрыва пластинки от ртути на нижней стороне пластинки нельзя обнаружить никаких следов ртути.

Сделайте соответствующие выводы и введите понятие о несмачивании жидкостью данного твердого тела.

Цинковую или медную пластинку тщательно очистите кислотой от всевозможных загрязнений и опустите в ртуть. Вынув пластинку из ртути, натрите ее суконкой. Пластинка становится блестящей. Сделайте вывод на основе этой демонстрации.

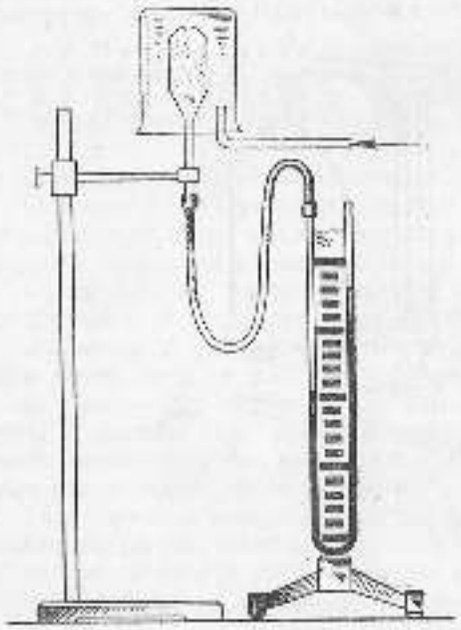


Рис. 162

Задание 5. Покажите явление диффузии в газах.

а) Свободная диффузия газов. На длинную и узкую стеклянную пластинку наклейте на равных расстояниях смоченные фенолфталеином бумажные полоски (длиной, равной ширине стеклянной пластинки, шириной около 1 *см*). Пластинку опустите в глубокий стеклянный цилиндр, который закройте пробкой с прикрепленным к ней куском ваты. Вату предварительно смочите нашатырным спиртом. Какое происходит явление и как оно может быть объяснено?

Наполните один стеклянный цилиндр углекислым газом из киппового прибора и сверху на него отверстием к отверстию поставьте другой цилиндр с воздухом. Минут через двадцать снимите верхний цилиндр, переверните его и опустите в него горящую лучину. Быстрое потухание лучины показывает присутствие углекислого газа в верхнем цилиндре.

Можно один из цилиндров наполнить светильным газом. Какой именно из цилиндров надо наполнить газом? Как держать этот цилиндр при наполнении и как обнаружить диффузию светильного газа?

б) Диффузия газа через пористые стенки сосуда. Цилиндр из пористой глины соедините с манометром (рис. 162). Наполните большой химический стакан углекислым газом из киппового прибора и опустите в него пористый сосуд. Как происходит изменение уровней жидкости в коленах манометра и какой вывод можно сделать из наблюдаемого изменения?

Вынув пористый сосуд из стакана, поставьте его на подставку. Как изменится положение жидкости в манометре и какой вывод можно сделать на этом основании?

Повторите опыт, наполняя стакан из киппового прибора водородом.

Вопросы

1. Как можно продемонстрировать свободную диффузию паров воды и паров брома?

2. Если в школе нет пористого цилиндра, то как можно его изготовить?

3. Почему для опытов по диффузии газов выбираются именно водород и углекислый газ?

Задание 6. Покажите диффузию в жидкостях.

В стеклянный цилиндр налейте до середины крепкий раствор медного купороса или двухромовокислого калия. Положите на поверхность раствора картонный или пробковый кружок, опустите на него стеклянную палочку и медленно подливайте по ней воду, чтобы не произвести преждевременного смешения жидкостей.

Отметив отчетливую границу между слоями жидкостей, поставьте цилиндр в такое место, чтобы можно было следить за изменением границы в течение дальнейшего времени, не подвергая цилиндр сотрясению. В другом таком же цилиндре произведите опыт по диффузии тех же жидкостей при иной температуре.

Задание 7. Покажите броуновское движение (демонстрация описана в работе «Виды проецирования» (стр. 111).

Приборы и материалы

Весы с коромыслом, разновес, тара; прибор Киппа для получения водорода и углекислого газа; микроскопы (с увеличением не менее 300); стеклянный сосуд на 5 *л*; трубка стеклянная диаметром около 1 *см* с пробками и резиновыми кольцами; круглая стеклянная пластинка на нитях; низкий стеклянный сосуд диаметром немного больше диаметра пластинки; две шлифованные стеклянные пластинки; два свинцовых цилиндра одинакового диаметра с крючками; закрытый сосуд из пористой глины, резиновая трубка, манометр; химический стакан, в который свободно входил бы глиняный сосуд; мензурки; воронки; пипетки; стеклянные палочки; белый экран или подсвет; зеркало для получения вертикального изображения горизонтально расположенных предметов; штативы; подставки; набор грузов; ящик с песком; кристаллы марганцевокислого калия; эфир; спирт; ртуть; нашатырный спирт; фенолфталеин; раствор серной кислоты; крепкие растворы медного купороса;

раствор двухромовокислого калия; краска гуммигут или зелень; воск; пластилин; медная цинковая пластинка; мелко нарезанная папиросная бумага; картон; вата; нож; кисточки; сухожки.

18. ПЕРЕДАЧА ТЕПЛОТЫ

В работе приводится большее число демонстраций, чем, вероятно, удалось бы осуществить их в классе за рекомендуемое программой время. Поэтому из них должен быть сделан отбор для классных демонстраций.

Литература

А. А. Покровский, А. И. Глазырин, Демонстрационные опыты по физике в VI—VII классах средней школы, Учпедгиз, М., 1954, стр. 204—216.

Е. Н. Горячкин, Методика преподавания физики в семилетней школе, т. II, Учпедгиз, М., 1948, стр. 251—269.

Конвекция

Задание 1. Покажите конвекцию в жидкости.

В колбу налейте воду (рис. 163). Опустите до дна колбы стеклянную трубку и через нее бросьте в воду кристаллик марганцовокислого калия. Зажав верхний конец трубки пальцем, осторожно выньте ее из колбы. Поставьте сзади колбы подсвет или в крайнем случае белый экран.

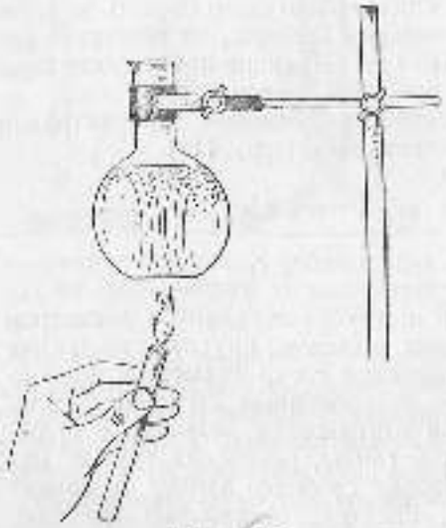


Рис. 163

Поднесите под дно колбы зажженную спиртовку или свечку (для отчетливости явления пламя необходимо малого размера).

Покажите движение окрашенных раствором марганцовокислого калия струй воды и дайте объяснение его.

Задание 2. Поясните устройство и действие системы водяного отопления.

Для демонстрации воспользуйтесь самодельной стеклянной моделью водяного отопления (рис. 164).

Заполните колбу и трубки водой и бросьте через воронку кристаллик марганцовокислого калия.

Поставьте под сетку, на которую опирается колба, спиртовку и наблюдайте за направлением движения воды.

Задание 3. Покажите нагревание тяга конвекцией.

Пропустите через змеевик, помещенный в сосуд с холодной водой, дым от дымаря и направьте его в колбу. Хорошо охлажденный дым располагается плотным слоем на дне колбы.

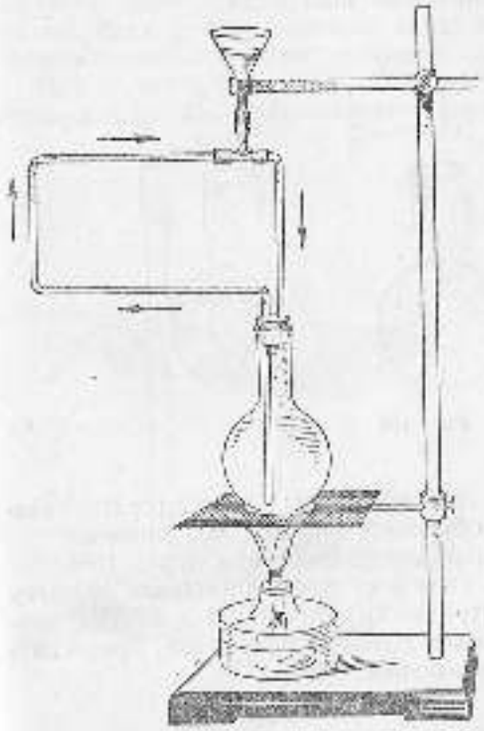


Рис. 164

Сзади колбы поставьте черный экран. Колбу осветите лампочкой с рефлектором. Под колбой поместите пламя спички или маленькой свечи и покажите струи дыма. Объясните явление.

Рис. 165

Задание 4. Покажите образование восходящего тока воздуха над горящим или накаленным телом.

На высокую подставку поставьте зажженный огарок свечи. Накройте его широкой стеклянной трубкой так, чтобы между низом трубки и подставкой оставался зазор (трубка опирается на 2—3 отдельные пластинки — стеклянные, деревянные, пробковые). К отверстию подведите дым от дымаря или горящей папиросы. Объясните наблюдаемое явление.

Задание 5. Выясните значение тяги при горении.

Поставьте стеклянную трубку вплотную на подставку. Что происходит с горением свечи?

Разделите верхний конец трубки небольшой перегородкой (рис. 166). Происходит ли теперь горение свечи?

Чтобы обнаружить движение воздуха в этом случае, образуйте дым у верхнего отверстия трубки.

Задание 6. Покажите восходящие токи воздуха над горячим телом.

а) Покажите явление в теневой проекции. В качестве источника света воспользуйтесь проекционным аппаратом.

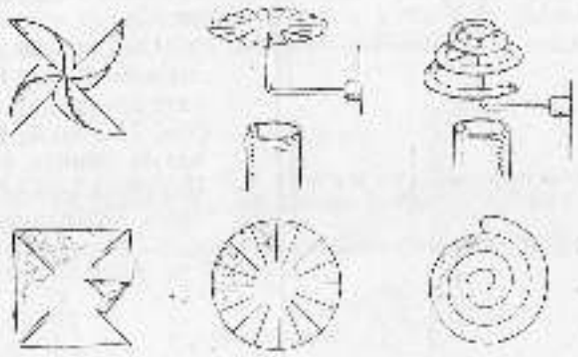


Рис. 166

б) Поместите над стеклом горящей лампы или над горящей свечой бумажную вертушку и объясните наблюдаемое явление.

Приобретите навык в изготовлении вертушек (рис. 166).

в) Проходя с зажженной спичкой от места отопления комнаты (нагретой печи, батареи центрального отопления) к слегка приоткрытой двери, ведущей в более холодное помещение, проследите за круговоротом воздуха в помещении.

Теплопроводность

Задание 7. Покажите теплопроводность в твердых телах.

Укрепите металлический стержень горизонтально. К стержню прикрепите воском или парафином на равных расстояниях бумажные полоски, оттягивая на концах небольшими гвоздями. Нагревая один конец стержня, покажите теплопроводность.

Покажите различие в теплопроводности разных твердых тел.

Задание 8. Покажите техническое использование различной теплопроводности веществ.

1) *Предохранение от возгорания непроводников при соединении их с хорошими проводниками теплоты.*

Поместите в пламя горелки бумажную ленту и покажите быстрое загорание ее. Затем такую же ленту наверните в один слой на латунный цилиндр или на другое массивное тело из хорошего проводника (края бумаги не должны выступать за металлический цилиндр). Поместите цилиндр в пламя той же горелки и покажите, что обугливание бумаги наступает через значительно больший промежуток времени, чем загорание бумаги в предыдущем опыте.

2) *Предохранение от возгорания горючего газа с помощью медной сетки.*

Соберите установку, как указано на рисунке 167. Поднесите горящую спичку сверху сетки и пустите газ. Газ горит только над сеткой. Если спичку поднести снизу сетки, газ горит под сеткой. Почему происходит такое явление?

При отсутствии газовой сети можно показать то же явление на горении пара денатурированного спирта.

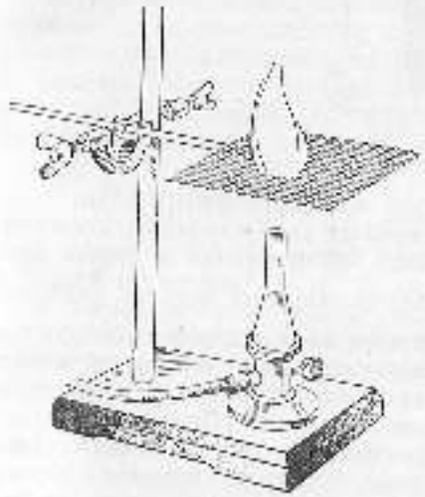


Рис. 167

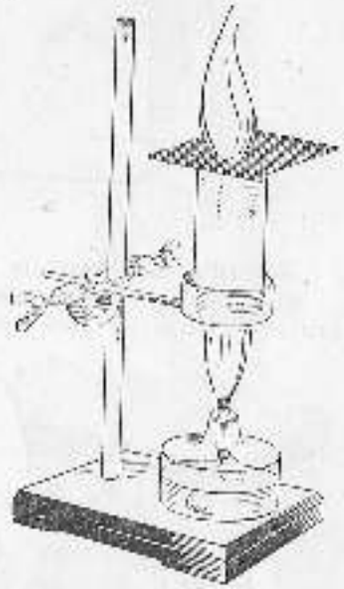


Рис. 168

В толстостенный химический стакан налейте столовую ложку денатурированного спирта. Стакан установите в железную чашку, на дно которой насыпано немного песку. Чашку поместите на кольцо штатива и под нее поставьте зажженную спиртовую горелку. Стакан закройте медной сеткой.

Когда спирт закипит, зажгите пар над сеткой (рис. 168). Пламя под сетку не распространяется.

На основании предыдущих опытов объясните устройство шахтерской лампы (модель лампы Дэви).

В большую стеклянную банку опустите несколько капель серного эфира и покройте ее куском фанеры или картона. Через небольшой промежуток времени банка наполнится паром эфира. Отодвинув крышку, осторожно опускайте внутрь сосуда модель лампы с зажженной свечой (рис. 169) и покажите, что в банке пары эфира не воспламеняются.

Выньте из банки модель замка и бросьте в нее горящую спичку — покажите вспышку паров эфира. Для прекращения горения быстро закройте сосуд фанерным или картонным листом.

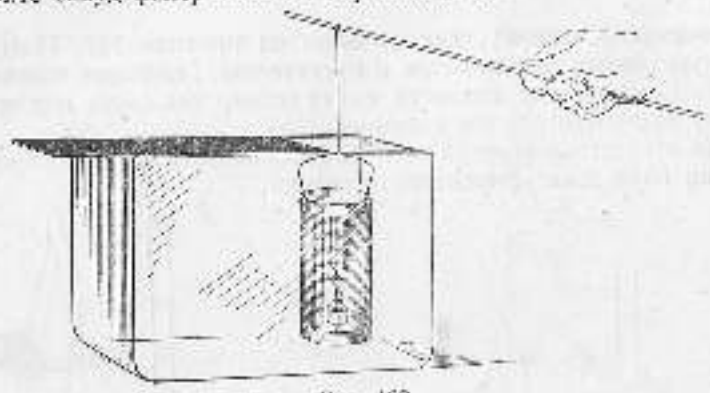


Рис. 169

Задание 9. Покажите плохую теплопроводность воды.

а) На дно пробирки поместите кусочек льда или воска, закрепите его небольшой упругой спиралькой, упирающейся в стенки пробирки. Налейте воду на $\frac{3}{4}$ объема пробирки и, держа пробирку в наклонном положении, нагревайте ее на пламени немного ниже уровня воды (рис. 170).

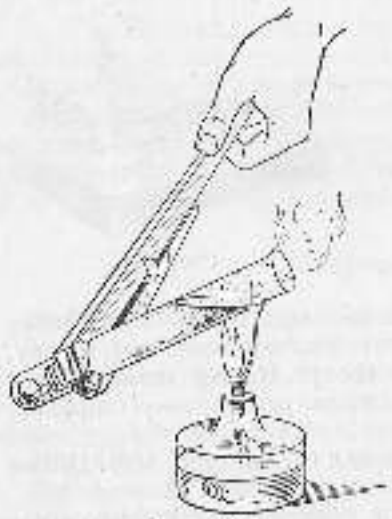


Рис. 170

Когда закипит верхний слой воды, обратите внимание на состояние льда или воска на дне пробирки. Сделайте заключение о распространении теплоты в жидкости сверху вниз.

б) Химический стакан наполните водой и поместите в нее два термометра: один — в верхний слой, другой — в нижний. Затем опустите в воду проволочную спираль и включите ее в цепь электрического тока. Поместив спираль один раз в верхний слой, другой раз (при новом заполнении водой) в нижний слой, сравните показания термометров в обоих случаях. Какой вывод можно сделать из этого опыта?

Примечание. Вместо термометров можно поместить в верхний и нижний слой до куску воска на проволоках и сравнивать быстроту их плавания.

в) Соберите установку по рисунку 171.

Нагревая колбу рукой, выгоните из нее часть воздуха. Затем в воронку налейте воду комнатной температуры в таком количестве, чтобы вода в сосуде стояла выше дна колбы приблизительно на 5 мм.

Между эфиром установите на уровне поднявшегося в трубке столбика подкрашенной жидкости.

Прикасаясь к колбе рукой через воду, покажите чувствительность прибора — протоколируйте при этом перемещение столбика.

После возвращения столбика в прежнее положение налейте на поверхность воды в воронке эфир (около 20 капель). Зажгите эфир и наблюдайте за положением столбика подкрашенной воды.

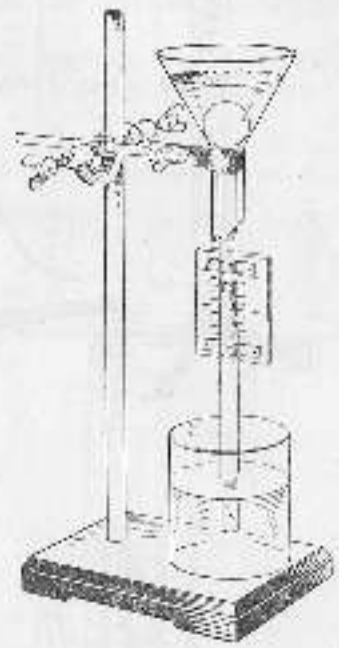


Рис. 171

Вопросы

1. Как заполнить водой модель водяного отопления?

2. Почему в демонстрации плохой теплопроводности воды нельзя нагревать пробирку выше уровня воды?

3. Какая из демонстраций восходящих токов воздуха предпочтительнее: с помощью теневой проекции или вертушки? Почему?

Лучеиспускание и лучепоглощение

Задание 10. Покажите лучеиспускание раскаленным телом.

а) Термоскоп с манометром и электрическую плитку расположите, как показано на рисунке 172. Включите плитку и покажите изменение показаний прибора.

Как на основе данного опыта ввести понятие о существовании третьего способа передачи тепла — лучеиспускания.

Изменяя реостатом ток и, следовательно, накал плитки, покажите влияние изменения накала на лучеиспускание.

б) Покажите лучеиспускание при помощи двух зеркал Пикте (рис. 173).

Поместите первое зеркало на краю демонстрационного стола так, чтобы его ось была направлена вдоль стола. Кинопроекционную лампу на 300—500 *вт* поместите в главном фокусе зеркала. Для отыскания главного фокуса направьте отраженный от зеркала свет на стену и смещением лампочки вправо, влево, вверх и вниз добей-

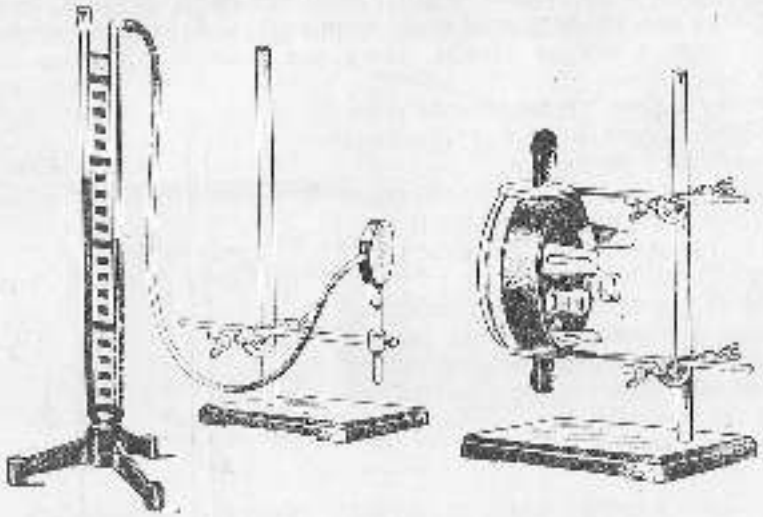


Рис. 172

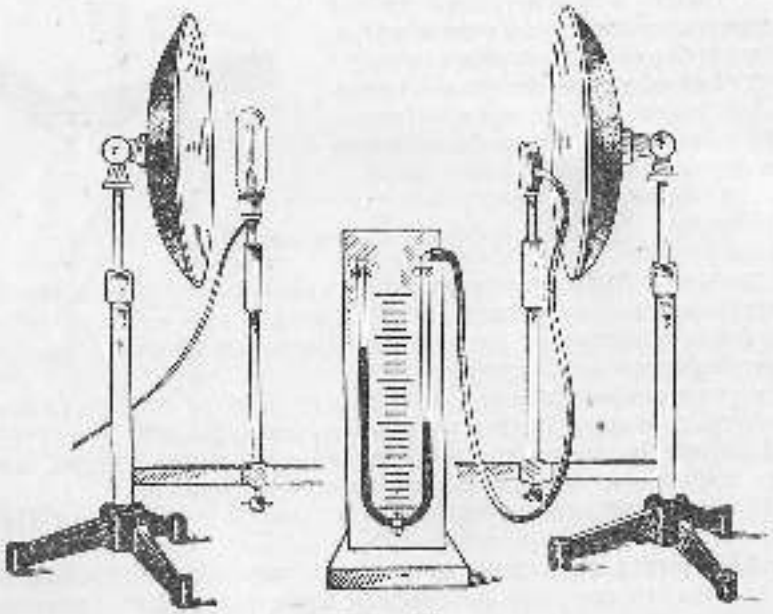


Рис. 173

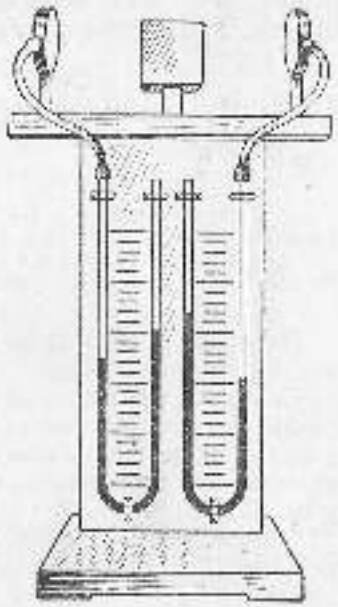


Рис. 174

чесь такого положения лампочки, при котором на стене получается ровно освещенный круг размером, приблизительно равным размеру зеркала.

Против первого зеркала поместите второе, совместив их главные оси. Найдите с помощью светового зайчика на полоске бумаги главный фокус второго зеркала.

Поместите в главный фокус второго зеркала теплоприемник, соединенный с манометром, и покажите изменение показания манометра.

Вместо термоскопа можно помещать в главный фокус кусочек кинопленки (черной и прозрачной), шарик термометра, нижний конец очень маленькой пробирки с малым количеством воды.

Задание 11. Покажите лучеиспускание нагретым, но не накаленным до свечения телом.

В электрическую плитку (рис. 172) пустите такой ток, чтобы проволока нагревалась, но не накалялась до свечения. В установке с зеркалами Пикте (рис. 173) замените электрическую лампочку гирей, нагретой на электроплитке или примусе. В остальном проведение демонстраций такое же, как описано выше.

Задание 12. Покажите, что скорость охлаждения тела от лучеиспускания зависит от свойств его поверхности.

Возьмите две одинаковые металлические консервные банки, подберите к ним крышки, через отверстие в которых вставьте термометры. Поверхность одной банки тщательно отполируйте, другой — закоптите. Влейте в каждую из них кипяток и следите за скоростью изменения температуры в обоих сосудах.

Задание 13. Покажите, что лучеиспускание и лучепоглощение зависят от свойств поверхности тела.

Куб прибора (рис. 174) имеет одну грань блестящую, противоположную — запрокрашенную. Налейте в куб кипяток и покажите различие в лучеиспускании и лучепоглощении блестящей и черной поверхностями.

Приборы и материалы

Проекционный фонарь; трансформатор; электрическая плитка; два зеркала Пикте; термоскоп с манометром Главучтехпрома; два термометра; лампа на 300—500 *вт*; тонкая проволочная спираль

для нагревания жидкости электрическим током; металлический стержень; проволоки из разных металлов; латунный цилиндр; аквариум или глубокая большая стеклянная банка; колбы на 500 $см^3$ и на 50 $см^3$; литровая бутылка; стеклянные трубки — широкая (ламповое стекло) и узкие; стеклянный тройник; стеклянная воронка; пробирки; стеклянный змеевик; тонкостенные химические стаканы; железная чашка; столовая ложка; куски резиновых трубок; пробки; сверло для пробок; штатив с кольцом и зажимами; деревянный зажим; белый и черный экраны в раме; подставки различной высоты; спиртовая горелка; дымарь; медная сетка; эфир; кристаллы марганцевокислого калия; тонкая восковая или парафиновая свеча; воск, парафин, лед; песок; спички; мелкие гвозди; бумага; кусок фанеры или картона.

19. МОЛЕКУЛЯРНЫЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТИ

Литература

А. А. Покровский и др. Демонстрационные опыты по молекулярной физике и теплоте, гл. IV, § 2, Учпедгиз, М., 1950.

А. В. Млодзеевский, Лекционные демонстрации по физике, вып. 2. Молекулярная физика и термодинамика, Гостехиздат, М., 1948.

Задание 1. Покажите существование поверхностного натяжения жидкости.

Обмакнув проволочный каркас (рис. 175, *а*) в мыльный раствор, покажите непосредственно или в проекции на экран сокращение пленки под действием поверхностного натяжения. Покажите то же явление на прямоугольнике с нитяными боковыми сторонами (рис. 175, *б*).

Задание 2. Покажите, что поверхностное натяжение действует на каждый элемент длины границы поверхности и притом равномерно.

Возьмите каркас с привязанной к нему нитью (рис. 175, *в*). Образуйте на нем мыльную пленку и проколите ее с одной стороны.

Образуйте на каркасе пленку, положите на нее нитяную петлю, предварительно смочив ее в мыльном растворе, и прорвите пленку внутри петли (рис. 175, *г*).

Какой вывод можно сделать из двух последних наблюдений?

Задание 3. Покажите, что поверхностное натяжение зависит от температуры.

Насыпьте на поверхность воды в сосуде ликоподий. Поднесите к поверхности воды какое-либо нагретое металлическое тело. Что можно при этом наблюдать?

Уберите нагретое тело. Что можно наблюдать теперь? Какой вывод из наблюдений можно сделать?

Задание 4. Покажите, что у различных жидкостей поверхностное натяжение различно.

Возьмите поплавок из проволочного кольца (рис. 176) и погрузите его в сосуд с водой. Груз подберите такой, чтобы кольцо удерживалось на уровне поверхности воды силами поверхностного натяжения.

Налейте на поверхность воды тонкий слой эфира. Какое можно наблюдать явление и чем его можно объяснить?

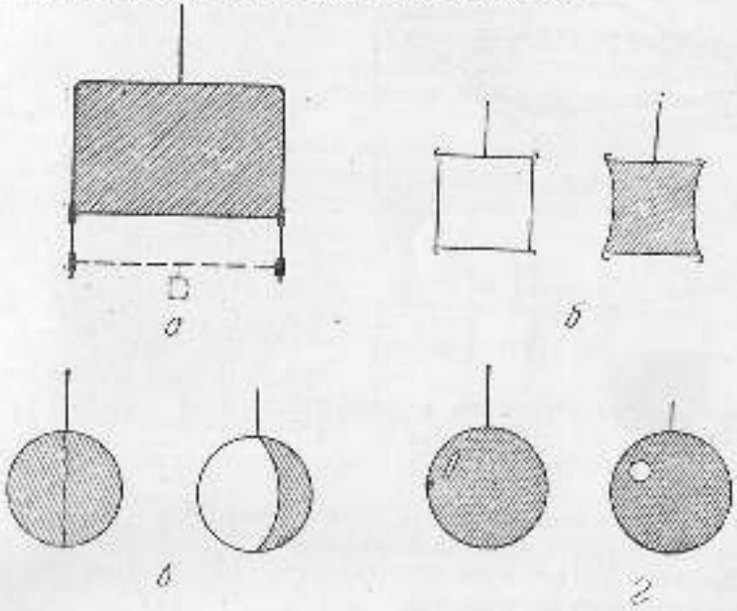


Рис. 175

Примечание. Вместо названного прибора можно взять один из ареометров, имеющихся в физическом кабинете, прикрепить к верхней части его мелкую металлическую сетку такого размера, чтобы при погружении его в воду он удерживался у поверхности, и затем повторить действия, описанные выше.

Задание 5. Покажите изменение поверхностного натяжения чистого растворителя при растворении в нем различных веществ.

Налейте в неглубокий, но широкий сосуд (например, в тарелку, эмалированную фотографическую кювету, кристаллизатор) небольшое количество чистой воды и посыпьте на ее поверхность тонкий слой ликоподия (ликоподий можно заменить маленькими кусочками дерева). Прикоснитесь к поверхности воды кусочком мыла или кончиком стеклянной палочки, смоченной мыльным раствором, и покажите изменение в расположении ликоподия.

На поверхность чистой воды накрошите камфару, покажите движение частичек камфары и объясните его.

Задание 6. Покажите изменение поверхностного натяжения жидкости при поглощении ею паров другой жидкости.

Возьмите установку предыдущих опытов. Опустите в пробирку каплю абиса и, как капле эфира испариться, переверните пробирку отверстием вниз над тонким слоем лихоподия. Покажите движение лихоподия. Повторите демонстрацию, перенеся пробирку в другое место поверхности.

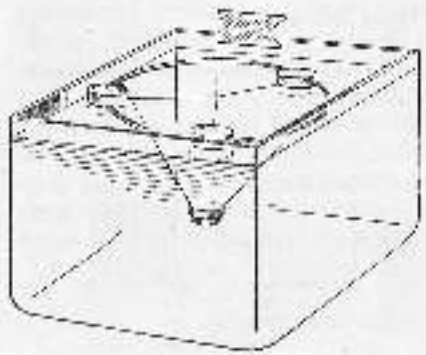


Рис. 176

Вопросы

1. Какими способами можно обеспечить наилучшую видимость для учащихся явлений, происходящих на поверхности жидкости?

2. Как можно было бы показать измерение величины поверхностного натяжения в опыте с подвижной стороной прямоугольника?

3. Какой обобщенный вывод можно сделать из всех предыдущих демонстраций?

4. От соблюдения каких условий в значительной мере зависит успех описанных в задании 5 опытов?

Задание 7. Покажите, что жидкость под действием сил сцепления принимает форму шара.

Пустите на стеклянную поверхность (часовое стекло), покрытую тонким слоем жира, капли подкрашенной воды и покажите в проекции или в отражении в плоском зеркале форму капель.

Пустите на чистую, горизонтально установленную стеклянную пластинку очень маленькие капли ртути и также покажите их форму. Сближая стеклянной палочкой две или несколько капель ртути, покажите слияние их и дайте объяснение явления на основании свойств поверхностного слоя жидкости.

В стеклянный сосуд с плоскопараллельными стенками налейте небольшое количество анилина, затем слабый раствор поваренной соли. Увеличивая концентрацию раствора соли, доведите плотность раствора до плотности анилина. Какую форму принимают частицы анилина? Под действием каких сил находятся отдельные части анилина? Покажите, что будет происходить при сближении стеклянной палочкой отдельных капель анилина?

Задание 8. Покажите образование капли.

В сосуд с плоскопараллельными стенками налейте воду, пустите на ее поверхность каплю анилина и спроецируйте ее на экран.

Прибавляя к плавающей капле новые капли из пипетки, покажите, как капля увеличивается в объеме, постепенно проплывает,

образует шейку и, наконец, отрывается. Из шейки образуется малая капля-спутник, падающая вслед за большой.

Задание 9. Покажите явление смачивания жидкостями одних твердых тел и несмачивания ими других.

Покажите прилипание к стеклянной палочке капель воды, спирта, а к цинковой — ртути (явление смачивания).

Покажите, что к засаленной стеклянной, а также к стеариновой и парафиновой палочкам не прилипают капли воды или спирта, а капли ртути не прилипают и к чистой стеклянной палочке (явление несмачивания).

Покажите, что смачивающая жидкость растекается по твердому телу, а несмачивающая — стягивается в капли. Для этого на горизонтально положенную чистую стеклянную пластинку пустите капли воды или спирта и покажите в проекции или при помощи плоского зеркала растекание жидкостей. Повторите опыт, пуская на чистую стеклянную пластинку ртуть (или воду на засаленную стеклянную пластинку), и покажите стягивание жидкости в капли.

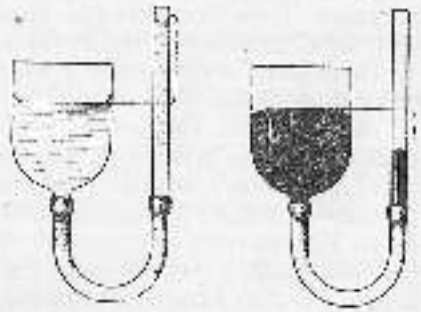


Рис. 177

Задание 10. Покажите подъем в трубке смачивающей жидкости и опускание несмачивающей.

Спроецируйте на экран стеклянный сосуд с плоскопараллельными стенками, налейте в него подкрашенную воду, опустите в воду узкую трубку и покажите различие уровней в широком сосуде и узкой трубке. Опуская в воду капиллярные трубки разных диаметров, покажите зависимость высоты подъема смачивающей жидкости от диаметра трубки.

Проецируя на экран сообщающиеся трубки, из которых одна широкая, а другая узкая, покажите понижение уровня несмачивающей жидкости в узкой трубке и повышение уровня смачивающей жидкости (рис. 177).

Заполняя по очереди трубки смачивающими жидкостями различных плотностей, покажите зависимость высоты подъема жидкости в капилляре от плотности жидкости.

Возьмите сообщающиеся сосуды, из которых один широкий, а другой капиллярный и более короткий, чем первый. Спроецируйте установку на экран и постепенно наливайте подкрашенную воду в широкий сосуд. Сначала, как известно, уровень воды в капилляре будет выше, чем в широком сосуде. Подливайте воду до тех пор, пока вода в капилляре не дойдет до его края и поверхность воды не станет горизонтальной. Как в этот момент располагаются уровни воды в обеих трубках?

Подливайте воду еще и покажите, что мениск воды в капилляре становится выпуклым, а уровень воды в широком сосуде становится выше, чем в узком.

Какое объяснение можно дать демонстрируемым явлениям? Почему качество изображений менисков на экране у наиболее узких трубок, как правило, получается невысоким?

Задание 11. Покажите явление флотации.

В пробирку насыпьте смесь угольного и железного порошков, налейте воды и прибавьте небольшое количество керосина. Взболтайте содержимое пробирки и покажите отделение металлических частиц, всплывающих кверху, от угольных, опускающихся вниз.

Задание 12. Покажите образование пены.

На дно стеклянного сосуда налейте небольшой слой мыльного раствора. Через стеклянную трубку вдувайте в него воздух (ртом или через резиновую грушу) и покажите образование пены.

Повторите тот же опыт с чистой водой и выясните условия образования пены.

Задание 13. Покажите псевдобиологические явления [1] (для внеклассных занятий или для вечера занимательной физики).

а) В установленную горизонтально стеклянную кювету или на часовое стекло большого диаметра налейте раствор азотной кислоты. Из склянки с оттянутой трубкой пустите на дно кюветы несколько капель чистой ртути и спроецируйте всю установку на экран. На дно кюветы положите в разных местах кристаллы двухромовокислого калия и покажите движение ртутной капли к кристаллу.

Если капля ртути невелика, то она как бы присасывается к кристаллу, постоянно дрожа и выбрасывая вследствие химических реакций нерастворимый осадок.

Если же она велика по сравнению с кристаллом, то она движется, гоня кристалл перед собой.

б) Спроецируйте на экран часовое стекло, укрепленное горизонтально. На него налейте 32-процентный (по объему) раствор спирта в дистиллированной воде. При помощи стеклянной палочки вводите на дно часового стекла капли анилина. Демонстрируйте деформацию капли, образование псевдоподий (ложных ножек) и поступательное движение капли.

в) Покажите так называемое «ртутное сердце». Укрепленное горизонтально часовое стекло спроецируйте на экран. В 10-процентном растворе серной кислоты растворите двухромовокислый калий в количестве 0,05 г на 10 *см*³. Эту жидкость налейте на дно часового стекла и туда же пустите каплю ртути диаметром примерно от 15 до 20 *мм*. При соприкосновении с электролитом ртуть заряжается, вследствие чего уменьшается ее поверхностное натяжение

[1] А. В. Млодзеевский. Краткий учебник по молекулярной физике, ГИТТЛ, М.—Л., 1933, стр. 122—123.

и она сплющивается под действием тяжести. К краю ртути подведите до соприкосновения конец железной проволоки, укрепленной в штативе. Ртуть, железо и раствор образуют гальваническую цепь, в которой течет ток, разряжающий каплю. При разряжении поверхностное натяжение ртути увеличивается, капля стягивается к центру и край ее отстает от проволоки. После этого капля вновь заряжается и описанное явление повторяется, как бы воспроизводя пульсацию сердца.

Вопросы

1. Какое наименьшее количество демонстраций из приведенных в работе вы считаете целесообразным показать на уроках в классе? Какие именно демонстрации вы для этого отбираете и почему?

2. Как вы думаете распределить отобранные демонстрации по отдельным урокам?

3. Можете ли вы использовать остальные демонстрации, помимо отобранных, и где именно?

4. Какие из демонстраций имеют наиболее близкое отношение к технике?

5. В каких природных явлениях обнаруживаются продемонстрированные свойства жидкости?

6. Какие методические и технические трудности вы встретили при проведении демонстраций?

Приборы и материалы

Проекционный фонарь; каркасы (рис. 175); поплавок из проволочного кольца с грузом (или ареометр с сеткой наверху); стеклянный поднос (или фотографическая кювета, кристаллизатор, тарелка); часовое стекло на деревянном или металлическом кольце; пробирки; пипетки; стеклянная пластинка; стеклянная палочка; цинковая палочка или пластинка; спиртовая горелка; штатив; наждачная бумага; железная проволока; две спицы; склянка с оттянутой стеклянной трубой и ртуть, анилин, вазелин, эфир, керосин, куски сахара, стружки камфары, пробка, мыло, ликоподий, кристаллы двухромовокислого калия, поваренная соль; растворы: мыльный, поваренной соли, азотной кислоты (20 объемов крепкой азотной кислоты на 100 объемов воды); 10-процентный (по объему) раствор серной кислоты (плотностью 1,093); 32-процентный (по объему) раствор спирта в дистиллированной воде; сосуд стеклянный с плоскопараллельными стенками; две сообщающиеся стеклянные трубки, из которых одна широкая и более длинная, другая — узкая и более короткая; набор капиллярных трубок разного диаметра; стеклянный тройник; парафиновая и стеариновая палочки и парафиновая пластинка; плоское зеркало; краска для подкрашивания воды; порошки: угольный и железный.

20. ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ТЕЛ

Особенность проведения демонстраций по электростатике состоит в том, что успех их определяется не только мастерством экспериментатора, но во многом зависит от состояния воздуха в классном помещении и состояния изолирующих частей приборов.

Отмечая состояние атмосферы, следует иметь в виду укоренившуюся неправильную точку зрения, утверждающую, что в дождливую погоду демонстрации по электростатике не получаются. Это неправильно, так как в распоряжении учителя имеется много средств борьбы с влагой, оседаемой на приборах.

На качество демонстраций вредное влияние оказывает наличие в помещении большого количества углекислоты, табачного дыма, светильного газа, а также работа различных ионизаторов (высоковольтный индуктор, электрофорная машина, горение газовой горелки и т. д.)

Наконец, многие детали приборов по электростатике выполнены из изоляторов, обладающих гигроскопичностью (стекло, дерево, шелк, бумага и т. д.). Поэтому они увлажняются и поверхностное сопротивление этих диэлектриков понижается. Кроме того, от прикосновения экспериментатора к приборам на их поверхность наносится жир, соли и грязь, также ухудшающие изоляционные качества приборов. Во многих приборах используется эбонит. При длительном воздействии света на эбонит на его поверхности образуется коричневый налет, сильно ухудшающий его изоляционные свойства.

Для успешного проведения демонстраций по электростатике необходимо выполнить следующие условия.

1. Перед прохождением темы следует все изоляторы тщательно промыть в воде с мылом и высушить.

2. Стеклянные части приборов покрыть тонким слоем шеллачного лака для уменьшения гигроскопичности изолятора.

3. До опытов классное помещение должно быть тщательно проветрено (независимо от того, дождливая или сухая в этот день погода).

4. Непосредственно перед демонстрацией необходимо осуществлять просушку приборов.

5. На палочках для электризации на одном конце следует сделать отметку, чтобы при проведении демонстраций брать руками палочки за один и тот же конец.

6. В ряде демонстраций необходимо заземление: для заземления можно пользоваться водопроводной сетью. Несколько худший результат получается при использовании для этой цели металлических труб отопительной системы. Пользоваться трубами газовой сети не следует, так как они соединяются на изолирующей замазке.

7. Руки экспериментатора должны быть чистыми и сухими.

8. При проведении демонстраций экспериментатор должен держаться на некотором расстоянии от приборов.

9. Электрические приборы следует хранить в закрытых шкафах в полной темноте.

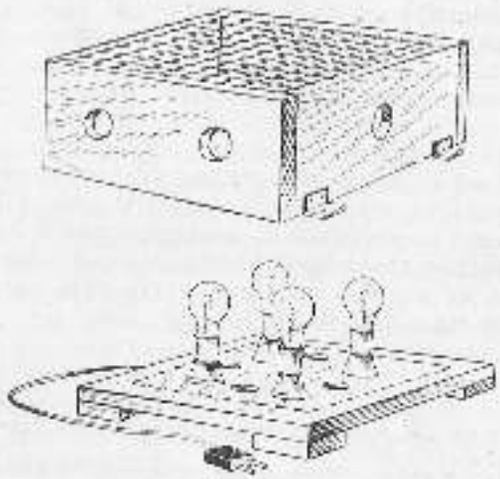


Рис. 178

Для многих демонстраций по электростатике приходится использовать в качестве источников положительных и отрицательных зарядов электрофорную машину. При работе с электрофорной машиной нужно соблюдать следующие правила.

1. Перед работой удалить с машины пыль мягкой и чистой тряпкой.

2. Проверить степень натяжения ремней и установить, что диски вращаются в противоположные стороны.

3. Съемные щетки должны едва касаться станиолевых накладок, имеющихся на дисках. Стержни этих щеток должны быть расположены под прямым углом друг к другу.

4. Если при вращении машина не возбуждается, то следует параллельно поверхности дисков поднести заряженную палочку и медленно вращать ручку машины. Если и в этом случае машина не возбуждается, то нужно просушить диски машины.

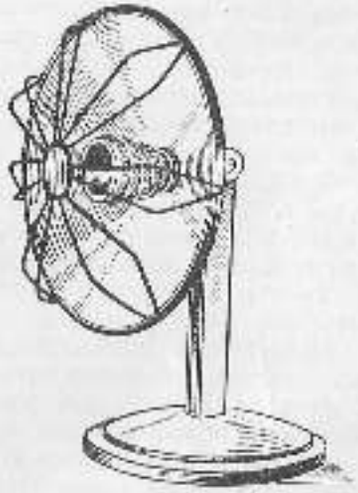


Рис. 179

5. Соблюдать осторожность: нельзя прикасаться руками к конденсаторам, не соединив их предварительно между собой.

Для всех демонстраций по электростатике на демонстрационном столе должно находиться, помимо демонстрируемых приборов, два вида тренок для подсушки приборов. Для подсушки изоляторных и металлических палочек, различных лопаток, кусочков шерсти, кожи, бумаги удобно использовать ящик, внутри которого поставлено несколько электрических ламп, соединенных между собой параллельно. Сверху ящик затянут мелкой металлической сеткой, на которую кладутся нагреваемые предметы (рис. 178).

Для подсушки электроскопов, электрометров и электрофорной машины желательно использовать отражательную печь (рис. 179).

Чтобы тела не коробились, прогревать приборы следует при температуре не выше 50—60°.

Литература

В. Н. Горячкин, Методика преподавания физики в семилетней школе, ч. 2, § 42, Учпедгиз, М., 1948.

Д. Д. Галанин и др., Физический эксперимент в школе, т. IV, § 35—36, Учпедгиз, М., 1954.

Д. И. Сахаров, Что показывает электроскоп?, «Физика в школе», 1954, № 2.

Задание 1. Покажите электризацию соприкосновением.

Во многих учебниках используется термин «электризация трением». Надо разъяснить учащимся, что, применяя натирание, мы лишь способствуем сближению двух тел. Кроме того, при трении тела нагреваются, что также содействует их электризации. Для электризации тел не надо натирать их долго. Достаточно, несильно сжимая тела, провести одним по другому 2—3 раза и быстро разъединить их.

Ход работы. Установите на подъемном столике чистое и сухое плоское стекло. Нарежьте мелкие кусочки разноцветной папиросной бумаги и разбросайте их по стеклу. Приблизьте к листочкам неэлектризованную стеклянную или эбонитовую палочку и покажите, что никакого взаимодействия между палочками и бумажками нет.

Наэлектризуйте эбонитовую палочку о мех или стеклянную палочку об амальгамированную кожу, поднесите ее к бумажкам и покажите притяжение бумажек к палочке.

Покажите возможность электризации различных тел: бургуча, парафина, металлического стержня с изолирующей ручкой и др. Покажите действие наэлектризованного тела на струю жидкости. Для этого установите на подъемном столике металлический цилиндр с отверстиями (прибор по гидростатике). Закройте спичками все отверстия в боковой поверхности, кроме нижнего. Под цилиндр на столе установите кювету для стока воды. Поднесите заряженную палочку к струе воды и покажите отклонение струи.

Как следует в этой демонстрации расположить приборы для обеспечения лучшей видимости?

Покажите, что под действием наэлектризованного тела могут прийти в движение не только легкие тела, но и тяжелые, если уменьшить силу трения. Каким образом это можно осуществить? Покажите электризацию большой металлической гири.

Задание 2. Покажите, что при натирании тел одновременно электризуются оба тела.

Возьмите эбонитовую и плексигласовую лопатки и, приближая их в отдельности к мелким бумажкам, покажите, что они не наэлектризованы. Затем натрите их одну о другую и покажите также, что каждая из них наэлектризовалась.

Можно ли показать данный опыт с помощью стеклянной палочки и амальгамированной кожи?

Задание 3. Покажите, что на электризуемых трением телах получаются одинаковые по величине и противоположные по знаку заряды.

Натрите плексигласовую и эбонитовую лопатки друг о друга и без разделения одной от другой поднесите их к бумажкам торцовой стороной. В этом случае лопатки не должны притягивать бумажек.

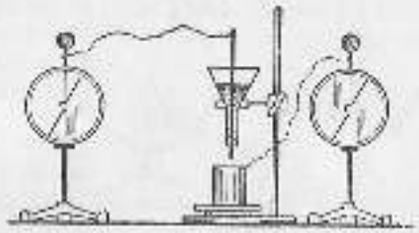


Рис. 180

Какой вывод можно сделать из этой демонстрации? Как обеспечить лучшую видимость демонстрации?

Задание 4. Покажите, что электризацию можно осуществить прикосновением неэлектризованного тела к наэлектризованному.

Наэлектризованной палочкой прикоснитесь к бумажному конусу, подвешенному на шелковой нити. Поднесите конус к бумажкам и обнаружьте притяжение.

Задание 5. Покажите, что на одно и то же заряженное тело различные наэлектризованные тела производят неодинаковое действие.

Наэлектризуйте соприкосновением электрический маятник. К маятнику подносите по очереди наэлектризованные стеклянную и эбонитовую палочки и наблюдайте их действие на маятник.

Задание 6. Покажите взаимодействие разнородно и однородно наэлектризованных тел с помощью двух электрических маятников.

Чем отличается эта демонстрация от демонстрации с лопатками? Может ли эта демонстрация заменить демонстрацию с лопатками?

Задание 7. Покажите применение электрометра для обнаружения наэлектризованности тела.

Соберите установку согласно рисунку 180. В стеклянную воронку, в которую вставлен металлический стержень, насыпьте

теек. Под воронку поставьте металлическую чашку на изолирующей подставке. Соедините проволоками один электрометр со стержнем, а другой — с металлической чашкой. По мере высыпания песка отмечайте показания электрометров и определите знаки зарядов песка и стержня.

Что непосредственно измеряет электрометр? В каких случаях показания электрометра позволяют судить о величине заряда?

Задание 8. Покажите различную электропроводность веществ.

На столе установите два электрометра. Зарядите один из электрометров. Соедините заряженный электрометр с другим, незаряженным электрометром железным стержнем, снабженным изолирующей ручкой. Покажите изменение показаний электрометров.

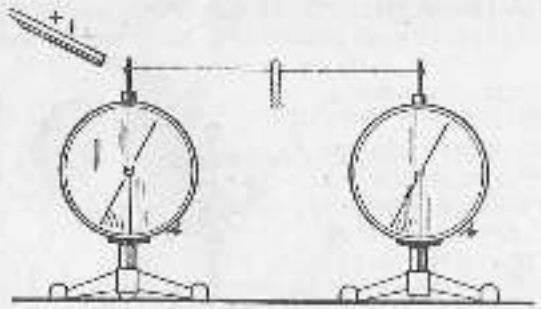


Рис. 181

Повторите опыт в той же последовательности, соединяя электрометры стержнями из различных материалов. Для изоляции можно использовать резиновую перчатку.

Как можно изменить последовательность проведения этой демонстрации?

Как изменятся показания двух электрометров, заряженных одинаково по величине и знаку, если их соединить металлическим разрядником?

Задание 9. Покажите явление электризации через влияние.

Два электрометра соедините между собой металлической палочкой с изолирующей ручкой (рис. 181). Поднесите к одному электрометру наэлектризованное тело, а затем удалите его, наблюдая за показаниями электрометров.

Поднесите заряженное тело к шарику одного из электрометров и, когда листочки обоих электрометров разойдутся на некоторый угол, в присутствии влияющего тела снимите металлическую палочку. Заряды на электрометрах должны сохраниться.

Исследуйте знак и величину зарядов на электрометрах. Для этого подвесите сверху заряженных электрометров наэлектризованную палочку (знак заряда которой заранее известен) и убедитесь, что показания одного будут убывать, а другого — возрастать. После этого вновь соедините электрометры разрядником и покажите взаимную нейтрализацию наведенных зарядов.

Вопросы

1. Чем объяснить, что когда удаляется влияющее тело от электрометра, то листочки сперва опадают, а затем снова расходятся?

2. Как на основе этой демонстрации правильно истолковать сущность электризации через влияние?

3. Как с помощью электризации через влияние наэлектризовать электроскоп?

4. Как с помощью электризации через влияние определить знак неизвестного заряда?

Задание 10. Покажите электростатическое экранирование.

Установите на стержне электрометра полый металлический шар. Приблизьте к этому шару наэлектризованную палочку или другой заряженный шар и покажите отклонение листочков электрометра вследствие электризации через влияние.

Повторите опыт, поставив между электрометром и наэлектризованной палочкой заземленный металлический лист (рис. 182).

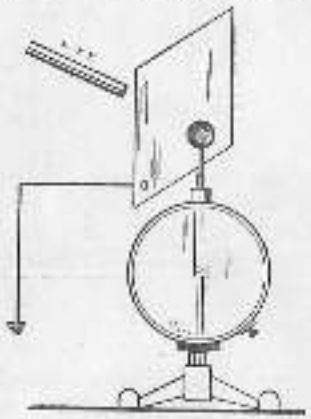


Рис. 182

Задание 11. Покажите опыты с электрофорной машиной.

Проверьте исправность машины. Покажите искру между кондукторами при выключенных и включенных лейденских банках.

Сравните эффект разряда при наличии света и в затемненном помещении.

Покажите зажигание искрой (иллюстрация удара молнии). Установите металлический лист в форме крыши на картонной модели домика и соедините лист с одним из кондукторов электрофорной машины. На расстоянии нескольких сантиметров от «крыши» укрепите на изолирующем штативе небольшой лист жести (заряженное «облако») и соедините его с другим кондуктором. На крыше укрепите ватку, смоченную эфиром. Приведите во вращение машину и покажите воспламенение ватки.

Покажите принцип действия молниеотвода. В предыдущей установке укрепите в изолирующем штативе отрезок проволоки, направленный вертикально вверх и соединенный проводником с крышей и с заземлением. Приведите во вращение машину и покажите, что в этом случае ватка не загорается.

Задание 12. Покажите распределение зарядов на проводнике.

Установите сетку Кольбе (гибкую сетку с бумажными лепестками) в выпрямленном виде и соедините ее с одним из кондукторов электрофорной машины или зарядите от наэлектризованной палочки. Изгибая сетку различными способами, наблюдайте за положением бумажных листочков.

Установите на изолирующей подставке цилиндр из металлической сетки. К наружной и внутренней поверхностям цилиндра приклеены легкие бумажки.

Сообщите сетке заряд от электрофорной машины и покажите, что наружные листочки отклонились, а все внутренние остались в прежнем положении.

Какая из двух демонстраций более эффективна? Какие необходимы условия для успеха демонстраций? Можно ли с помощью

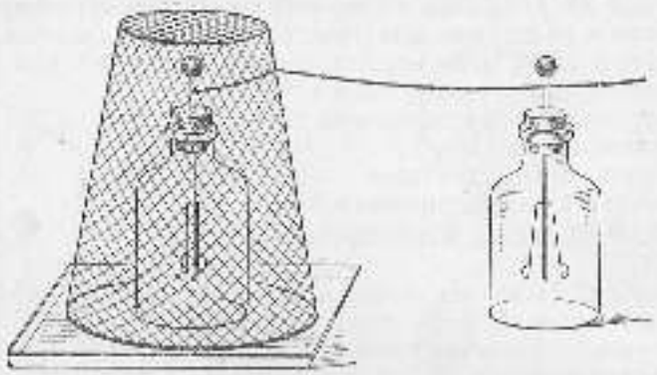


Рис. 183

установки, изображенной на рисунке 183, доказать, что на внутренней поверхности заряженного металлического цилиндра нет заряда?

Задание 13. Покажите способ Фарадея передачи всего заряда, имеющегося на проводящем теле, полому проводнику.

Возьмите электрометр и укрепите на нем диск. На плоскости диска поместите металлический цилиндр (калориметр). Возьмите заряженный шарик (диаметр которого меньше диаметра цилиндра) на изолирующей подставке и коснитесь одной части цилиндра. Покажите, что в этом случае лишь часть заряда шарика перешла на цилиндр. Разрядите электрометр и покажите, что при касании заряженным шариком внутренней поверхности цилиндра весь заряд передается цилиндру.

Как можно видоизменить постановку этой демонстрации?

Задание 14. Покажите, что плотность зарядов на поверхности зависит от формы проводника.

Зарядите проводник с выступающим и внутренним конусами от электрофорной машины. Касаясь пробным шариком различных участков кондуктора и перенося каждый раз заряд на электрометр, покажите, что заряды на поверхности проводника распределены неравномерно.

Почему в этой демонстрации по углу отклонения листочков электрометра можно судить о величине заряда? Какие необходимы условия для получения лучшего эффекта демонстрации? Какими еще способами (без электрометра) можно показать распределение зарядов на проводнике?

Покажите «стекание» электричества с острия на франклиновом колесе. Установите на изолирующей подставке франклиново колесо (рис. 184). Ось колеса соедините с одним из кондукторов электрофорной машины, второй кондуктор машины заземлите. Приведите во вращение диски машины и покажите вращение колеса. Покажите в затемненном помещении свечение острых концов колеса.

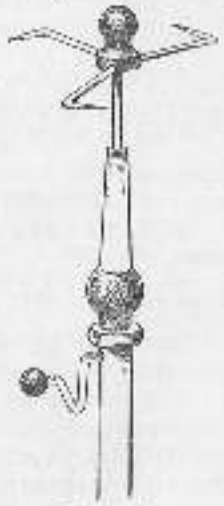


Рис. 184

Для того чтобы объяснить процесс «стекания» электричества с острия, следует показать демонстрацию, объясняющую механизм этого явления. Зарядите электрометр, поднесите к его шарику на некотором расстоянии зажженную свечу или газовую горелку и покажите, что электрометр разряжается в силу ионизации воздуха пламенем. После этого покажите, что ионизация воздуха наблюдается, если к заряженному электрометру поднести вращающееся франклиново колесо.

Вопросы

1. Какие эксперименты по данной теме можно рекомендовать учащимся выполнить дома?

2. Какие демонстрации по этой теме следует поставить на внеклассных занятиях?

Приборы и материалы

Стеклянная и эбонитовая палочки; сукно, мех, ахальгинированная кожа; стеклянная, эбонитовая и металлическая пластинки с изолирующими ручками; два электростатических маятника (гильзы, подвешенные на шелковых нитях); электрометры и электроскопы разных типов; мелкие кусочки папиросной бумаги; стекло, сургуч, парафин, песок; сушилка или отражательная печь; воронка, изолирующая скамейка; наковальня, тиски, деревянный ящик, доска; франклиново колесо.

21. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

В курсе физики средней школы электрическое поле часто трактуется формально и не усваивается учащимися должным образом. Между тем понятие поля имеет важнейшее значение для правильного понимания сущности многих физических явлений и для формирования у учащихся материалистического мировоззрения.

Формирование этого сложного для учащихся понятия обеспечивается определенной последовательностью целого ряда демонстраций и последующим правильным использованием их.

Литература

Р. В. Телеснин. Лекционные демонстрации по физике, вып. 6. Госстехиздат, М., 1962.

Д. Д. Галанин и др., Физический эксперимент в школе, т. 4, § 37, 40, Учпедгиз, М., 1954.

Задание 1. Покажите, что вокруг заряженного тела существует электрическое поле.

Установите на демонстрационном столе металлический шар на изолирующей подставке и соедините его с одним из кондукторов электрофорной машины. На некотором расстоянии от шара поместите электрометр. Сообщите шару сперва положительный, а затем отрицательный заряды и покажите, что под действием поля стрелка электрометра в обоих случаях отклоняется от первоначального положения.

Какой вывод следует сделать из этой демонстрации?

Задание 2. Покажите расположение силовых линий электрического поля.

Установите бумажный султан на изолирующей подставке и соедините его сначала с одним, а затем с другим кондуктором электрофорной машины. Сообщите султану электрические заряды и покажите в обоих случаях расположение бумажных полосок.

Покажите с помощью бумажных султанов расположение силовых линий электрического поля, образованного двумя точечными разноименными и одноименными зарядами (рис. 185).

Установите параллельно друг другу на расстоянии 20—25 *см* один от другого два прямоугольных каркаса, обтянутых металлической сеткой, к которой приклеены бумажные полоски.

Соедините каркасы с кондукторами электрофорной машины и покажите расположение силовых линий в однородном поле.

Как влияет на проведение этих демонстраций наличие вблизи султанов металлических тел? Какой имеется недостаток в демонстрациях с использованием султанов?

Задание 3. Покажите силовые линии электрического поля с помощью теневой проекции.

На пластинку из стекла наклейте электроды из алюминиевой фольги. Изготовьте пластинки со следующими электродами: один кружок, два кружка, две полоски.

Установите пластинку на столике для теневой проекции и соедините электроды с кондукторами электрофорной машины (проводники к электродам можно присоединять с помощью пластилина).

Медленно вращая ручку электрофорной машины, посыпайте на пластинку одинаковые по длине кусочки конского волоса и покажите в теневой проекции расположение силовых линий различных полей.

Сравните два предложенных способа показа силовых линий.

Задание 4. Покажите движение легких частичек рапсы вдоль силовых линий электрического поля.

Установите на изолирующей подставке шар, который соединен проводником с одним из кондукторов электрофорной машины. Второй кондуктор заземлите.

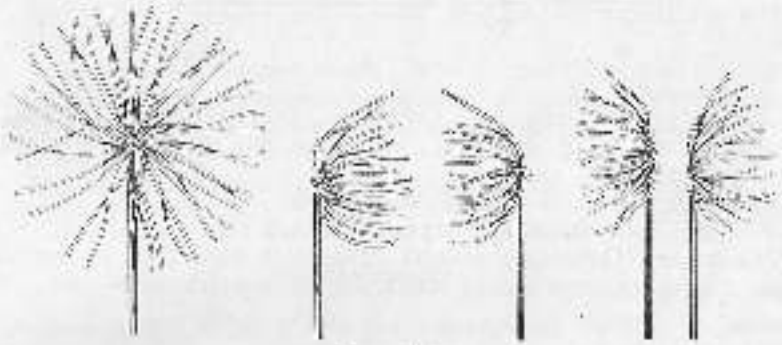


Рис. 185

Шар должен находиться на расстоянии 1,5—2 *м* от кондуктора электрофорной машины. Медленно вращая машину, посыпайте сверху на шаровой проводник распущенные семена рапсы и покажите характер движения этих легких частичек.

С помощью двух шаровых проводников, заряженных одноименными и разноименными зарядами, покажите характер движения частичек в поле, созданном двумя заряженными телами.

Задание 5. Покажите, что поверхность заряженного проводника представляет собой одну из эквипотенциальных поверхностей (рис. 186).

Проводник с выступающим и вогнутым конусами установите на изолирующей подставке и соедините с кондуктором электрофорной машины. На расстоянии не менее 1 *м* от проводника поместите электрометр, корпус которого заземлите.

Стержень электрометра соедините длинной гибкой проволокой с пробным шариком, снабженным изолирующей ручкой. Перемещая пробный шарик по поверхности заряженного проводника, покажите, что потенциал всех точек проводника одинаков.

Как получить наилучший эффект в этой демонстрации? Чем принципиально отличается эта демонстрация от демонстрации

обнаруживающей зависимость поверхностной плотности электричества от кривизны проводника?

Задание 6. Покажите, что, чем больше заряд проводника, тем выше его потенциал.

Установите полый металлический цилиндр на изолирующей подставке и соедините его проволокой с шариком электрометра,

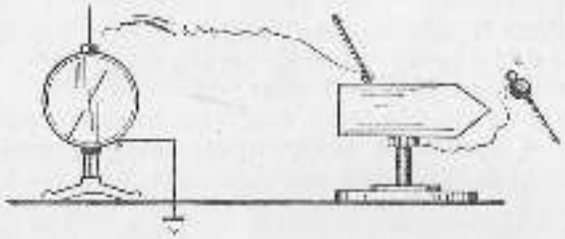


Рис. 186

корпус которого заземлен. Сообщая последовательно цилиндру заряды, равные q, $2q$, $3q$ и т. д., покажите, как меняются показания электрометра.

Сделайте вывод из этой демонстрации.

Как сообщить цилиндру заряд, кратный заряду q?

Задание 7. Покажите способ измерения величины потенциала точки электрического поля с помощью пламенного зонда (рис. 187).

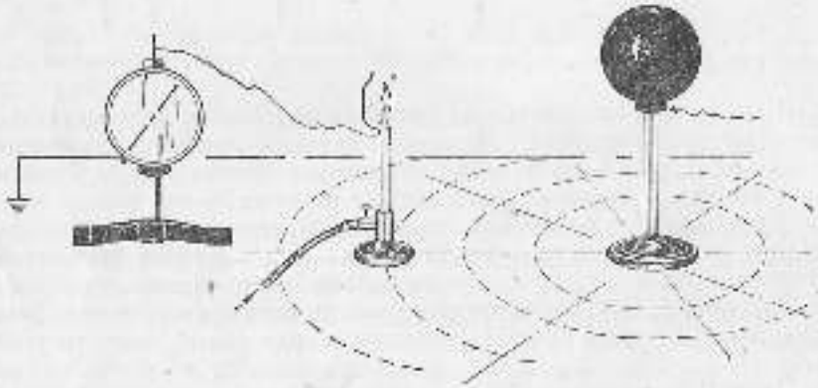


Рис. 187

Зарядите от электрофорной машины большой металлический шар, укрепленный на изолирующей подставке. На расстоянии 1,5—2 м от заряженного шара установите электрометр, корпус которого заземлите. К шарику электрометра прикрепите конец длинной проволоки, второй конец которой введите в пламя газовой горелки или свечи (для изоляции проволоки от корпуса горелки ее следует обмотать вокруг стеклянной трубочки, насаженной на

горелку). Пламя свечи или горелки должно быть не выше 8—10 см (пламенный зонд).

Вокруг шара на столе начертите мелом концентрические окружности, являющиеся сечениями эквипотенциальных поверхностей шарового проводника (рис. 187).

Измеряя потенциал в точках, расположенных по радиусу окружностей, покажите, что с увеличением расстояния потенциал точек поля убывает.

Покажите, что потенциалы точек поля, удаленных на одинаковое расстояние от центра заряженного шара, равны между собой.

Вопросы

1. Почему не следует пламенный зонд близко подносить к заряженному шару?
2. Какую роль в демонстрации играет пламя свечи или горелки?
3. Как в этой демонстрации можно показать (качественно), что потенциал точки поля зависит от величины заряда, возбуждающего поле.
4. Почему в демонстрации рекомендуется взять небольшое пламя?

Электроемкость

Задание 8. Покажите, что два проводника разных размеров приобретают разные потенциалы, если их сообщить одинаковые заряды.

Установите на изолирующих подставках два полых проводящих цилиндра разных размеров и каждый из них соедините проволокой

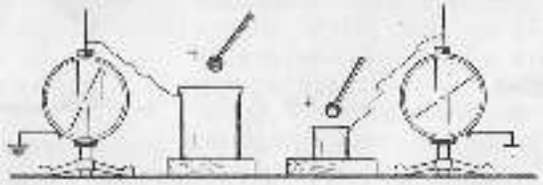


Рис. 188

с шариками двух электрометров, корпусы которых заземлены (рис. 188).

Возьмите два одинаковых пластика на изолирующих ручках и одинаково зарядите их от электрофорной машины. Затем коснитесь ими внутренних стенок цилиндров. Убедитесь, что проводники приобретают неодинаковые потенциалы.

Задание 9. Покажите, что проводники разных размеров приобретают одинаковые потенциалы при разных по величине зарядах. Для демонстрации воспользуйтесь предыдущей установкой.

Как на основе этих опытов ввести понятие об электроемкости? От чего зависит успех в проведении этих демонстраций?

Задание 10. Покажите, что электроемкость тела зависит от его геометрических размеров.

Первый способ. На стержень электрометра, корпус которого заземлен, укрепите металлический диск. На диске установите складной картонный цилиндр (гармошку), оклеенный станиолем и снабженный в верхней части изолирующей ручкой (рис. 189).

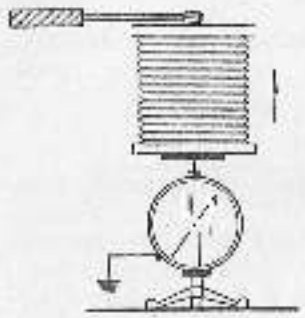


Рис. 189

Сообщите цилиндру некоторый заряд от электрофорной машины и, изменяя размер тела (растягивая или сжимая гармошку), наблюдайте за показаниями электрометра.

От каких условий зависит успех этой демонстрации?

Второй способ. Возьмите два шаровых или цилиндрических проводника, резко отличающихся своими размерами, и установите их на изолирующих подставках. Соедините проводники разрядником и зарядите их от электрофорной машины, после чего разрядник уберите.

Установите сначала один заряженный проводник на расстоянии 5—10 *см* от металлического диска, укрепленного и штативе и заземленного. Между диском и заряженным телом поместите легкий шарик, сделанный из алюминиевой фольги и подвешенный на шелковой нити длиной 50—70 *см* (рис. 190). Шарик должен прийти в колебательное движение, поочередно касаясь заряженного проводника и заземленного диска. Подсчитайте число колебаний маятника.

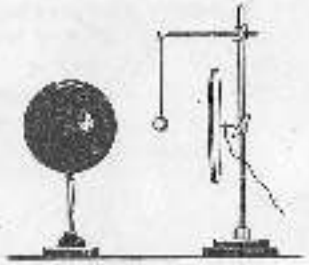


Рис. 190

Аналогичным образом проделайте опыт с другим наэлектризованным проводником, вновь подсчитайте число полных колебаний маятника и сравните его с числом колебаний в предыдущем опыте.

Вопросы

1. Почему маятник приходит в колебание?
2. Когда прекращается колебание маятника?
3. Какой вывод можно сделать из этой демонстрации?
4. Какой из двух предложенных способов является более эффективным?

Задание 11. Покажите (качественно) зависимость емкости плоского конденсатора от расстояния между обкладками, диэлектрической проницаемости вещества между пластинами и площади проводящих пластин.

Установите на столе раздвижной конденсатор. Неподвижную пластину конденсатора соедините проволокой с шариком электрометра, а подвижную пластину и корпус электрометра заземлите (рис. 191).

Зарядите неподвижную пластину конденсатора и отметьте показания электрометра. Изменяя расстояние между пластинами

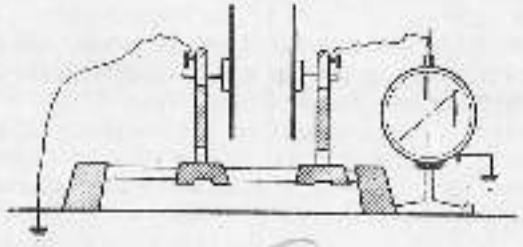


Рис. 191

конденсатора, покажите, как будут изменяться показания электрометра.

Оставив расстояние между пластинами неизменным, поместайте между ними различные диэлектрики (эбонит, стекло, воск) и покажите изменение показаний электрометра.

Покажите зависимость емкости конденсатора от площади пластин при неизменном расстоянии пластин и постоянной диэлектрической проницаемости.

Сделайте общий вывод из последних трех демонстраций. Как целесообразнее соединять подвижную пластину: с землей или же с корпусом электрометра?

Приборы и материалы

Электрофорная машина; раздвижной конденсатор; два бумажных султана; два цилиндрических проводника; два электрометра; проводник в форме цилиндра и конуса; пробный шарик; два цилиндра разных размеров; изолирующие подставки; пластинки из разных диэлектриков, подъемные столики, соединительные провода.

22. ЗАКОН ОМА

Закон Ома — основа для изучения сущности электрического тока и для электротехнических расчетов. В средней школе он изучается дважды: закон для участка цепи изучается на первом этапе средней школы и для полной цепи — на втором этапе.

В обоих случаях закон должен быть получен экспериментально: или на фронтальной лабораторной работе учащихся, или на классной демонстрации.

Основная задача демонстрации закона Ома для участка цепи состоит в выборе источника тока. Каков бы ни был выбранный участок цепи, он входит в состав полной цепи, другую составную часть которой образует источник тока. Изменение напряжения на участке связано с изменением напряжения источника и, следовательно, с изменением его внутреннего сопротивления и полного сопротивления цепи.

Для того чтобы исключить влияние на вывод закона этого последнего обстоятельства, в первом варианте демонстрации рекомендуется брать напряжение от потенциометра.

Но применение потенциометра на первом этапе обучения непонятно учащимся. Это заставляет дать и другие варианты цепей, в которых изменение полного сопротивления цепи не оказывает заметного влияния на результат.

Литература

В. В. Бронфман и А. А. Пинский, Изучение закона Ома в VII классе, «Физика в школе», 1958, № 5.

Е. Я. Минченков, Постоянный электрический ток в X классе, «Физика в школе», 1955, № 4.

Б. И. Переверзев, Опыты при изучении закона Ома, «Физика в школе», 1953, № 4.

Л. И. Стрелин, Демонстрация закона Ома для полной цепи, «Физика в школе», 1947, № 1.

Н. А. Соколов, Сопротивление. Закон Ома, «Физика в школе», 1947, № 4.

Задание 1. Проиллюстрируйте закон Ома для участка цепи.

1-й вариант. Замкните батарею аккумуляторов через потенциометр. Составьте цепь из сопротивления, амперметра и вольтметра (рис. 192). Изменяя напряжение на избранном участке цепи при помощи потенциометра, измеряйте для каждого напряжения ток в цепи, занесите в таблицу значения напряжения U и тока I и сравните для всех измерений величину $\frac{U}{I}$. Из сравнения результатов можно сделать соответствующий вывод.

Таблица 1

Напряжение U	Ток I	Отношение $\frac{U}{I}$

2-й вариант. В качестве источника тока воспользуйтесь батареей аккумуляторов, последовательно включая один, два, три и т. д. аккумулятора. Внутреннее сопротивление аккумулятора

практически не влияет на величину тока даже при внешнем сопротивлении 1—2 *ом*. Подводящие провода должны иметь сопротивление значительно меньше сопротивления исследуемого участка цепи. Следует обеспечить хороший контакт проводов. Измерения производятся так же, как и в первом варианте.

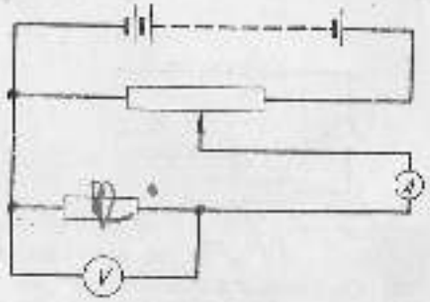


Рис. 192

3-й вариант. Источником тока служит газотронный выпрямитель с автотрансформатором, включенный в осветительную сеть. Непосредственно к зажиму щита подключите балластное сопротивление, которое может быть рассматриваемо как внутреннее сопротивление источника тока. Балластное сопротивление предохраняет приборы от порчи при случайном коротком замыкании и позволяет плавно менять напряжение в достаточно широких пределах. Последовательно балластному сопротивлению включите исследуемое сопротивление и амперметр. Параллельно участку цепи присоедините вольтметр. Включив ток и плавно поворачивая ручку автотрансформатора, получите на участке цепи различные напряжения и произведите те же измерения, что и в первом варианте.

Задание 2. Покажите проверку соотношения между током и сопротивлением участка цепи при неизменном напряжении.

Возьмите установку одного из предыдущих вариантов. Включайте в участок цепи различные сопротивления. Поддерживая на участке цепи одно и то же напряжение, измерьте для каждого проводника ток в цепи, заполните данными измерений таблицу 2 и сделайте вывод из полученных вычислений.

Таблица 2

Сопротивление R	Ток I	Произведение IR

Задание 3. Покажите, что напряжение между полюсами источника тока увеличивается по мере увеличения внешнего сопротивления.

Составьте цепь из источника тока (одного элемента или батареи их), реостата с подвижным контактом, амперметра, ключа. К полюсам источника присоедините вольтметр.

Рассчитайте сопротивление, при котором показатель нешунтированного амперметра установится близко к предельному зна-

ческие шкалы. Включите сопротивление в цепь и отметьте ток и напряжение.

Постепенно увеличивайте внешнее сопротивление и запишите показания амперметра и вольтметра. Наконец, разомкните цепь и отметьте показания приборов.

Рис. 193

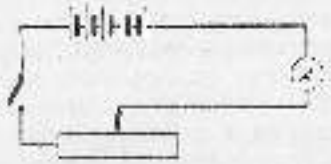


Рис. 194

√ ***Задание 4.*** Покажите, что э. д. с. элемента не зависит от размера элемента (сравните задание 7 работы «Химические источники тока»).

Измерьте вольтметром напряжение между полюсами незамкнутых элементов одного и того же типа (например, Грене), но разных размеров или, присоединив вольтметр к полюсам незамкнутого элемента, поднимайте пластины элемента из электролита и наблюдайте за показаниями вольтметра.

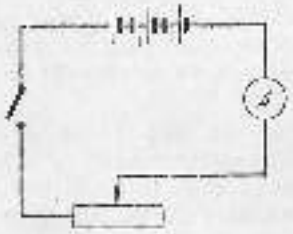


Рис. 195

√ ***Задание 5.*** Покажите существование внутреннего сопротивления элемента.

Составьте цепь из гальванического элемента, выключателя, реостата и амперметра. Замкните цепь и отметьте показания амперметра. Сближая (или удаляя) пластины элемента или поднимая их из электролита (или опуская их глубже), покажите изменение тока при изменении положения пластин.

Задание 6. Покажите, что при последовательном соединении однотипных элементов в батарею $E_{\text{эл}} = \Sigma E$, а при параллельном $E_{\text{пар}} = E$, где E — э. д. с. одного элемента.

√ ***Задание 7.*** Покажите пропорциональность между током и э. д. с. источника при одном и том же полном сопротивлении цепи.

Составьте цепь из пяти одинаковых сухих элементов (с измеренной э. д. с.), выключателя, реостата, амперметра (рис. 193). Замкнув цепь, измерьте ток I_3.

Включите один из элементов так, чтобы его э. д. с. была противоположно направлена э. д. с. других элементов (рис. 194). Получив таким образом э. д. с. батареи $E_3 = 3E$, замкните цепь и измерьте ток I_2. Таким же образом составьте батарею с э. д. с. $E_1 = E$, замкните цепь и измерьте ток I_1 (рис. 195).

Найдите отношения $I_3 : I_2 : I_1$, сравните их с отношениями $E_3 : E_2 : E_1 = 5 : 3 : 1$ и из сравнения сделайте выводы относительно зависимости тока от э. д. с. при одном и том же полном сопротивлении цепи. Результаты измерений запишите в таблицу 3.

Таблица 3

Э. д. с. E	Ток I	Отношение $\frac{E}{I}$

√ ***Задание 8.*** Покажите зависимость между током в цепи и полным сопротивлением цепи при одной и той же э. д. с.

В длинном стеклянном сосуде в форме параллелепипеда составьте элемент Вольта с деполяризатором. Включите его в цепь из выключателя, амперметра и магазина сопротивлений. Поставьте пластины элемента на небольшом расстоянии друг от друга и включите сопротивление 1 *ом*. Замкните цепь и измерьте ток I_1.

Раздвиньте пластины на двойное расстояние при той же величине их погружения в жидкость и включите сопротивление 2 *ом*. Замкните цепь и измерьте ток I_2.

Вычислите отношение $I_2 : I_1$ и сравните его с отношением $R_1 : R_2$. Сделайте заключение о зависимости тока от полного сопротивления цепи при одной и той же э. д. с. источника.

Вопросы

1. Почему в задании 7 предлагается брать гальванические элементы, а не аккумуляторы?

2. Как можно измерить э. д. с. гальванического элемента или другого генератора тока при помощи амперметра, вольтметра и магазина сопротивлений? (Выполните измерение.)

3. При каком соотношении между сопротивлением вольтметра и внутренним сопротивлением источника возможно наиболее точное измерение э. д. с.?

Приборы и материалы

Пять сухих элементов; батареи аккумуляторов; потенциометр, амперметр, вольтметр; стеклянный сосуд в форме параллелепипеда; цинковая и медная пластины, площадь которых немного меньше поперечного сечения параллелепипеда; два однотипных гальванических элемента различных размеров; набор измеренных сопротивлений; магазин сопротивлений; реостат, выключатель; набор проводов; электролит для элемента Вольта с деполяризатором.

28. ТЕРМОЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ В ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМПАХ

При изучении этой темы в средней школе необходимо рассмотреть сущность явления термоэлектронной эмиссии, устройство и основные свойства двух- и трехэлектродных электронных ламп и их применение в качестве выпрямителей и усилителей переменных токов.

Литература

Р. В. Телесин, Лекционные демонстрации по физике, вып. 6. Электричество, ГИТТЛ, М.—Л., 1952, стр. 179—190.

Г. С. Ландсберг, Элементарный учебник физики, т. II, Физматгиз, М., 1958, стр. 321—327.

Б. Л. Жарогин, Опыты с электронной лампой, «Физика в школе», 1958, № 6.

Задание 1. Продемонстрируйте термоэлектронную эмиссию с помощью пустотной электрической лампочки и электрометра.

Соберите установку согласно рисунку 196. Сообщите системе тел (кондуктор электрофорной машины, шарик электрометра и станиолевая обкладка электрической лампочки) положительный заряд от электрофорной машины. Включите электрическую лампочку в осветительную сеть и покажите, что в этом случае показания электрометра убывают.

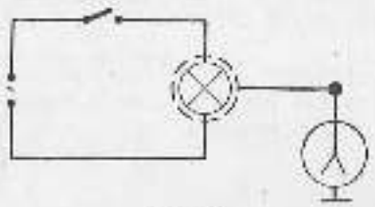


Рис. 196

Сообщите этой же системе тел отрицательный заряд. Вторично включите электрическую лампочку в осветительную сеть и покажите, что в этом случае показания электрометра не изменятся.

Объясните результаты этих демонстраций.

Задание 2. Продемонстрируйте явления термоэлектронной эмиссии с помощью газотрона ВГ-170.

Соберите установку согласно рисунку 197. На катод лампы следует подать напряжение 2,5 *в*, анодная батарея должна иметь напряжение 20—30 *в*.

Покажите, что при холодном катоде, несмотря на наличие напряжения между анодом и катодом, анодного тока нет.

Покажите, что при накаленном катоде возникает анодный ток.

Вопросы

1. Почему для обнаружения термоэлектронной эмиссии необходимо воспользоваться пустотной, а не газонаполненной электрической лампочкой?

2. Следует ли в первой демонстрации разъединять станиолевую обкладку и кондуктор электрофорной машины перед включением лампы в сеть?

3. Как обнаружить термоэлектронную эмиссию в первой демонстрации, если вместо электрометра использовать телефон?

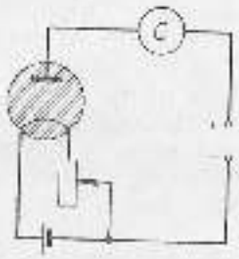


Рис. 197

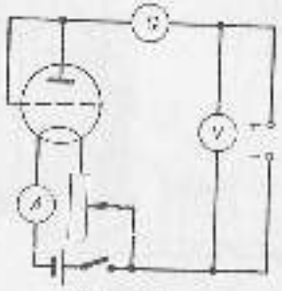


Рис. 198

4. Какой физический процесс аналогичен термоэлектронной эмиссии?

5. Как показать термоэлектронную эмиссию, используя двухэлектродную или трехэлектродную радиолампу?

Задание 3. Покажите, что величина анодного тока при постоянном анодном напряжении и постоянном потенциале на сетке зависит от тока накала.

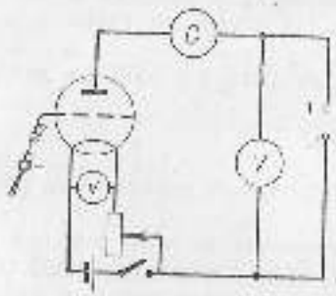


Рис. 199

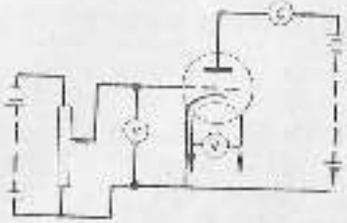


Рис. 200

Соберите цепь согласно рисунку 198. Изменяя с помощью реостата ток накала, установите зависимость между анодным током и током накала. Проделайте эту демонстрацию с лампами прямого и косвенного накала. Объясните наблюдаемую закономерность.

С какой лампой целесообразней ставить демонстрацию?

Задание 4. Покажите, что величина анодного тока при постоянном анодном напряжении и постоянном токе накала зависит от потенциала, подаваемого на сетку.

Соберите цепь согласно рисунку 199. Подавая на сетку положительный и отрицательный потенциалы с помощью наэлектризованных палочек или от электрофорной машины, установите влияние потенциала сетки на величину анодного тока. Покажите, что при некоторой величине отрицательного потенциала на сетке анодный ток может стать равным нулю.

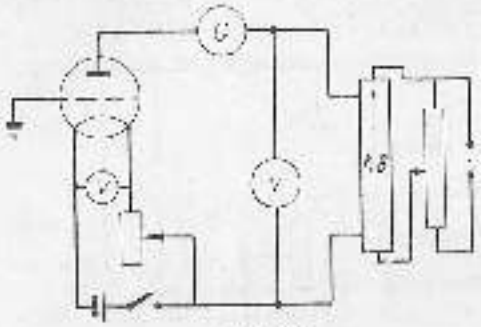


Рис. 201

Покажите эту же зависимость с помощью установки, схема которой показана на рисунке 200.

С помощью потенциометра измеряйте разность потенциалов между катодом и сеткой и отмечайте для каждого значения величину анодного тока. На основе полученных данных постройте вольтамперную характеристику.

Какая из двух предложенных демонстраций целесообразнее?

Задание 5. Покажите, что величина анодного тока при постоянном напряжении на катоде и постоянном потенциале на сетке зависит от анодного напряжения.

Соберите цепь согласно рисунку 201. Меняя с помощью потенциометра анодное напряжение, измеряйте для каждого значения напряжения величину анодного тока. На основе полученных данных постройте график.

Осуществите эту же демонстрацию, используя различные лампы.

Вопросы

1. С какой лампой лучше удается получить зависимость анодного тока от анодного напряжения?

2. Почему при демонстрации зависимости тока эмиссии от накала нити лампы лучше пользоваться электронной лампой прямого накала, с поверхности баллона которой предварительно удален непрозрачный налет?

3. Где целесообразнее ставить потенциометр при демонстрации зависимости анодного тока от напряжения на аноде: в цепь, питающую выпрямитель, или на выходе высокого напряжения?

4. Каким образом можно удалить с поверхности баллона электронной лампы непрозрачный налет, нанесенный изнутри?

Задание 6. Покажите процесс выпрямления переменного тока с помощью диода.

Покажите, что ток проходит через электронную лампу, когда анод имеет положительный потенциал по отношению к катоду, и не проходит, если анод имеет отрицательный потенциал.

В работе можно использовать любой диод или триод. В качестве анодной батареи следует взять выпрямитель.

Соберите электрическую цепь согласно рисунку 202. Включите цепь в сеть переменного тока и покажите с помощью гальванометра (прибора постоянного тока), что в анодной цепи течет постоянный ток.

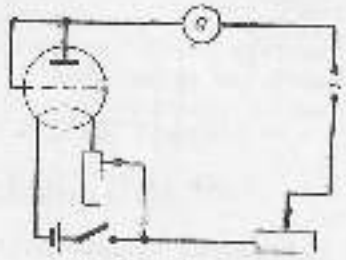


Рис. 202

Покажите с помощью электронного осциллографа, что в анодной цепи пульсирующий ток (однополупериодное выпрямление).

Какими еще способами можно подтвердить наличие в анодной цепи постоянного тока?

Задание 7. Покажите усиление напряжения с помощью трехэлектродной лампы.

Соберите установку согласно рисунку 203. В качестве усилительной лампы может быть использована лампа 5Ф5 или 6Ф6 или какой-либо иной триод с большим коэффициентом усиления.

Подайте на сетку с помощью потенциометра отрицательный потенциал (порядка 5—10 *в*). Измерьте напряжение между сеткой и катодом и величину напряжения на активной нагрузке в анодной цепи.

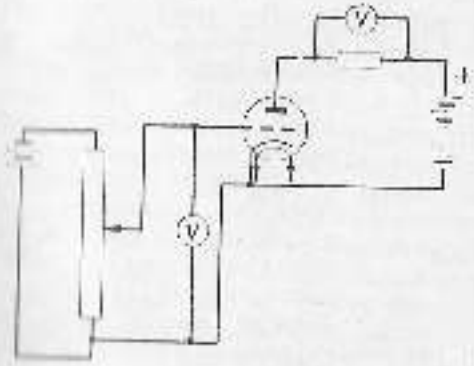


Рис. 203

Уменьшите потенциал на сетке и вторично измерьте напряжения. По полученным данным подсчитайте изменение сеточного и анодного напряжений.

Каким образом можно определить коэффициент усиления лампы?

Задание 8. Покажите усиление мощности с помощью трехэлектродной лампы.

Возьмите трансформатор (127—6 *в*) и к понижающей обмотке его присоедините электродинамический громкоговоритель. Включите первичную обмотку в сеть переменного тока и заметьте громкость звучания громкоговорителя.

Соберите цепь согласно рисунку 204, используя понижающий трансформатор из предыдущего опыта. Включите цепь в сеть переменного тока и сравните громкость звучания громкоговорителя в этой и предыдущей демонстрациях.

Покажите аналогичную демонстрацию, используя в качестве источника звукочастотных колебаний их сетевой ток, а угольный микрофон (рис. 205).

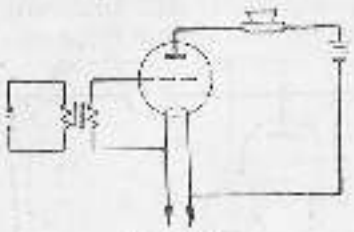


Рис. 204

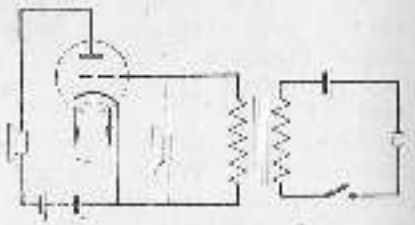


Рис. 205

Какая из предложенных двух установок дает лучший эффект? Какая из установок имеет большую педагогическую ценность?

Задание 9. Покажите усиление мощности с помощью двухлампового усилителя.

Ознакомьтесь с устройством и схемой двухлампового усилителя, выпускаемого Главучтехпромом (рис. 206).

Возьмите электропроигрыватель, выход адаптера которого соедините с одной обмоткой трансформатора. Вторичную обмотку соедините с громкоговорителем. Установите на проигрывателе пластинку и докажите, что в этом случае будет очень слабая слышимость (обнаруживаемая непосредственно около громкоговорителя).

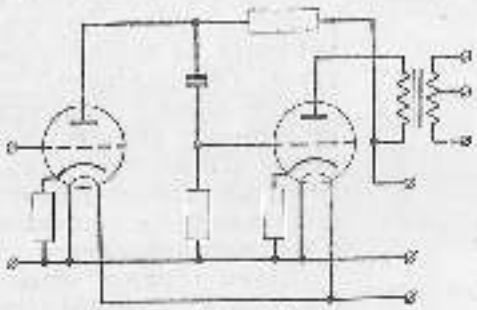


Рис. 206

Соедините вторичную обмотку трансформатора с входом усилителя, а выход усилителя — с громкоговорителем. Подведите питание к усилителю от кенотронного выпрямителя и покажите усиление громкости звучания.

Какие недостатки имеет этот усилитель?

Вопросы

1. Чем вызываются искажения колебаний при усилении их с помощью триода?
2. Какие необходимы условия для уменьшения искажений при усилении колебаний?
3. Почему незначительные изменения потенциала на сетке сильно изменяют величину анодного тока?

Приборы и материалы

Трехэлектродная лампа на панели с реостатом накала; анодная батарея на 200 *в* (кенотронный выпрямитель); батарея накала на 4 *в* (аккумуляторы); электрометр; пустотная электрическая лампочка, оклеенная станиолем; телефон; демонстрационный гальванометр; реостат со скользящим контактом; микрофон; батарея микрофона на 4 *в* (аккумулятор); трансформатор низкой частоты; электрофорная машина; ключ; динамик с постоянным магнитом; соединительные провода; радиоприемник; электропроигрыватель с адаптером; двухламповый усилитель низкой частоты; вольтметр.

24. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ЭЛЕКТРОЛИТАХ

Предлагаемое в работе большое число на первый взгляд идентичных демонстраций по электролизу не является простым повторением. Только сумма всех проведенных демонстраций позволяет полностью раскрыть особенности электролиза различных веществ.

Для проведения опытов по электролизу обычно употребляются сосуды из прозрачного материала. Для показа опытов, в которых вещества на электродах выделяются в твердом состоянии, обычно употребляются U-образные трубки и набор Е. Н. Горячкина по электролизу (см. работу «Химические источники тока»).

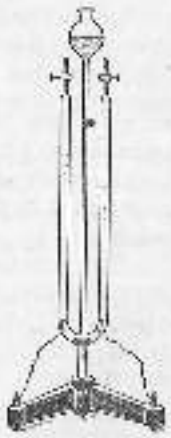


Рис. 207

Наиболее простой прибор для электролиза — U-образная стеклянная трубка. Достоинством прибора является небольшая емкость трубки, позволяющая ограничиться малым количеством электролита (около 50 $см^3$), а не слишком большое сопротивление электролита для тока (сечение трубки около 2 $см^2$). Недостаток трубки состоит в ее хрупкости.

Для многих опытов электроды должны быть сделаны из вещества, не подвергающегося химическому воздействию. Такими инертными электродами являются прежде всего платиновые и угольные. Высокая цена платины препятствует ее применению. В качестве угольных электродов целесообразно использовать стержни (d — 5 *мм*), применяемые для электрической дуги (без медного покрытия).

Для опытов по электролизу, в которых продуктами реакции оказываются газы, промышленностью выпускается вольтметр Гофмана (рис. 207). Он представляет собой три сообщающиеся трубки. Две из них, предназначенные для собирания выделяющихся газов, снабжены наверху кранами. Третья трубка имеет наверху резервуар, куда переходит раствор, вытесненный газами. Для испытания газы переводят в пробирки, помещаемые под газоотводными трубками.

Можно изготовить вольтаметр следующего устройства. Стеклянный баллон трехэлектродной лампы обрезается по наибольшему своему диаметру (рис. 208). Петь анода и катодержатели удаляются. На электроды лампы надеваются пробирки, подвешенные на штативе. Лампа вертывается в патрон, который включается в электрическую цепь. Прибор удобен тем, что для проведения опытов с ним достаточно напряжение 12 *в*.

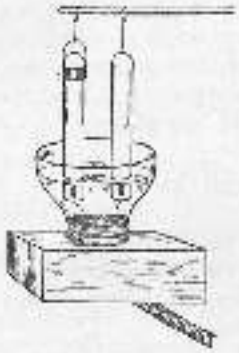


Рис. 208

Для проведения лабораторных работ (проверка показаний амперметра по количеству отложившейся меди, определение электрохимического эквивалента меди) Главучтехпром выпускает прибор, сконструированный В. Н. Бакушинским. Он представляет собой два медных цилиндра разного диаметра, вложенных один в другой. Концы цилиндров соединяются с клеммами, находящимися на деревянной панельке. Клеммы служат также для подведения электрического тока. В качестве сосуда для проведения лабораторных работ предлагается использовать химический или чайный стакан. Цилиндрическая форма электродов по сравнению с пластинкой оказывается более удобной, так как электроды имеют меньший вес при одинаковой полезной площади. Это позволяет с большей точностью определять массу выделившегося вещества.

Для показа технических применений электролиза целесообразно использовать в качестве электролитической ванны прямоугольный стеклянный сосуд. Большие размеры сосуда позволяют изменением внутреннего сопротивления ванны подобрать необходимые, строго определенные для каждого процесса значения тока при заданном напряжении.

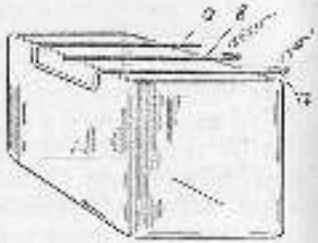


Рис. 209

Для подвешивания электродов целесообразно сделать из толстой медной проволоки поперечные перекладины (рис. 209). При показе рафинирования металлов, никелирования и других катодных процессов две перекладины *а* служат для подвешивания анодов, перекладина *в* — для подвешивания катода. При показе оксидирования и других анодных процессов аноды укрепляются на перекладине *а*, катоды — на перекладине *в*.

В работе требуется составлять растворы кислот, щелочей и солей. Правила приготовления растворов даны в работе «Химические источники тока».

Необходимо учесть, что при опытах по электролизу часто приходится пользоваться одними и теми же электродами в нескольких опытах. Поэтому целесообразно на демонстрационном столе иметь кювету с водой, куда следует класть использованные электроды. Сосуды, если они будут использованы в следующих опытах, надо промывать водой.

Литература

П. А. Знаменский, Методика преподавания физики в средней школе. Учпедгиз, М., 1951, стр. 428—436.

Д. Д. Галанин и др., Физический эксперимент в школе, ч. III, § 32, 33, 34, 37, Учпедгиз, М., 1954.

И. К. Тумышев, Демонстрация технических применений электролиза, «Физика в школе», 1953, № 6.

Задание 1. Покажите, что дистиллированная вода не проводит электрического тока.

В банку от набора С. Н. Горячкина или U-образную трубку налейте дистиллированной воды. Электроды соедините с источником тока (аккумулятором, генератором). Включите в электрическую цепь лампочку (на соответствующее напряжение) или гальванометр.

Постоянный или переменный ток нужен для этого опыта? Как показать, что электроды находятся под напряжением?

Задание 2. Покажите, что растворы кислот, солей и оснований проводят электрический ток, а растворы других соединений тока не проводят.

В прежней установке залейте дистиллированную воду последовательно растворами серной кислоты, медного купороса, поваренной соли, едкого натра, сахара и покажите наличие или отсутствие тока.

Задание 3. Покажите, что расплавы солей проводят электрический ток.

В фарфоровый тигелек положите легкоплавкую соль металла (например, хлористое олово или хлористый цинк) и, нагревая его на пламени газовой горелки, расплавьте соль. В расплав опустите электроды, соединенные через гальванометр с источником постоянного тока. В качестве электродов можно взять толстые угли для электрической дуги или электроды от сгоревшей электрической лампочки. Вкрутив цоколь лампочки в патрон, подводят электрический ток к электродам.

Задание 4. Покажите, что концентрированный раствор серной кислоты тока не проводит.

Выполнение этого задания аналогично предыдущему.

Задание 5. Покажите, что электропроводность растворов повышается с повышением температуры.

В химический стакан налейте дистиллированной воды, в воду опустите угольные электроды, которые через электрическую лампу

соединен с источником тока. С помощью пипетки налейте в стакан какой-нибудь кислоты или щелочи, помешивая раствор стеклянной палочкой. Добавление кислоты (щелочи) прекратите в тот момент, когда получите слабый накал лампы. Нагрейте стакан над пламенем горелки и убедитесь, что накал лампы постепенно возрастает. Погрузив после этого стакан в снег или смесь снега с солью, наблюдайте убывание накала лампы.

Как можно поставить этот опыт в неэлектрифицированной школе?

Задание 6. Покажите движение ионов в электрическом поле.

Индикатором для ионов гидроксила (ОН) служит фенолфталеин, принимающий малиновую окраску, для ионов водорода — метилоранж, принимающий розовую окраску. Опыт выполняется следующим образом.

Из фильтровальной бумаги вырежьте полоску размером 4 × 9 см и опустите ее в раствор какого-либо бесцветного электролита (например, раствор глауберовой или поваренной соли) с добавлением фенолфталеина (или метилоранжа). Вынув из раствора бумагу, положите ее на стеклянную пластинку. Поперек полоски протяните толстую белую нитку, смоченную в растворе щелочи (если к электролиту был добавлен фенолфталеин) или в растворе соляной кислоты (если к электролиту был добавлен метилоранж). По обе стороны нитки, на расстоянии 3—4 см от нее плотно прижмите к бумаге медные пластинки — электроды. К электродам подведите концы проводов, идущих от источника постоянного тока на 100—120 в. Через минуту окраска будет распространяться от нитки к электроду.

Чем объясняется небольшое перемещение окраски в сторону, обратную движению ионов?

Задание 7. Покажите электролиз хлорной меди.

В U-образную трубку с угольными электродами налейте 10-процентный раствор хлорной меди. На электроды подайте постоянное напряжение 6—8 в и наблюдайте за выделением хлора и меди. В качестве индикатора хлора можно взять лакмус (хлор обесцвечивает лакмус) или раствор крахмала в йодистом калии (получается темно-синее окрашивание).

Вопросы

1. Какие реакции происходят на электродах при электролизе хлорной меди?
2. Почему в качестве первой демонстрации по электролизу целесообразно взять электролиз хлорной меди?
3. Чем можно заменить хлорную медь, если она отсутствует?

Задание 8. Покажите электролиз поваренной соли.

В вольтаметр Гофмана (или в самодельный вольтаметр) налейте 10-процентный водный раствор поваренной соли и соедините электроды с источником постоянного тока на 8—10 в. Чтобы убедиться

в том, что на катоде выделяется водород, соберите в пробирку газ и подожгите его. Индикаторы хлора указаны в предыдущем задании.

С помощью пипетки в раствор у катода налейте немного спиртового раствора фенолфталеина для доказательства наличия щелочи.

Какие реакции происходят при электролизе поваренной соли?

Задание 9. Покажите электролиз сернокислого натрия (глауберовой соли).

Налейте в вольтаметр 10-процентный раствор глауберовой соли, подкрашенный бесцветным раствором лакмуса. Включите ток и наблюдайте изменение окраски электролита у электродов. Докажите, что на аноде выделяется кислород, на катоде — водород.

Вопросы

1. О чем свидетельствует изменение окраски электролита у электродов?
2. Чем интересен опыт по электролизу глауберовой соли?
3. Какой электролит надо взять, чтобы показать аналогичный опыт, если глауберова соль отсутствует в кабинете?

Задание 10. Покажите электролиз медного купороса.

В стакан от набора по электролизу налейте 10-процентный раствор медного купороса. В качестве электродов возьмите угольные стержни. Величина тока в цепи должна быть 0,5—1 а.

Покажите осаждение меди на катоде.

В предыдущей установке возьмите в качестве анода медную пластинку. Электрод перед опытом тщательно взвесьте. Пропустите ток через раствор медного купороса в течение 3—5 минут. Убедитесь визуально и взвешиванием, что анод растворяется, а на катоде выделяется медь. Вычислите электрохимический эквивалент меди по результатам опыта.

Какие реакции происходят при электролизе медного купороса в первом и во втором случаях? Основой каких технических применений служит явление, наблюдаемое в последнем опыте?

Задание 11. Исследуйте, позволяет ли лабораторный прибор для электролиза купороса найти электрохимический эквивалент меди с большей точностью, чем это можно сделать с прибором Горячкина.

В химический стакан налейте 10-процентный раствор медного купороса. К клеммам прибора присоедините источник тока на 6—8 в, в цепь включите амперметр и реостат. Ток в цепи должен быть 0,3 а. Время опыта 10—15 минут. Проделав опыт, вычислите электрохимический эквивалент меди и сравните его с результатом, полученным в задании 10. Для определения массы выделившегося вещества взвешивать следует двуполюсный электрод. Если он был катодом, определяют прибавление в весе, если анодом — определяют убыль в весе.

Задание 12. Покажите явление поляризации при электролизе.

Возьмите самодельный вольтаметр, заполните его 10-процентным раствором серной кислоты и присоедините к источнику тока напряжением 12 *в*. Пропустите через вольтаметр ток в течение 3—5 минут. Затем отключите источник тока и соедините электроды вольтаметра через гальванометр.

Покажите, что направление наблюдающегося теперь тока противоположно направлению первоначального тока.

Как на основании этого опыта раскрыть закон Ома для электролитов?

Задание 13. Покажите рафинирование меди.

Налейте в большой прямоугольный сосуд водный раствор медного купороса (245 *г/л*) и раствор серной кислоты (60 *г/л*). В качестве катода возьмите кусочек чистой меди, а в качестве анодов — пластинки черной меди. Напряжение на электродах ванны должно составлять 6 *в*, плотность тока на катоде — 4 *а/дм*². Определите, какое время необходимо для получения заметного осадка.

Задание 14. Покажите никелирование металлов.

В электролитическую ванну (используемую в предыдущем опыте) налейте водный раствор сернокислого никеля (350 *г/л*) и раствор серной кислоты (5 *г/л*). В качестве анодов возьмите никелевые пластинки, в качестве катода — никелируемое тело (медное, латунное, железное). Никелируемое тело предварительно необходимо тщательно очистить от окислов с помощью наждачной бумаги и напильника и обезжирить 10-процентным раствором едкого натра.

Режим никелирования:

Напряжение на зажимах ванны	12 *в*
Плотность тока на катоде	10 *а/дм*²
Температура	70—80°
Время	1—2 минуты

Задание 15. Покажите на опыте электрополировку металлов.

В электролитическую ванну налейте 40-процентный раствор ортофосфорной кислоты. В качестве катодов надо взять свинцовые пластинки, в качестве анода — полируемую пластинку (латунь, медь, бронза). Полируемую пластинку подвесьте в ванне между двумя катодами. Перед подвешиванием полируемая пластинка должна быть отшлифована от окислов и обезжирена обычным образом.

Режим полировки:

Напряжение на ванне	4—6 *в*
Время	1—2 секунды
Плотность тока на аноде	0,3 *а/см*²
Температура	комнатная

Задание 16. Покажите на опыте электролитическое оксидирование алюминия.

В электролитическую ванну налейте 20-процентный раствор серной кислоты. В качестве анода возьмите обезжиренную алюминиевую пластинку (можно толстую проволоку), в качестве катодов можно взять свинцовые пластинки. Анодная пластинка в данном опыте располагается между двумя катодами.

Режим оксидирования:

Напряжение на ванне	10—12 *в*
Плотность тока на аноде	0,8—2 *а/дм*²
Время	3 минуты
Температура	комнатная

С какой целью в последних опытах производят обезжиривание пластинок? Какие опыты по техническому применению электролиза могут быть вынесены на внеклассные занятия?

Приборы и материалы

Прибор Е. Н. Горячкина по электролизу; вольтаметр Гофмана; самодельный вольтаметр; U-образные трубки; большой прямоугольный стеклянный сосуд; источники постоянного тока на 12 *в* и на 120 *в*; гальванометр; амперметр постоянного тока до 2 *а*; вольтметр до 15 *в*; электрические лампочки на 120 *в*, 25 *вт* и на 12 *в*, 8 *вт*; газовая горелка; штатив с кольцами и сеткой; дистиллированная вода; серная кислота очищенная; соляная кислота; уксусная кислота; ортофосфорная кислота; медный купорос; поваренная соль; глауберова соль; хлорная медь; сернокислый никель; едкий натр; сахар; лакмус; метиловый; фенолфталеин; пластинки для электродов (кроме имеющихся в наборе Е. Н. Горячкина): свинцовые — 2 шт., никелевые — 2 шт., платиновая — 1 шт.; фильтровальная бумага, нитки, спички, лучина; фотографическая кювета или эмалированный поднос.

25. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ГАЗАХ

Все многочисленные проявления электрического тока в газах, наблюдаемые в природе и технике, можно свести к двум типичным формам:

1) Несамостоятельный разряд.

2) Самостоятельный.

С различными видами несамостоятельного разряда по программе средней школы учащиеся знакомятся при изучении других тем. Поэтому в этой работе рассматриваются наиболее важные формы самостоятельного разряда (коронный, искровой, дуговой, клещий) и их применение.

Литература

Д. Д. Галанин, Е. Н. Горячкин и др., Физический эксперимент в школе, т. III, § 39—43, Учпедгиз, М., 1951.

Г. С. Ландсберг, Элементарный учебник физики, т. II, гл. 8, Физматгиз, М., 1955.

М. А. Любимов, А. Ф. Металлиг, Изучение искрового разряда, «Физика в школе», 1954, № 2.

Р. В. Телесин, Лекционные демонстрации по физике, вып. 6, Электричество, гл. IX, ГИТТЛ, М.—Л., 1952.

Проводимость воздуха

Задание 1. Покажите, что газы в естественном состоянии не проводят электричества.

Поместите в сухом атмосферном воздухе хорошо изолированный заряженный электрометр и покажите, что заряд электрометра практически остается неизменным.

Задание 2. Покажите, что под воздействием ионизаторов улучшается электропроводность воздуха.

Электрометру сообщите положительный заряд. Поднесите к шарику электрометра пламя свечи или газовой горелки и покажите быстрое уменьшение заряда электрометра. Сообщите электрометру отрицательный заряд и проделайте тот же опыт.

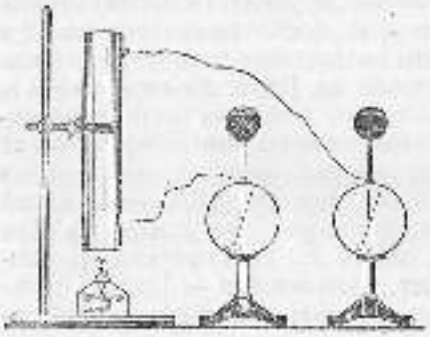


Рис. 210

Объясните результат демонстрации.

Каким образом, используя высоковольтный индуктор, можно показать ионизирующее действие пламени?

Задание 3. Покажите рекомбинацию ионов в воздухе.

1-й способ. Установите на демонстрационном столе установку согласно рисунку 210.

В трубке прибора сделано два отверстия, в которые вставлены пробки из диэлектрика. Через пробки пропущены электроды Г-образной формы. Сообщите электрометрам и электродам, соединенным с ними, одинаковые по знаку и величине заряды.

Установите под трубкой газовую горелку или спиртовку так, чтобы ее пламя не доходило до нижнего края примерно на 10 *см*, и покажите, что разряд заряженных электрометров будет происходить с различной скоростью. Электрометр, соединенный с нижней проволокой, разряжается быстрее, а соединенный с верхней — медленнее.

Объясните результат демонстрации.

Сообщая электрометрам разные по величине и знаку заряды и изменяя действие ионизатора, выясните, от каких факторов зависит эффективность демонстрации.

2-й способ. На расстоянии 30—40 *см* от электрометра поставьте зажженную газовую горелку. Рядом с горелкой установите фен, чтобы дутье было направлено в сторону электрометра (рис. 211).

Покажите, что, когда электрометр находится на близком расстоянии от пламени, он разряжается, а по мере удаления его от

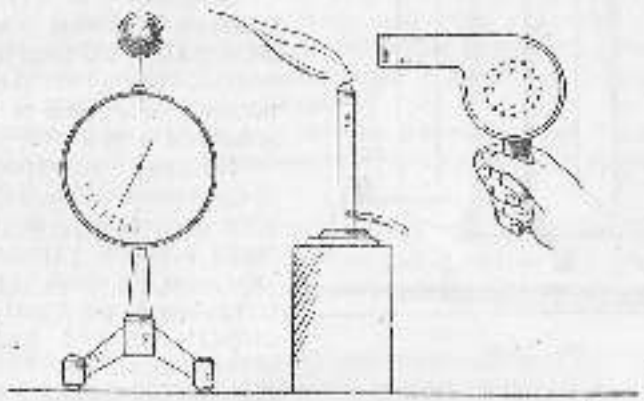


Рис. 211.

пламени спад заряда уменьшается. При расстоянии электрометра от пламени 1—1,5 *м* показания электрометра не меняются[1].

Проделайте демонстрации при различных знаках заряда электрометра.

Какой из двух способов является более эффективным?

Самостоятельный разряд в воздухе при атмосферном давлении

Задание 4. Покажите коронный разряд.

Коронный разряд, требующий высокого напряжения, лучше всего наблюдать с помощью трансформатора Тесла (см. работу «Трансформаторы»). В этой работе предлагается показать коронный разряд с помощью электрофорной машины.

На двух изолирующих штативах натяните тонкую металлическую проволоку (диаметр сечения — несколько десятых долей миллиметра). Один кондуктор электрофорной машины соедините с проволокой, а второй — заземлите. В затемненном помещении при вращении электрофорной машины покажите слабое свечение проволоки.

[1] Г. С. Калашников, Электричество, ГИТТЛ, М., 1956, стр. 402.

Разведите максимально кондукторы работающей электрофорной машины и покажите образование коронного разряда на всех заостренных частях машины. (Опыт проводите в полной темноте.)

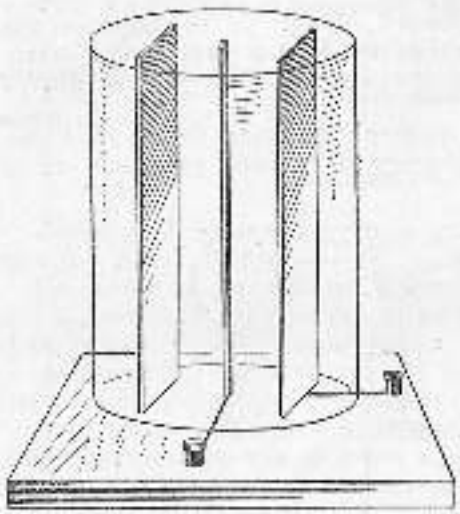


Рис. 212

Покажите частный случай коронного разряда с помощью колеса Франклина (см. работу «Электризация тел»).

Задание 5. Покажите принцип работы электрофильтра для очистки промышленных газов от твердых и жидких примесей с использованием коронного разряда.

Модель электрофильтра представляет собой изолирующую подставку, в средней части которой укреплен вертикально тонкий стержень (стальная проволока). По обе стороны стержня укреплены металлические пластины (рис. 212). От проволоки и пластин выведены клеммы. Металлические пластины следует заземлить, а проволоку соединить с отрицательным кондуктором электрофорной машины.

Большой стеклянный сосуд цилиндрической формы охлаждают и наполняют дымом. Наполненный дымом сосуд устанавливают на изолирующую подставку так, чтобы электроды не касались стенок сосуда.

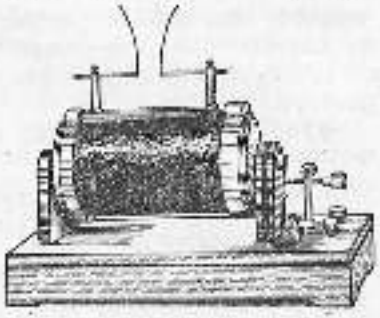


Рис. 213

Приведите машину во вращение и покажите уничтожение дыма коронным разрядом.

Как обеспечить хорошую надежность работы фильтра? Чем объясняется свечение в воздухе верхушек деревьев, корабельных мачт и т. п.? Почему в технике высоких напряжений коронный разряд вреден?

Задание 6. Покажите искровой разряд.

Покажите получение искрового разряда с помощью высоковольтного индуктора и электрофорной машины. Продемонстрируйте изменение формы искрового разряда при изменении полюсов на электродах высоковольтного индуктора.

Как по характеру искрового разряда можно определить знак заряда на электродах индуктора? Какие необходимы условия для возбуждения искрового разряда в воздухе?

Задание 7. Покажите дуговой разряд.

На клеммах вторичной обмотки высоковольтного индуктора укрепите в вертикальной плоскости два электрода, выполненные из толстой медной проволоки (рис. 213). Включите индуктор и покажите образование дугового разряда между этими электродами.

Покажите образование дугового разряда под водой. Возьмите кристаллизатор с водой. По обе стороны от кристаллизатора поставьте два штатива. В держателях штативов укрепите угольные электроды, наполовину обернутые асбестом или вставленные в резиновые трубки. Соедините электроды с клеммами понижающей обмотки дугового трансформатора.

Включите трансформатор в сеть переменного тока и под водой приведите угли в соприкосновение. Прогрев концы углей, образуйте дугу.

Примечание. Остерегайтесь разбрызгивания воды, вызванного образованием пузырьков пара. Во избежание излишнего неравномерного нагрева сосуда опыт надо показывать короткое время.

Задание 8. Покажите сварку электрической дугой.

Возьмите две железные пластинки толщиной 0,5—1 *мм*, сложите их вместе и зажмите плотно в ручных тисках. Место сварки зачистите напильником. Тиски соедините толстым медным проводом (сечение не менее 25 *мм*) с одной клеммой понижающей обмотки дугового трансформатора. Вторую клемму трансформатора соедините с угольным электродом. Угольный электрод необходимо тщательно изолировать и укрепить в лапке штатива. Лапку надо также обернуть асбестом или надеть на нее резиновую трубку.

Образуйте дугу между угольным стержнем и стыком пластинок и, перемещая дугу, сварите пластинки.

При демонстрации сварки необходимо учителю и всем учащимся пользоваться синими защитными стеклами.

Вопросы

1. Чем объясняется подъем дугового разряда, возникающего в нижней части рогового разрядника, в верхнюю часть?
2. Чем отличаются дуговые разряды, возникающие в воздухе между электродами индукционной катушки, от разрядов между угольными электродами?

Самостоятельный разряд в газе при пониженном давлении

Задание 9. Покажите различные фазы разряда в зависимости от давления.

Воспользуйтесь прибором, известным под названием «шкала пустот». Прибор состоит из нескольких (обычно шести) трубок, откаченных до различной степени разрежения: 50, 3, 1, 0,01, 0,001 и 0,0001 *мм* рт. ст.

Соедините прибор с вторичной обмоткой высоковольтного индуктора и покажите изменение разряда с изменением давления при одном и том же напряжении на электродах трубок.

Изменяя направление тока в трубках, обратите особое внимание на показ следующих характерных особенностей:

1. Катодное темное пространство.
2. Тлеющее свечение.
3. Фарадеево темное пространство.
4. Положительный столб и страты.

Задание 10. Покажите технические применения тлеющего разряда.

а) Покажите свечение неоновой лампочки, включенной в сеть переменного тока.

б) Ознакомьтесь с устройством лампы дневного света и покажите свечение этой лампы.

Задание 11. Покажите зависимость свечения разряда в газе от вида газа.

Укрепите на штативе изолирующие держатели, в которых закрепляйте поочередно трубки, заполненные различными газами. Покажите особенность свечения различных газов при одном и том же давлении и одинаковом напряжении.

Задание 12. Покажите свойства катодных лучей.

Вопросы

1. От чего зависит напряжение зажигания в газосветных трубках?
2. Чем объяснить, что неоновая лампа зажигается при включении ее в осветительную сеть?
3. Каково назначение дросселя и стартера в лампе дневного света?

Приборы и материалы

Электростатическая машина; индукционная катушка; лейденские банки; электрометр; раздвижной конденсатор; кенотронный выпрямитель; набор различных катодных трубок; батарея аккумуляторов; шкала пустот; лампа дневного света; неоновая лампа; набор газоразрядных трубок с различными газами; набор трубок для демонстрации свойств катодных лучей; проекционный аппарат; действующая модель электрофильтра; синие очки; желтые пластинки; асбест; резиновые трубки; напильник; кристаллизатор; наждачная бумага; газовая горелка или спиртовка; керосин; дуговой трансформатор.

Работа N11.

28. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ТОКА

Демонстрационные опыты по данной теме проводятся главным образом на самодельных приборах и установках. Рамка, выпускаемая Главучтехпромом, страдает рядом недостатков: не указано направление положительной нормали к ней, что совершенно необходимо для установления направления напряженности магнитного поля; токоподводящие провода к рамке очень неэластичны, что затрудняет свободную ориентацию рамки. Поэтому в заданиях 5—9 используется самодельная рамка. Этот прибор (рис. 214) представляет собой легкую рамку из определенного числа витков тонкой медной проволоки ($d = 0{,}05$ *мм*), которая укрепляется на двух полуосях. Ток в рамку подводится от аккумуляторной батареи на 4 *в* через две спиральные пружины (от часовых механизмов или от демонстрационных гальванометров). Пружины укреплены одним концом к полуоси, а другим — к стойке. Они служат для уравновешивания пары сил, действующей на рамку в магнитном поле. Рамка снабжена легкой стрелкой из плотной бумаги, указывающей направление положительной нормали.

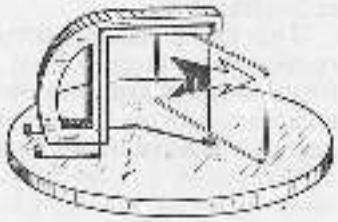


Рис. 214

Для выполнения работы нужны рамки, имеющие различное число витков и отличающиеся друг от друга размерами. В работе используются следующие рамки: две прямоугольные рамки площадью 25 *см*² (5 × 5 *см*), имеющие одна 100, другая 200 витков; прямоугольная рамка площадью 100 *см*² (10 × 10 *см*), 200 витков; треугольная рамка площадью 25 *см*², 200 витков.

Для проведения опытов двух первых заданий требуется гибкий проводник, который почти не оказывает сопротивления изменению своей формы. В качестве такого проводника можно использовать тонкие металлические нити елочной мишуры, слегка закрученные в пучок. Толщина пучка подбирается опытным путем. Необходимо, чтобы изготовленный из мишуры проводник выдерживал кратковременный ток 10—15 *а*. Можно использовать также телефонный шнур, жила которого представляет собой пучок тончайших медных проволок. Со шнура надо снять оплетку и бумажную изоляцию. Такой шнур выдерживает кратковременный ток (1—2 *сек*) в 10 *а*.

Возможно, хотя менее желательно, взять в качестве гибкого проводника станиолевые ленты из плоского конденсатора. Эти проводники неудобны тем, что легко разрываются.

Для демонстрации магнитных спектров прямолинейного, кругового и соленоидального токов Главучтехпром выпускает приборы. Эти приборы, однако, не выдерживают достаточно сильных токов. Поэтому целесообразно для демонстрации магнитных полей изготовить самодельные приборы, рассчитав их на ток в 10—12 *а*.

Для проведения многих опытов по теме требуются источники тока, позволяющие получать токи в 8—12 а. Для этих опытов можно пользоваться газотронными выпрямителями (в частности, электрораспределительным щитом, выпускаемым промышленностью), сетевыми выпрямителями, выпускаемыми для зарядки аккумуляторов, позволяющими снимать ток вплоть 8 а, батареями аккумуляторами, размеры которых не меньше 41 × 126 × 330 мм (при их последовательном соединении). Кислотными аккумуляторами пользоваться не рекомендуется, так как они боятся короткого замыкания.

Ввиду возможности замены одного источника тока другим в заданиях указывается порядок величины тока, который необходим для получения должного эффекта, но не называется род источника тока (последний вопрос решается в зависимости от оборудования кабинета).

При выполнении работы необходимо учитывать, что большинство проводников выдерживает значительный ток (порядка 10 а) лишь очень непродолжительное время. Поэтому в цепь целесообразно включать реостат и выводить его на небольшой промежуток времени для наблюдения явления.

Литература

Д. Л. Галанин и др., Физический эксперимент в школе, т. IV, § 8, 13, Учпедгиз, М., 1954.

Выяснение природы магнитного поля

Задание 1. Покажите взаимодействие двух параллельных проводников с токами.

Возьмите два гибких проводника и укрепите их на штативах так, как показано на рисунке 215. Расстояние между проводниками должно составлять 1—3 см. Соедините верхние и нижние концы проводов между собой и подключите их через реостат и ключ к источнику постоянного тока (*1* — 8—10 а). Маленькими стрелками отметьте направление тока в проводах. Замкните ключ на короткий отрезок времени (2—3 *сек*) и с помощью реостата подберите максимальную перегрузку проводов для наблюдения притяжения проводников.

Повторите опыт, изменив направление токов в обоих проводниках на противоположное.

Повторите опыт, пропустив по проводникам токи противоположных направлений. Для этого соедините между собой верхние (или нижние) концы обоих проводников и подключите свободные концы проводников через реостат и ключ к источнику тока.

Повторите опыт, изменив направление тока на противоположное.

Как убедить учащихся, что наблюдаемое взаимодействие не связано с кулоновскими силами электростатического взаимодействия?

Задание 2. Покажите, что прямолинейный проводник с током испытывает заметное притяжение или отталкивание вблизи полюсного магнита.

Укрепите вертикально гибкий проводник и пропустите по нему ток порядка 5 а (рис. 216). Поднесите к проводнику один из полюсов магнита и покажите взаимодействие.

Повторите опыт, поднося к проводнику с током другой полюс магнита.

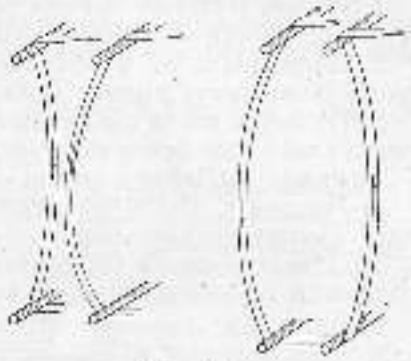


Рис. 216

Повторите опыты, предварительно изменив в проводнике направление тока на противоположное.

На основании опытов двух предыдущих заданий можно ввести понятие о магнитном поле, существующем вокруг движущихся электрических зарядов и действующем на движущиеся электрические заряды. Какова должна быть цепь логических рассуждений при введении понятия о магнитном поле?

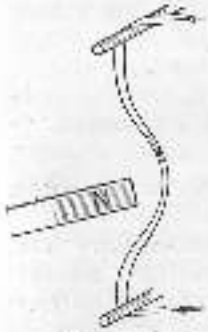


Рис. 218

Задание 3. Покажите, что движущиеся электрические заряды имеют вокруг себя магнитное поле (проводник с током оказывает ориентирующее действие на магнитную стрелку — опыт Эрстеда).

В плоскости магнитного меридиана Земли натяните горизонтально проводник (*1* — 1 м) и поместите под ним магнитную стрелку. Присоедините проводник через реостат и ключ к батарее аккумуляторов и покажите отклонение стрелки.

Повторите опыт, изменив направление тока в проводнике на противоположное.

Повторите предыдущие опыты, расположив магнитную стрелку над проводником.

Покажите аналогичные опыты для жидкого проводника. Широкую стеклянную трубку (рис. 217) наполните 20-процентным раствором медного купороса. В качестве электродов возьмите толстую медную проволоку и пропустите через раствор ток порядка 3—5 а. Покажите отклонение стрелки, находящейся вблизи трубки.

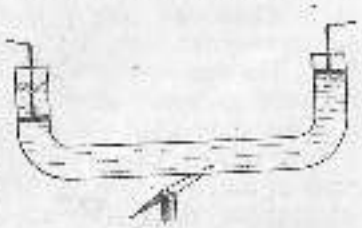


Рис. 217

Вопросы

1. Почему в опытах Эрстеда рекомендуется проводник располагать в плоскости меридиана Земли?

2. Обязательно ли в качестве электролита в опыте с жидким проводником брать раствор медного купороса?

3. Почему в опыте с жидким проводником рекомендуется в качестве электродов брать толстую проволоку?

Задание 4. Дайте опытное обоснование гипотезы Ампера.

1) Покажите, что искусственные магниты можно создать с помощью электрического тока.

На стальной гвоздь намотайте несколько витков проволоки и пропустите по ним постоянный ток порядка 3 а.

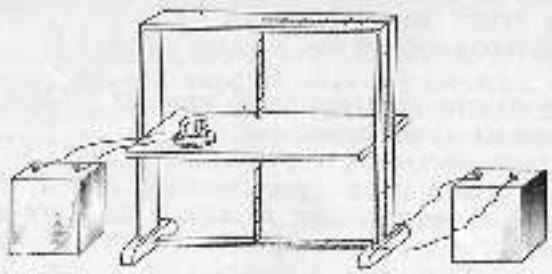


Рис. 218

Покажите остаточное намагничивание стали.

2) Покажите, что магнитное поле катушки пропорционально числу ампер-витков.

Катушку от разборного трансформатора расположите так, чтобы ось катушки была перпендикулярна направлению магнитного меридиана. Пропустите по катушке ток и поставьте магнитную стрелку на таком расстоянии, на котором стрелка почти не отклоняется от своего нормального положения.

Увеличьте ток в катушке и покажите усиление ориентирующего действия магнитного поля катушки.

Возьмите катушку с другим числом витков и пропустите по ней тот же ток. Отметьте разницу в ее действии на стрелку.

3) Покажите, что введение железного сердечника в катушку аналогично увеличению числа ее ампер-витков.

4) Покажите, что круговой ток (рамка с током) определенным образом ориентируется в магнитном поле.

Описанную выше самодельную рамку присоедините через ключ к батарее аккумуляторов ($I = 4$ *а*) и расположите ее в магнитном поле прямого тока (рис. 218). Для получения достаточно сильного магнитного поля по проводнику надо пропустить ток порядка 5—6 а. Покажите ориентирующее действие, оказываемое магнитным полем тока на рамку с током.

Вопросы

1. Как объяснить поворот рамки в поле прямого тока?

2. При каком расположении относительно проводника, создающего магнитное поле, рамка испытывает максимальный момент пары сил?

3. Как на основании опытов задания 4 разъяснить гипотезу Ампера?

Введение понятия напряженности магнитного поля

Прежде чем ввести понятие напряженности магнитного поля, надо изучить магнитные свойства рамки с током. Изучению этих свойств посвящены опыты четырех следующих заданий.

Задание 5. Покажите, что момент пары сил, действующей на рамку с током в магнитном поле, зависит от величины тока, обтекающего рамку.

Соберите цепь, состоящую из прямоугольной рамки с током ($S = 25$ *см*², $n = 100$ витков), гальванометра, реостата, ключа и источника постоянного тока до 6 *в*. Поместите рамку в магнитное поле прямого тока так, чтобы нормаль к ее плоскости была перпендикулярна магнитным силовым линиям поля и, изменяя величину тока в цепи, покажите изменение угла поворота рамки от первоначального положения.

Для получения достаточно сильного магнитного поля по проводнику необходимо пропустить на короткое время ток порядка 5—8 *а*.

Задание 6. Покажите, что момент пары сил, действующей на рамку с током в магнитном поле, зависит от числа витков рамки.

Возьмите рамку с большим числом витков ($S = 25$ *см*², $n = 200$ витков) и покажите, что эта рамка отклоняется от первоначального положения на больший угол, чем рамка в задании 5 (при одинаковых токах в рамках). Первоначальное положение рамки в поле прямого тока должно быть прежним.

Задание 7. Покажите, что момент пары сил, действующей на рамку с током в магнитном поле, не зависит от формы рамки.

Возьмите рамку треугольной формы ($S = 25$ *см*², $n = 200$ витков) и покажите, что эта рамка повернется на тот же угол, что и прямоугольная рамка, ей равновеликая и имеющая то же число витков (токи в рамках одинаковы).

Задание 8. Покажите, что момент пары сил, действующей на рамку с током в магнитном поле, зависит от площади рамки.

Возьмите прямоугольную рамку, площадь которой равна 100 *см*² ($n = 200$ витков). Покажите, что эта рамка поворачивается на больший угол, чем рамки в двух предыдущих заданиях.

Вопросы

1. Почему в четырех последних заданиях рамку предлагается располагать так, чтобы нормаль к ее плоскости была перпендикулярна магнитным силовым линиям?

2. Почему по углу поворота рамки можно судить о моменте пары сил, действующей на рамку?

В результате проведенных опытов установлено, что действие магнитного поля на рамку с током зависит от свойств самой рамки: от ее площади S, числа витков n и величины протекающего по ней тока I. Для характеристики рамки необходимо ввести понятие магнитного момента рамки p_m. Момент рамки $p_m = kISn$. Коэффициент пропорциональности выбран равным 0,1, т. е. $p_m = 0,1ISn$. Отсюда вытекает, что единичным магнитным моментом будет обладать, например, такая рамка, которая имеет площадь 1 *см*², обтекается током 1 *а* и содержит 10 витков.

Далее надо указать, что магнитный момент — величина векторная. Это последнее утверждение легко можно проверить на опыте, изменив первоначальный ток в рамке на противоположный. Магнитный момент изображается вектором, перпендикулярным плоскости рамки. Магнитный момент считается положительным, если при рассмотрении тока с конца нормали он кажется идущим против часовой стрелки.

После этого приступаем к обоснованию введения понятия напряженности магнитного поля.

Задание 9. Покажите, что момент пары сил, действующей на рамку с током в магнитном поле, зависит от того, в каком месте поля находится рамка.

Указание. В качестве исследуемого поля можно взять то же поле прямого тока.

Задание 10. Покажите, что момент пары сил, действующей на рамку с током, зависит от магнитного поля.

Указание. Изменение магнитного поля создается изменением тока, создающего поле. Положение пробной рамки в поле должно оставаться неизменным.

Из последних двух опытов вытекает, что момент пары сил, действующей на рамку с током, зависит не только от свойств самой рамки, но и от магнитного поля: в разных частях поля и в разных полях он оказывается различным. Если из первых опытов можно было заключить, что $M \sim p_m$ (M — момент пары сил), то теперь можно записать $M \sim H$, или $H = c\frac{M}{p_m}$, где H — напряженность магнитного поля, т. е. величина, характеризующая магнитное поле и измеряемая максимальным моментом пары сил, действующей в вакууме на рамку с единичным магнитным моментом.

После этого вводится единица напряженности *эрстед* как напряженность такого магнитного поля, в котором на рамку с единичным магнитным моментом действует максимальный момент пары сил, равный одной дине на сантиметр.

Далее указывается, что напряженность — величина векторная. За направление напряженности в данной точке поля принимается направление, по которому устанавливается положительный магнитный момент рамки, находящейся в данной точке.

Магнитное поле прямого и кругового токов. Поле соленоида

Задание 11. Покажите, что ориентация магнитной стрелки аналогична ориентации рамки с током, а направление северного полюса стрелки совпадает с направлением положительной нормали к плоскости рамки.

Как объяснить на основании опыта возможность исследования магнитного поля с помощью магнитных стрелок и железных опилок?

Задание 12. Покажите магнитный спектр прямого тока.

Указание. Для получения хорошего спектра необходимо по проводнику пропустить ток порядка 6—8 *а*. Железные опилки лучше взять крупные. Для показа спектра классу необходимо полученный спектр хорошо осветить и воспользоваться наклонным зеркалом.

Задание 13. Покажите магнитный спектр кругового тока.

Задание 14. Покажите магнитный спектр соленоида.

Задание 15. Получите магнитный спектр на бумаге, покрытой парафином, а затем парафин подогрейте. После остывания парафина спектр закрепляется на бумаге.

Дайте методическую оценку демонстрации такого спектра.

Приборы и материалы

Источники постоянного тока: батареи аккумуляторов с разрядным током до 10 *а*, электрораспределительный щит; выпрямители; приборы для исследования магнитного поля прямолинейного, кругового, соленоидального токов; набор рамок для исследования магнитного поля: три прямоугольные ($S = 5 \times 5$ *см*², $n = 100$ витков; $S = 10 \times 10$ *см*², $n = 200$ витков; $S = 5 \times 5$ *см*², $n = 200$ витков) и одна треугольной формы ($S = 25$ *см*², $n = 200$ витков); стрелка склонения на подставке; 6—8 малых магнитных стрелок; реостаты; штативы — 2 шт.; ключ; переключатель; набор проводов; железные опилки; сито; мелкие гвозди; картонные маленькие стрелки.

Работа № 12

27. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

Демонстрационный эксперимент по этой теме в техническом отношении несложен. Поэтому главное внимание надо сосредоточить на методике проведения эксперимента.

При изложении темы в VII классе индукционный ток обычно возбуждается в катушках, чтобы величина тока имела значение порядка 10^{-3} *а* и для обнаружения его можно было бы воспользоваться демонстрационным гальванометром или демонстрационным амперметром.

На протяжении многих лет в школах используются фабричные индукционные катушки (рис. 219). Однако использование этих

катушек не позволяет дать экспериментального обоснования правила правой руки.

Правда, в последнее время Главучтехпром несколько улучшил качество этих индукционных катушек, отобрав их шелковым проводом, имитирующим направление намотки. Несмотря на это, вместо фабричной индукционной катушки удобнее использовать самодельную катушку.

Самодельная катушка представляет собой моток эбонитовой проволоки. Размеры этого мотка определяются значением индукционного тока, регистрируемого указанным прибором. Этим требованиям удовлетворяет моток с внутренним диаметром 6—7 см, имеющий 50—70 витков. Чтобы было видно направление витков, следует гибкого конца и 2—3 крайних витка с обеих сторон мотка окрасить в разные цвета.

Рис. 218

В VII классе изложение этой темы носит качественный характер. В X классе требуется дать этому явлению количественную оценку. В частности, требуется экспериментально иллюстрировать соотношение $E = -\Delta\Phi/\Delta t$, справедливое при возбуждении э. д. с. индукции в линейном проводнике.

Обнаружить э. д. с. индукции в линейном проводнике с помощью демонстрационного гальванометра невозможно ввиду малой чувствительности прибора. Поэтому используются более чувствительные приборы — зеркальные гальванометры. В настоящее время выпускаются самоциркулирующиеся зеркальные гальванометры типа ФМ системы профессора Улитовского, которые обладают высокой чувствительностью, просты в устройстве и сравнительно недорого стоят. Однако у этих приборов шкала мала по размерам и слабый источник света. Указанные недостатки можно устранить, заменив шкалу более крупной шкалой и установив более мощный источник света.

Зеркальный гальванометр (рис. 220) состоит из трубки-кожуха *1*, внутри которой заключена магнитоэлектрическая система, смонтированная на изолирующем основании *33*. К основанию прикреплена стойка *4* с якорем *8* и магнитом *7*. Рамка *13* подвешена на нити *5*, которая припаяна к корректору *32*. Измеряемый ток подводится к рамке *13* через нить подвеса *3* и стрелку *6*, припаянную к отводу *5*. Через проводники *28* отвод и нить подвеса соединяются с наружными зажимами *30*, служащими для подключения прибора в цепь. В основании *33* укреплена нить подвеса *34* с противовесом *2*. Снизу рамки на держателе жестко укреплено сферическое зеркало *14*. Перед зеркалом в корпусе гальванометра имеется окно, закрытое защитным плоскопараллельным стеклом. Кнопка арретира *26* смонтирована на задней стенке кожуха и проходит через скользящую пластину. При работе прибора кнопка арретира должна находиться в нижнем положении. Осветитель прибора состоит из двух шарнирно соединенных трубок *23* и *27*, снабженных патроном и

выносной втулкой *24* с плоским зеркалом *10*. В трубке *23* вставлен плотно стержень *22* с угольником *19* и хомутом *16*, в который закрепляется корпус патрона *15* для лампочки *26*. В хомуте имеется скользящий винт *21*, к которому под гайку *18* подключается один из проводов, питающий лампочку, а второй провод подключается к зажиму *17* в основании патрона *15*. Дужка *11* и кнопка *12* позволяют поворачивать зеркало *10* в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Крышка *31* при транспортировке прибора освобождается от свободной посадки на основание *33*. В этом случае прибор будет находиться в подвешенном состоянии на кронштейне крышки.

Обращение с прибором. Для установки прибора в стену вбивается штырь *29*, на который через отверстие *A* надевается трубка осветителя *27*. Через отверстие *Б* осветитель неподвижно прикрепляется шурупом к стене в вертикальном положении.

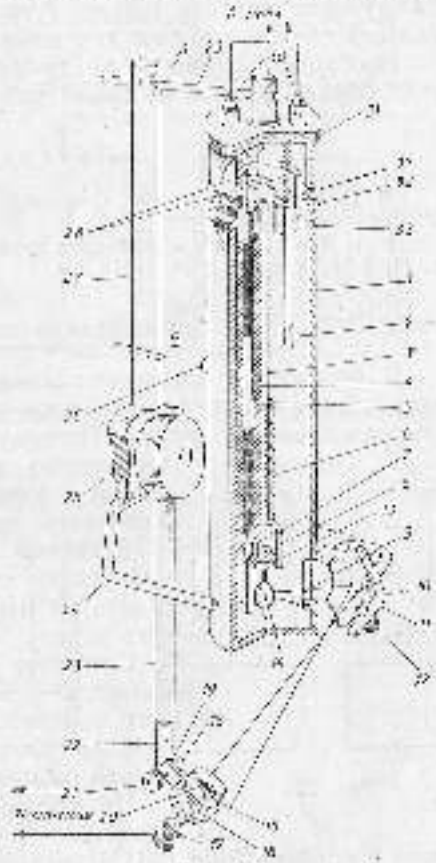


Рис. 220

Гальванометр должен висеть свободно, не касаясь деталей осветителя. После того как подвешенный гальванометр успокоится от качки, необходимо проверить положение сферического зеркала относительно окна гальванометра *9*. Нужного положения зеркала добиваются поворотом корректора в ту или другую сторону. Зеркало осветителя надлежит установить параллельно окну гальванометра с наклоном вниз под углом около 45°. Патрон *15* с лампочкой осветителя надо повернуть на угольнике так, чтобы луч света от лампочки вышел на середину плоского зеркала осветителя и, следовательно, сферического зеркала гальванометра.

Меняя положение зеркала осветителя в наклонной плоскости, выводят световой зайчик на шкалу. Фокусировка зайчика достигается передвижением стержня *22* с патроном и лампочкой вверх или вниз относительно подвижной трубки осветителя. Поворотом нижней трубки осветителя вправо или влево относительно его

вертикального положения добиваются установки светового зайчика на нулевое деление шкалы.

Устранение косого (диагонального) перемещения световой отметки по шкале достигается поворотом зеркала осветителя вокруг оси кнопкой 12.

После неоднократной проверки возвращения светового зайчика на нулевое деление шкалы (устойчивость нуля) прибор можно считать подготовленным для демонстраций.

Необходимо помнить, что прибор требует бережного и осторожного обращения как во время работы, так и при установке.

Литература

Д. Д. Галанин и др., Физический эксперимент в школе, т. IV, § 18—20, Учпедгиз, М., 1954.

Е. Н. Горячкин, Методика преподавания физики в семилетней школе, ч. II, § 50, Учпедгиз, М., 1946.

Демонстрации для VII класса

В опытах по электромагнитной индукции учащиеся впервые встречаются с источниками тока, которые не обладают постоянно обозначенными полюсами. Поэтому перед демонстрациями по теме необходимо предварительно показать, как можно определять направление тока, если неизвестны полюса источника тока.

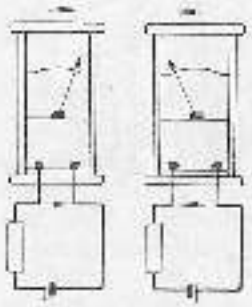


Рис. 221

Задание 1. Покажите, как по направлению отклонения стрелки гальванометра можно судить о направлении проходящего через него тока.

Составьте цепь из сухого элемента, многомодного реостата, ключа, демонстрационного гальванометра. При замыкании цепи стрелка гальванометра отклоняется влево или вправо от нулевого деления шкалы.

На классной доске дайте условный рисунок цепи и отметьте стрелкой направление тока в приборе (рис. 221). Изменив направление тока на обратное, дайте второй рисунок.

Задание 2. Покажите возникновение индукционного тока при движении проводника относительно магнита.

Закрепите подковообразный магнит так, чтобы силовые линии однородной части поля магнита шли параллельно дальнему краю демонстрационного стола. Возьмите моток проволоки, соединенный с гальванометром, и быстро опустите его на конец магнита с северным полюсом. Покажите отклонение стрелки гальванометра. Как по этому отклонению определить направление индукционного тока в той части мотка, которая находится между ветвями магнита?

Быстрым движением удалите моток от северного конца магнита. Определите направление индукционного тока и выполните соответствующий чертеж (рис. 222).

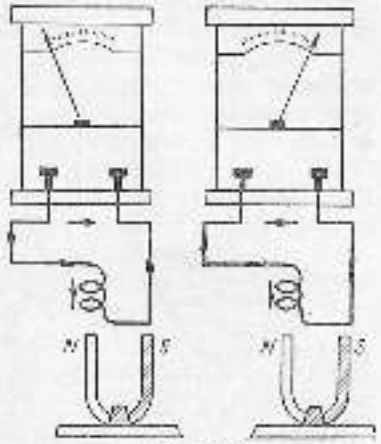


Рис. 222

Поменяйте местами полюса магнита (поверните магнит) и повторите опыты. Как на основе этих опытов установить правило правой руки? Можно ли установить правило правой руки, если вместо подковообразного магнита использовать прямой магнит?

Задание 3. Покажите, что направление индукционного тока зависит при данном направлении поля только от направления движения проводника.

Укрепите моток в штативе и соедините концы мотка с демонстрационным гальванометром. Введите в моток северный полюс подковообразного магнита так, чтобы между полюсами магнита оказалась то же часть мотка, что и в задании 2.

Отметьте направление индукционного тока и сравните его с направлением тока в соответствующем опыте задания 2.

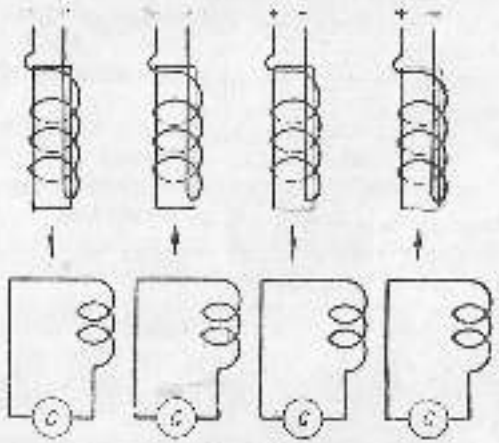


Рис. 223

Перемените места полюсов и повторите предыдущие опыты. Сравните направление тока с направлением тока в соответствующем опыте задания 2.

Как показать, что индукционный ток не возникает, если относительное положение проводника и магнита не изменяется?

Задание 4. Покажите, что сила индукционного тока зависит от скорости перемещения проводника в однородном магнитном поле.

Задание 5. Покажите, что индукционный ток возникает при перемещении проводника в магнитном поле тока.

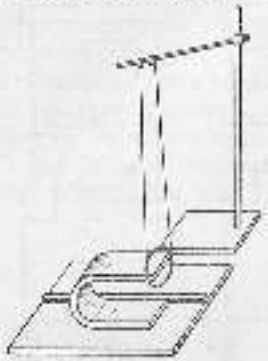


Рис. 222

Составьте цепь из батареи аккумуляторов, ключа, реостата, катушки. Другую цепь составьте из витка проволоки и демонстрационного гальванометра.

Покажите, что при движении катушки с током относительно витка, замкнутого на гальванометр, в последнем возбуждается индукционный ток.

Отметьте направление тока в катушке и отклонение стрелки гальванометра. Определите направление индукционного тока.

Повторите опыт, изменив направление движения катушки. Измените направление тока в катушке и повторите опыты. Зарисуйте проделанные опыты (рис. 223).

Сделайте вывод из этих демонстраций.

Задание 6. Покажите, что индукционный ток возбуждается в проводнике при всяком изменении магнитного поля, в котором находится проводник.

Возьмите установку задания 5. При замкнутой первой цепи введите катушку в виток. Покажите, что индукционный ток возникает:

а) при замыкании цепи, б) при размыкании цепи, в) при увеличении тока в катушке, г) при уменьшении тока в катушке.

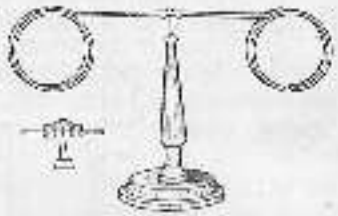


Рис. 225

Сравните направления индукционных токов в опытах заданий 5 и 6 и сделайте общий вывод относительно условия возникновения индукционного тока и его направления.

Задание 7. Покажите отдельные опыты, объясняемые законом Ленца.

Соберите установку по рисунку 224. Наблюдайте за движением подвешенного алюминиевого кольца при быстром удалении магнита и быстром приближении магнита.

Покажите эту же демонстрацию с помощью прибора, изображенного на рисунке 225.

Каким образом можно усилить видимость этих демонстраций?

Демонстрации для X класса

Задание 8. Ознакомьтесь на приборе с устройством зеркального самоустанавливающегося гальванометра. Рассмотрите цепь тока в приборе, запишите характеристики прибора.

Освободите арретир прибора, подключите питание к осветительной лампе, подберите нужное расстояние между источником света и зеркалом, получите в центре шкалы яркий световой зайчик.

Задание 9. Определите зависимость направления отклонения светового зайчика гальванометра от направления тока.

Замкнув через самого экспериментатора цепь сухого элемента и зеркального гальванометра, отметьте, какому направлению тока в цепи соответствует отклонение светового зайчика. Укажите это направление на рисунке, аналогичном рисунку 221.

Задание 10. Покажите, что направление э. д. с. индукции в линейном проводнике зависит от направления силовых линий магнитного поля и от направления движения проводника.

Установите подковообразный магнит так, чтобы силовые линии в однородной части его поля шли горизонтально.

Возьмите прямолинейный участок провода и быстро введите его в поле магнита. Отметьте на чертеже направление силовых линий поля, направление движения проводника и направление индукционного тока (направление э. д. с. индукции).

Выведите проводник из поля магнита. Отметьте направления тока, поля и движения проводника.

Повторите опыты, изменив направление магнитного поля на противоположное.

Задание 11. Покажите, что величина э. д. с. индукции зависит от скорости движения проводника в магнитном поле.

Задание 12. Покажите, что величина э. д. с. индукции зависит от угла между направлением движения проводника и направлением силовых линий поля.

Перемещайте проводник с одной и той же скоростью (наибольшей):

а) перпендикулярно к силовым линиям магнитного поля, б) вдоль силовых линий, в) наклонно к силовым линиям.

По отклонению светового зайчика заключите о характере зависимости э. д. с. индукции от величины угла.

Задание 13. Покажите, что величина э. д. с. индукции зависит от напряженности магнитного поля, в котором перемещают проводник.

Сначала покажите различные напряженности полей двух подковообразных магнитов по различию их действий на магнитную стрелку. Затем пересекайте одним и тем же линейным проводником силовые линии каждого магнита (с одной и той же скоростью) и наблюдайте отклонение светового зайчика. Дайте ответ на поставленный вопрос.

Задание 14. Покажите, что величина э. д. с. индукции зависит от длины проводника.

Для этого последовательно перемещайте одинаковым способом проводники различной длины в поле магнита. Возьмите сначала проводник длиной, равной половине ширины магнита. Затем длину его удвойте, утройте и т. д. (в последних случаях проводник

сгибайте в форме прямоугольника). Наблюдайте за отклонением зайчика и установите характер зависимости э. д. с. индукции от длины проводника.

Какой общий вывод можно сделать из опытов заданий 11—14? В чем недостаток демонстраций, устанавливающих количественную зависимость э. д. с. индукции?

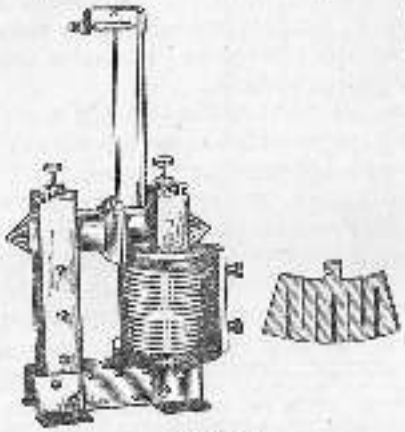


Рис. 226

Задание 15. Покажите, что в бифилярном проводнике не возникает э. д. с. индукции при пересечении проводником силовых линий поля.

Задание 16. Покажите возбуждение э. д. с. индукции в магнитном поле Земли.

Возьмите моток из медной проволоки диаметром 50—60 см, имеющий 20—30 витков. Концы мотка соедините с зеркальным гальванометром.

Установите на столе магнитную стрелку для определения плоскости магнитного меридиана.

Перемещая моток в магнитном поле Земли, покажите возбуждение э. д. с. индукции.

При каком направлении движения возбуждается наибольшая э. д. с. индукции?

Задание 17. Покажите возникновение индукционных токов в сплошных проводниках.

Возьмите сильный электромагнит с узкой щелью в магнитопроводе (например, универсальный трансформатор).

Покажите падение монеты через щель магнитопровода при разомкнутой и замкнутой цепи электромагнита.

Соберите установку, изображенную на рисунке 226. Полюсные наконечники расположите таким образом, чтобы между ними была щель, достаточная для прохождения алюминиевых пластин маятника. Установка собирается так, чтобы качание маятника проходило без задевания за полюсные наконечники.

Высоковольтную обмотку на 220 в подключите к батарее аккумуляторов на 6—8 с. Отведите маятник на некоторый угол от положения равновесия и покажите время торможения колеблющегося маятника (из сплошной пластины) при разомкнутой и замкнутой цепи. Затем вместо сплошной пластины укрепите алюминиевую пластину с разрезами и вновь отметьте время торможения.

Как объяснить наблюдаемое явление? Какая из двух демонстраций более эффективна?

Примечание. В фабричном описании прибора «Трансформатор универсальный» рекомендуется для вышеуказанной демонстрации подключать катушку не к источнику постоянного напряжения, а к сети переменного тока. Легко понять, что и в этом случае будет наблюдаться торможение колеблющегося маятника. Однако в чем состоит методический недочет этой рекомендации?

Вопросы

1. Почему колебания магнитной стрелки быстро затухают, если над ней поместить кусок металла, например медный диск?

2. Что происходит с магнитной стрелкой, подвешенной над медным диском, при вращении диска?

Приборы и материалы

Демонстрационный гальванометр; зеркальный самонивелирующийся гальванометр; универсальный электромагнит; подковообразные магниты разных размеров; моток звонковой проволоки; индукционные катушки; медный диск для насадки на центробежную машину; магнитная стрелка; реостат с подвижным контактом; прибор для демонстрации закона Ленца; батарея аккумуляторов; легкое алюминиевое кольцо на двухнитяном подвесе; штативы; подъемные стойки; указатели направления тока.

28. ВЗАИМНАЯ ИНДУКЦИЯ И САМОИНДУКЦИЯ

Эта работа посвящена рассмотрению частных случаев явления электромагнитной индукции, имеющих большое практическое применение в электротехнике и радиотехнике.

Величина э. д. с. взаимной индукции выражается известной формулой

$$E_1 = -M\frac{\Delta I_2}{\Delta t},$$

где M — коэффициент взаимной индукции.

Для экспериментального обоснования этой зависимости необходимо показать, что величина э. д. с., возбуждаемая в одном контуре при взаимной индукции, зависит от скорости изменения тока в другом контуре и от коэффициента взаимной индукции этих двух контуров.

Очень важно экспериментально показать, что коэффициент взаимной индукции зависит от формы, размеров, взаимного расположения двух цепей, т. е. эта величина зависит от этих геометрических характеристик двух цепей и магнитной проницаемости среды.

Для упрощения эксперимента в предлагаемых демонстрациях рекомендуется измерять э. д. с. индукции, возбуждаемую лишь в одном контуре.

8 р. 15 к.
с 1/I 1961 г. — 82 к.