

Цена 2 р. 85 к.

А.А.ПОКРОВСКИЙ, Б.С.ЗВОРЫКИН

ФРОНТАЛЬНЫЕ
ЛАБОРАТОРНЫЕ
ЗАНЯТИЯ
ПО ФИЗИКЕ

УЧ ПЕД ГИ З
1964

АКАДЕМИЯ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ НАУК РСФСР
ИНСТИТУТ МЕТОДОВ ОБРАЗОВАНИЯ

Л. А. ПОКРОВСКИЙ и В. С. ЗВОРЫКИН

ФРОНТАЛЬНЫЕ
ЛАБОРАТОРНЫЕ
ЗАНЯТИЯ ПО ФИЗИКЕ
В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ

РУКОВОДСТВО
ДЛЯ УЧИТЕЛЕЙ
СРЕДНЕЙ ШКОЛЫ

издание четвертое, исправленное

ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УЧЕБНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ПРОСВЕЩЕНИЯ РСФСР
Москва 1954

ПРЕДИСЛОВИЕ К 4-МУ ИЗДАНИЮ

Экспериментальные образцы приборов для фронтальных занятий по физике разрабатывались авторами в отделе наглядных пособий Института методов обучения АПН РСФСР. Эти приборы были выполнены в 13-ти экземплярах экспериментальной мастерской отдела, проверены в 315-й Московской средней школе и описаны в первых двух изданиях.

После первого издания настоящего руководства прошло несколько лет. За это время описание оборудования вошло в обязательные списки учебно-научных пособий семилетней и средней школы, опубликованное Министерством просвещения РСФСР, и полностью освоено промышленностью. В процессе подготовки оборудования к серийному выпуску заводами Главгидрометстроя были проведены изменения и усовершенствования в конструкции и оформлении отдельных приборов и деталей, отличающие их от ранее подготовленных экспериментальных образцов.

Всё это заставило авторов ещё к третьему изданию значительно переработать и текст, и иллюстрации книги. В новом издании рекомендуемое оборудование полностью совпадает с тем, которое выпускается и настящее время в продажу Главгидрометростю.

Кроме того, в книгу введена новая III глава; в ней подробно раскрыта методика проведения лабораторных занятий на один фронт и показано, как фронтальное оборудование может быть применено на занятиях по физике в качестве «раздаточного материала» во время объяснения преподавателя.

При перезадачке книги были принятые во внимание различные замечания и пожелания преподавателей и методистов, которые, пользуясь нашим руководством, проводили фронтальные лабораторные занятия по физике в школе и накопили свой опыт. В связи с этим и в описание работ также внесены некоторые изменения.

За все присланые и сделанные устно указания, позволяющие улучшить книгу, авторы приносят товарищам искреннюю благодарность.

ВВЕДЕНИЕ

Многие преподаватели физики проводят в настоящее время те или иные работы, связанные с физическим экспериментом: организуют практикумы, различные физические кружки, дают домашние экспериментальные задания и т. д. Среди этих разнородных форм обучения, приводящих к всестороннему развитию учащихся, особенно большое значение имеют классные лабораторные работы, проводимые фронтально.

Фронтальный метод постановки лабораторных занятий по физике в средней школе, как известно, имеет ряд весьма важных подожительных сторон. Этот метод прежде всего даёт возможность тесно связать лабораторные работы учащихся с изучаемым курсом. Благодаря фронтальному методу лабораторные занятия могут быть поставлены как введение к тому или иному разделу курса, или как иллюстрация к объяснению учителя, или как повторение и обобщение пройденного материала.

Таким образом, лабораторный эксперимент учащихся становится необходимым звеном в процессе обучения, значительно помогающим усвоению материала, как и демонстрационные опыты.

Кроме того, фронтальный метод позволяет привить учащимся некоторые начальные практические навыки в обращении с простейшими измерительными приборами и другой аппаратурой.

Практика показывает, что в процессе обучения навыки не могут и не должны быть отделены от знаний. Навыки приобретаются вместе со знаниями и при этом весьма важно с самого начала привить учащимся навыки правильные, так как неправильные навыки почти всегда сильно ограничивают возможности получения хороших результатов и с большим трудом исправляются.

С этой точки зрения фронтальные лабораторные работы имеют первостепенное значение.

Выполнение того или иного задания во время фронтальных занятий целиком проходит при коллективной работе всего класса под постоянным и непосредственным наблюдением преподавателя. В таком случае всякая ошибка быстро обнаруживается и легко исправляется или по указаниям преподавателя, или путём подражания более сильным товарищам.

Правда, учащимся прививаются лишь самые элементарные практические навыки обращения с приборами, так как по методическим соображениям учебное оборудование для фронтальных занятий подбирается простое, чтобы освоение его не отвлекало учащихся от основного — изучения физических явлений и закономерностей.

Фронтальные лабораторные занятия, в отличие от практикума, дают полную возможность в конце урока коллективно обсуждать и оценивать результаты, полученные каждым звеном учащихся, путём их сравнения. Такое заключительное обсуждение может быть проведено в случае необходимости после каждой лабораторной работы.

Однако, несмотря на все эти положительные стороны фронтального метода, полностью подтверждённые практикой, фронтальные лабораторные работы по физике не являются, к сожалению, доминирующими в наших средних школах. Кроме фронтальных лабораторных работ существует ещё другой вид лабораторных занятий по физике — повторительные практикумы, организуемые в конце большого раздела или всего годового курса физики. В задачу таких практикумов в основном входит: развитие большей самостоятельности учащихся, дальнейшее расширение и углубление полученных ранее навыков, знакомство с более сложными техническими и бытовыми приборами и т. д. По целому ряду причин в школах зачастую вместо фронтальных лабораторных работ ограничиваются организацией только практикумов. Такая полемна недопустима, ибо несмотря на всю безусловную ценность практикумов, они всё же не могут целиком заменить собою фронтальные работы; их целесообразнее проводить в старших классах параллельно с фронтальными занятиями, как это подробно описано в книге «Практикум по физике»¹.

¹ А. А. Покровский и др., Практикум по физике в старших классах средней школы, М., изд. АПН РСФСР, 1951.

Одной из причин, тормозивших развитие фронтальных работ, являлась недостаточность и некомплектность лабораторного оборудования, которое ранее выпускалось промышленностью. Это заставляло педагога тратить при подборе приборов для лабораторных занятий излишне много времени. Поэтому некоторые преподаватели физики вынуждены были ставить фронтальные лабораторные работы на приборах, изготовленных учащимися в школьных условиях.

Однако, чтобы занятия полностью удовлетворяли современным методическим требованиям, проводить лабораторные работы только с самодельными приборами никак нельзя. При всех условиях лабораторные работы по физике требуют целого ряда различных измерительных приборов, из которых лишь немногие могут быть изготовлены в школе. Среди оборудования для лабораторных занятий есть мелкие приборы и приспособления, которые могут быть выполнены и самими учащимися. Эти простейшие самодельные приборы и детали зачастую оказываются ничуть не хуже фабричных, и загружать ими промышленность далеко не всегда имеет смысла.

Чтобы правильно решить вопрос об оборудовании, необходимо сочетание самодельных и промышленных приборов. Только совместная, хорошо согласованная работа промышленности и преподавателей физики по изготовлению приборов для лабораторных работ может привести к широкому и быстрому внедрению фронтальных лабораторных занятий по физике в среднюю школу.

Настоящая книга ставит своей задачей помочь учителю в постановке и проведении фронтальных лабораторных занятий специально разработанным и подобранным комплектом оборудования. Это оборудование было проверено на практике в 315-й школе г. Москвы и одобрено Комиссией по наглядным пособиям при Министерстве просвещения РСФСР. Почти все приборы комплекта освоены промышленностью и выпущены в продажу.

Чтобы помощь была более полной, в книге прежде всего даётся подробное описание оборудования в определённой последовательности — от измерительных приборов до материалов, причём большинство однотипных приборов и деталей представлено на рисунках отдельно и в специальных укладках. Это даёт возможность представить и сами приборы и способ их рационального

хранения. Укладку можно, в случае необходимости, изготовить своими силами по рисунку.

Затем даются указания по методике проведения фронтальных занятий и приводится достаточно подробное описание наиболее важных лабораторных работ, которые могут быть поставлены с этим оборудованием; имеются рисунки установок, помогающие быстро собрать оборудование любой из описанных работ. Эти рисунки сопровождаются перечнем оборудования для данной работы, в конце которого указываются и общие для всей лаборатории приборы (настенный термометр, барометр, демонстрационные часы и т. д.). Об общих приборах в каждом отдельном случае даются соответствующие указания.

Кроме того, почти во всех описанных лабораторных работах даны конкретные примеры из непосредственного опыта проведения фронтальных занятий в 315-й школе, а также расчёты максимальной относительной погрешности полученных результатов.

Всё это даёт возможность преподавателю заранее представить себе, что можно на практике получить с предлагаемым оборудованием и как наиболее рационально пользоваться им для организации занятий.

Таким образом, что руководство имеет целью достаточно коротко раскрыть методику и технику постановки фронтальных лабораторных занятий, чтобы учитель мог продуктивнее затратить свой труд при подборе оборудования и организации таких занятий. Лишь некоторые работы описываются в отдельные методические указания излагаются в краткой и сжатой форме; предполагается, что они общеизвестны и имеются в методической литературе.

Надо помнить, что описания лабораторных работ и оборудования составлены специально для учителя. Поэтому эти описания никак не могут служить руководством для учащихся. Более того, практика показывает, что школьные руководства для учащихся при выполнении фронтальных работ вообще являются лишними.

За ранее учтены возможные трудности при закупке школами лабораторного оборудования, авторы наместили две очереди приобретения приборов, принадлежностей и материалов. Причём распределение оборудования по очередям установлено в результате анализа (см. гл. I) при-

менения одних и тех же приборов и принадлежностей в различных лабораторных работах.

При комплектации оборудования имеется в виду следующие лабораторные работы, которые рекомендуется в средней школе проводить фронтальным методом.

Список № I (VI и VII классы)

1. Измерение длины, определение площади и объёма.
2. Измерение мензуркой ёмкости сосуда и объёма твёрдого тела.
3. Взвешивание на рычажных весах.
4. Гравитирование пружины и измерение силы динамометром.
5. Определение удельного веса твёрдых и жидких тел.
6. Выяснение условия плавания тела в жидкости.
7. Измерение силы трения и сравнение её с весом тела.
8. Выяснение условий равновесия сил на рычаге.
9. Определение к.п.д. при подъёме тела по наклонной плоскости.
10. Проверка теплового баланса при смешении воды различной температуры.
11. Определение к.п.д. нагревателя.
12. Наблюдение за нагреванием и плавлением нафталина и построение графика температуры.
13. Наблюдение за нагреванием и кипением воды и построение графика температуры.
14. Сборка электрической цепи.
15. Проверка закона Ома для участка цепи.
16. Определение сопротивления при помощи амперметра и вольтметра.
17. Определение мощности, потребляемой электромотором или электрической лампочкой.
18. Наблюдение магнитных явлений.
19. Изучение магнитных свойств катушки с током.
20. Сборка и применение электромагнита.
21. Изучение отражения света от плоского зеркала.
22. Изучение преломления света в плоскопараллельной пластинке и призме.
23. Получение действительных изображений с помощью линзы.

Список № 2 (VIII—X классы)

24. Изучение закона равноускоренного движения по наклонной плоскости.
25. Изучение движения тела по параболе.
26. Сложение двух сил, действующих под углом друг к другу.
27. Сложение параллельных сил.
28. Проперка правила моментов сил.
29. Определение коэффициента трения.
30. Определение кпд. полиспаста.
31. Определение плотности твёрдых тел и жидкостей гидростатическим изучением.
32. Определение плотности жидкости гидрометром.
33. Проверка формулы центростремительной силы.
34. Определение величины земного ускорения.
35. Определение удельной теплоёмкости вещества.
36. Определение удельной теплоты плавления льда.
37. Проверка закона Бойля-Мариотта.
38. Проверка формулы газового состояния.
39. Определение поверхностного натяжения жидкости.
40. Изучение распределения напряжений на последовательных участках цепи.
41. Исследование параллельного соединения проводников.
42. Определение э.д.с. и внутреннего сопротивления источника тока.
43. Определение теплового эквивалента джоуля.
44. Определение электрохимического эквивалента меди.
45. Наблюдение взаимодействия магнита и тока.
46. Изучение электромагнитной индукции.
47. Построение изображения в плоском зеркале.
48. Определение показателя преломления стекла.
49. Определение фокусного расстояния согнутого зеркала.
50. Определение фокусного расстояния собирающей линзы.
51. Определение фокусного расстояния рассеивающей линзы.
52. Сборка моделей трубы Кеплера, микроскопа и трубы Галилея.
53. Сборка модели проекционного фонари.

Выбор работ, помещённых в списках, определялся двумя факторами: методической необходимостью, в основу которой положен минимум работ, предусмотренных в программах, и технической целесообразностью их постановки. Поэтому некоторые работы, относящиеся главным образом к старшим классам, которые, казалось бы, следовало также поставить фронтально, в списках отсутствуют. Примером этого могут служить работы: 1) определение длины звуковой волны методом резонанса; 2) проверка законов освещённости; 3) определение термического коэффициента давления воздуха; 4) определение механического эквивалента теплоты и некоторые другие.

Анализ условий подготовки и проведения последних работ и всех необходимых деталей оборудования заставляет отнести их в практикум, который, как было указано выше, должен быть организован для VIII—X классов параллельно фронтальным занятиям. Так, фронтальное проведение работ по определению длины звуковой волны методом резонанса и проверка законов освещённости сильно затрудняется тем, что одновременно приходится пользоваться всем звеньям источниками звука (свистики, камертоны и т. п.) в первой работе и источниками спектра — во второй. Это создаёт условия, при которых трудно поставить правильно наблюдения и измерения. Установка для третьей работы — определение термического коэффициента давления воздуха — связана с хрупким стеклянным прибором (газовый термометр), наполненным ртутью, который по своему характеру никак не может быть рекомендован для быстрой переноски, разборки и сборки. В четвёртой работе — определение механического эквивалента тепла — все известные до сих пор простые установки дают слишком неточные результаты. Сложные же и более совершенные приборы пригодны только для практикума, где они могут оставаться собранными некоторое длительное время и где каждое занятие проводится в течение двух уроков.

Все работы обоих списков пропорены на практике в школе; каждая работа рассчитана на один урок, т. е. на 45 мин., сюда же входит время выдачи и уборки приборов, с которыми проводят работу весь класс.

ГЛАВА I

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ФРОНТАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

Основная задача оборудования заключается в подборе комплекта приборов, принадлежностей и материалов, с которыми можно было бы поставить методически правильно и технически грамотно все намеченные выше лабораторные работы. При этом приборы и принадлежности должны быть самыми простыми по своей конструкции, почти не отвлекающими внимание учащихся и не отнимаями времени на изучение и освоение их устройства.

Все детали должны быть портативными, чтобы с ними удобно было обращаться во время работы и размещать в шкафах для хранения. Оборудование должно давать возможность производить выдачу и уборку всего необходимого к каждой работе с наименьшей затратой времени, так как организационная сторона при фронтальном методе ведения лабораторных занятий имеет решающее значение в успехе всего дела.

Очевидно, эту задачу нельзя решать по частям: сначала подбирать оборудование для той или иной отдельной работы или группы работ, а потом механически соединять его вместе. Многие приборы применяются во всех разделах курса физики, поэтому необходимо вырабатывать конструкцию этих приборов, имея в виду весь комплекс лабораторных работ.

В зависимости от этого условия (число и тематика работ) задача оборудования будет иметь различные решения.

В данном случае руководящей основой являются списки лабораторных работ, помещённые во введении, для которых и подбиралось оборудование. Весь комплект приборов, принадлежностей и материалов, перечисленных

важе, позволяет провести фронтальным методом 53 лабораторные работы. В то же время этот комплект приборов является минимальным для данного конкретного случая: исключение из перечня той или иной, даже называемой детали, как правило, приведёт к невозможности поставить какую-либо отдельную работу или несколько работ.

При окончательном выборе и разработке конструкции каждого прибора или детали обращалось особое внимание на простоту и доступность их устройства, одновременно в ущерб методическим качествам и практичности.

Чтобы раскрыть с достаточной подробностью устройство и назначение приборов и принадлежностей, представить способы и плюсы их хранения, показать тесную связь с намечанными работами и т. д., всё оборудование сведено в один общий развернутый список с соответствующими рисунками. В этом списке, помещённом ниже, кроме номеров по порядку, наименования оборудования, количества экземпляров и очередности их приобретения, в двух последних графах указываются номера лабораторных работ, в которых применяются перечисленные в списке приборы, принадлежности и материалы.

Список оборудования

№ п.п.	Наименование оборудования	Количество отличий	№ работ из списка № 1	№ работ из списка № 2
Измерительные приборы				
1	Линейка измерительная длиной 35 см с миллиметровыми делениями, деревянная или из пластика (рис. 1)	15	1, 2, 5, 25, 26, 27, 8, 21, 32, 39, 47 22, 48	
2	Угольник ученический, длина гипотенузы 20—25 см, с миллиметровыми делениями вдоль одного из катетов (рис. 2)	15	1	26, 28, 29, 37, 47, 48
3	Лента измерительная полотнищая длиной 150 см с сантиметровыми делениями (портновский «сантиметр») (рис. 3)	5	1	24, 29, 30, 33, 34, 48, 1, 9, 23, 30, 51, 53
4	Трапециметр малый ученический (рис. 4)	5	1	21, 22
5	Цилиндр измерительный (мезурка) ёмкостью 100 мл, диаметром 30 мм, с делениями по 1 мл	10	1	2, 5, 6, 10, 11
6	Весы рычажные учебные, предельная нагрузка 200 г, чувствительность 0,01 г, на штанге; весы без аретира, но с покоящейся муфтой, позволяющей ограничивать угол отклонения коромысла от положения равновесия (рис. 5 и рис. 6)	15	1	3, 5, 6, 33, 35, 36, 11, 39, 43, 44
7	Разновес от 0,01 г до 100 г и выше, с щипцами; общая масса всех разновесов 211,1 г (рис. 6)	5	1	3, 5, 6, 33, 35, 36, 11, 39, 43, 44
8	Динамометр пружинный, по Бакушинскому, на нагрузку 400 Г с ценой деления 10 Г (рис. 7); динамометр имеет ленту для подсчитывания	15	1	4, 7, 8, 26, 27, 28, 9, 29, 30, 31
9	Набор грузов из 6 шт., в клюшке для хранения; грузы массою по 100 г, каждый с двумя крючками (рис. 8)	15	1	4, 7, 8, 26, 27, 28, 9, 29, 30

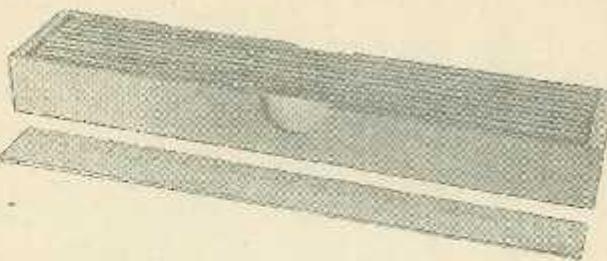


Рис. 1. Линейки измерительные

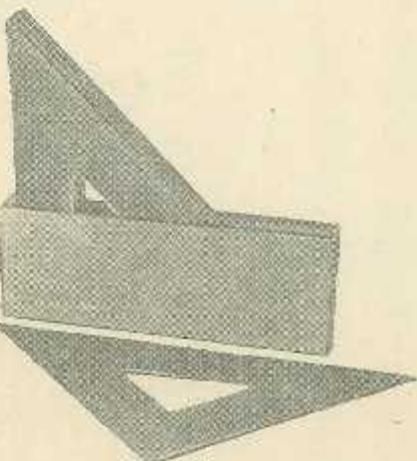


Рис. 2. Угольники

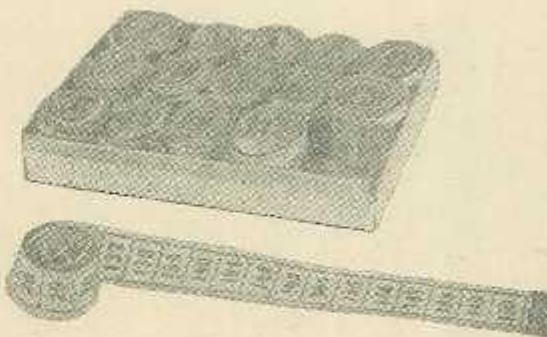


Рис. 3. Ленты измерительные

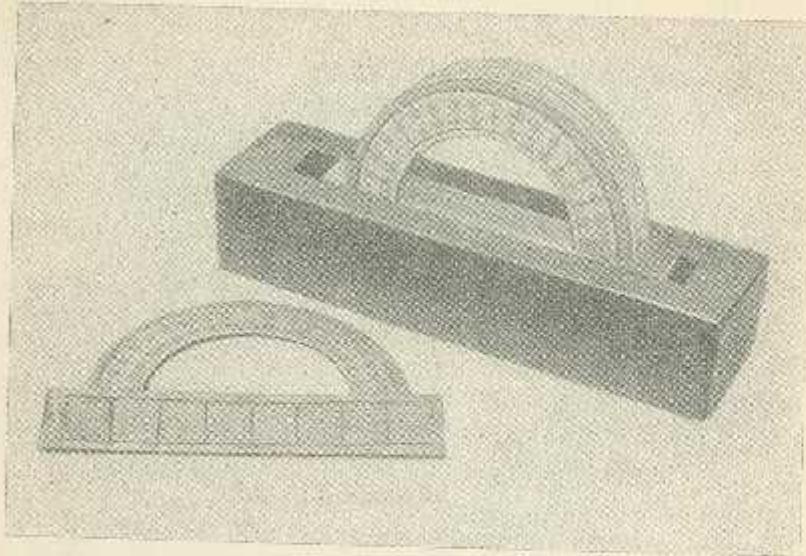


Рис. 4. Транспортеры

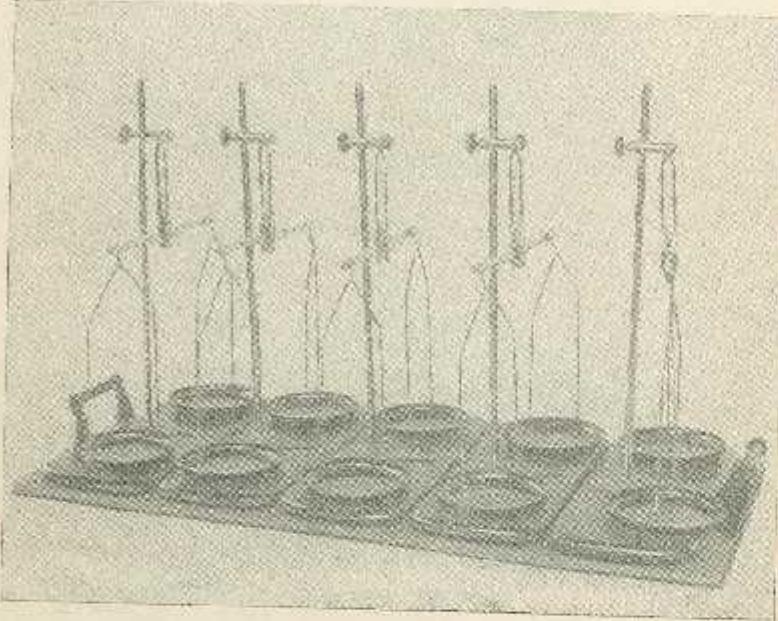


Рис. 5. Весы рычажные

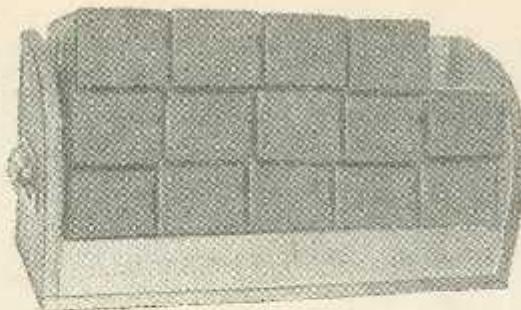


Рис. 6. Разновесы

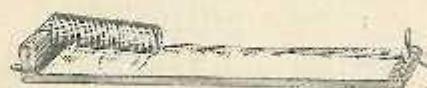
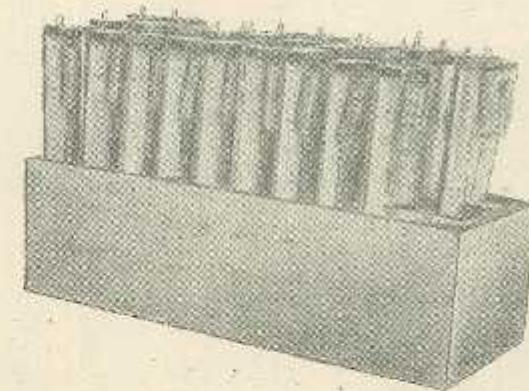
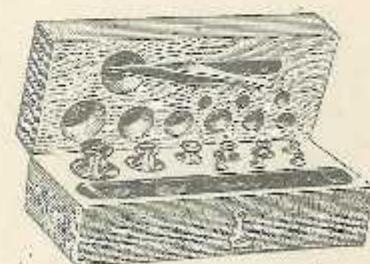


Рис. 7. Динамометры

Приложение

№ п.п.	Наименование оборудования	Количество одноряд- ных	№ работ из списка № 1	№ работ из списка № 2
10	Термометр химический от -10° до $+100^{\circ}$ с делениями на целие градусы (рис. 9)	15	1 10, 11, 35, 36, 38, 2, 13 43	
11	Амперметр (рис. 10) школьный лабораторный постоянного тока (магнитоэлектрической системы) или эмперметр, выпускаемый Глаувутехпромом, со шкалой из 2 м, разделенной на десятые доли ампера (рис. 11)	15	1 15, 16, 41, 42, 43, 17	
12	Вольтметр школьный лабораторный постоянного тока (магнитоэлектрической системы) или вольтметр, выпускаемый Глаувутехпромом, со шкалой из 4 в, разделенной на десятые доли волта	15	1 15, 16, 40, 41, 42, 17 43	
13	Часы демонстрационные с секундной и минутной стрелками, с громким отсчетом равных промежутков времени в пределах от четверти до одной секунды (рис. 12). В часах установлен заводной механизм от будильника ¹	1	1 24, 35, 34, 12, 13 43, 44	
14	Барометр-анероид или ртутный школьного типа	1	1 37, 38	
	Лабораторные приборы и принадлежности			
15	Набор из 15 прямоугольных металлических брусков размером 40 мм \times 25 мм \times 10 мм, из них 5 медных, 5 чугунных и 5 алюминиевых (рис. 13)	1	1 1, 2, 5	
16	Шагаев школьный с 2 муфтами, 1 линкой и 1 малым колышком, в котором сделано небольшое отверстие			

¹ Часы демонстрационные могут быть заменены будильником и метрономом.

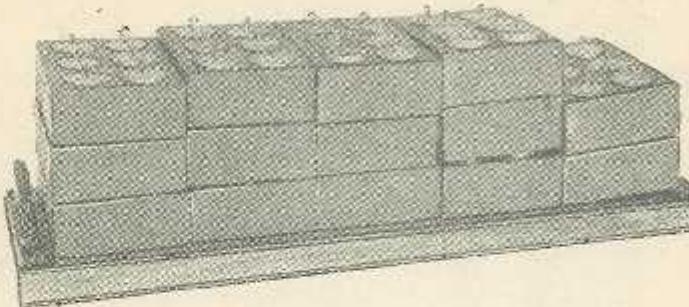


Рис. 8. Грузы по механике

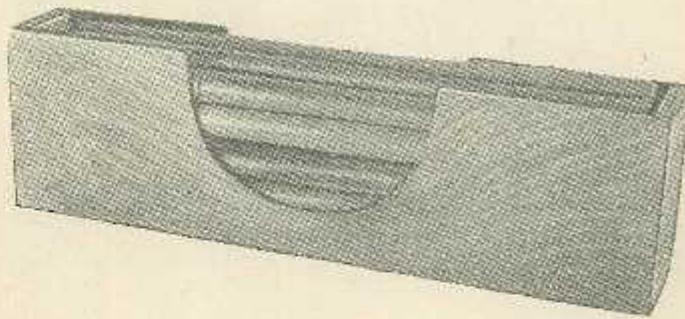


Рис. 9. Термометры

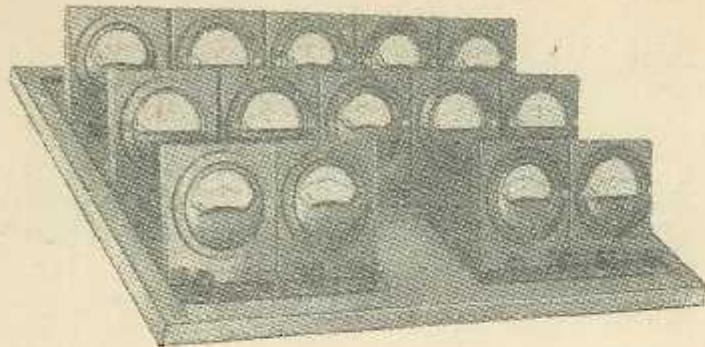


Рис. 10. Амперметры на наклонных панелях.

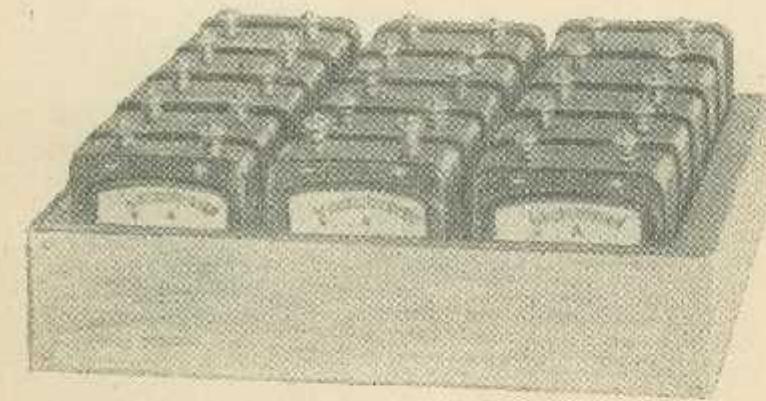
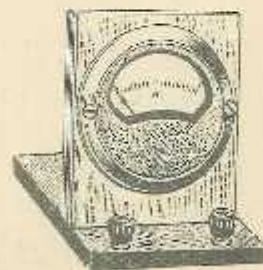


Рис. 11. Амперметры, выпускаемые Глянцевским промом.

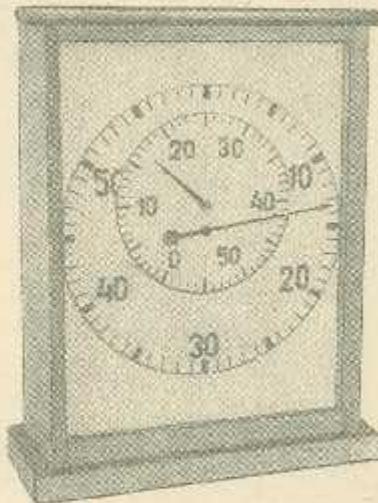


Рис. 12.
Часы-метроном демонстрационные

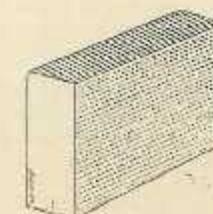
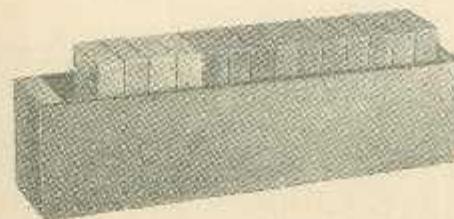


Рис. 13. Бруски металлические.

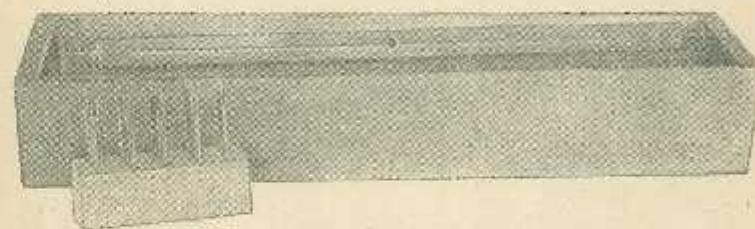


Рис. 14. Рычаги.

№ п/п	Наименование оборудования	Продолжение			
		Комплектно	Операт- ору	№ избран из списка № 1	№ работ из списка № 2
15	для подвешивания маятника	15	1	12, 13	24, 25, 26, 27, 28, 29, 3, 4, 8, 30, 31, 32, 9, 11, 33, 34, 39, 45
17	Гибометр, состоящий из деревянной линейки 50 см \times 5 см \times 0,1 см и одного деревянного прямоугольного бруска с двумя крючками и отверстием для грузов (рис. 73).	15	1	1, 7, 9	29
18	Рычаг-тинейка длиною 50 см с винтами и гайками для укрепления на стальной металлической осью, укрепляемой в штанге штатива, с 4 серёжками из стальной проволоки для подвешивания грузов на рычаге (рис. 14).	15	1	8	27, 28
19	Жалоб деревянный длиною 140 см, высотою 5 см и шириной 2 см (из алюминиевого сплава с бортами 20—25 мм) (рис. 96).	15	1	24, 50, 51, 52, 53	
20	Шарик металлический диаметром 15—20 мм с отверстием для штифта (рис. 15).	5	1	24, 23 33, 34	
21	Лопаточек, согнутый из кровельного железа, и бумажный конус для наката и ловли шариков (рис. 16 и 17).	15	11	25	
22	Доски размером 40 см \times 40 см из фанеры толщиной 6—8 мм	15	1	25, 26	
23	Полиэтилен — два тройных блока с крючком для подвешивания на языку штатива	15	11	30	
24	Диск диаметром 25 см из фанеры толщиной 6—8 мм с металлической шайбой для насаживания на ось, металлическая ось для диска берётся от рычага № 18. Диск служит для наката правила моментом силы (рис. 18).	15	11	23	

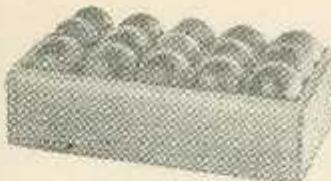


Рис. 13. Шарики

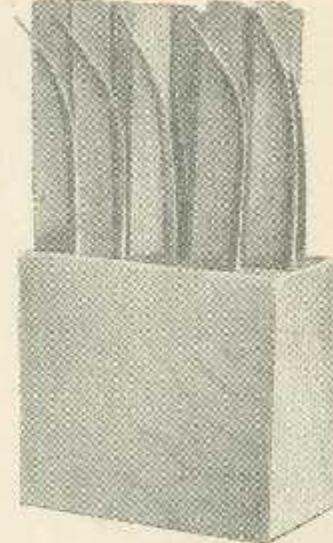
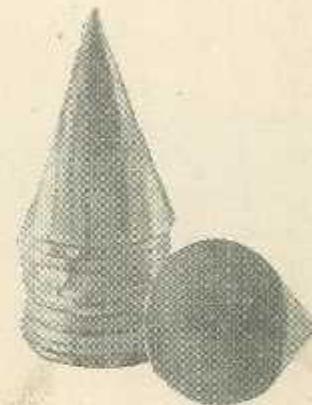


Рис. 16.
Лоточки для
пуска шариков



Рис. 17. Конусы бумажные
для ловли шариков



Продолжение

№ п.п.	Наименование оборудования	Количество	Очерт- ности	№ работ из справки № 1	№ работ из справки № 2
25	Гидрометр изготою около 15 см с двумя металлическими перстнями для укрепления в школьном штативе (рис. 19)	15	11	32	
26	Трубка стеклянная длиною 50 см со столбиком ртути; трубка укреплена на деревянной линейке с миллиметровыми делениями (рис. 20)	15	11	37	
27	Спиртovка металлическая ёмкостью 20—150 см ³ ; общий вес её со спиртом не должен превышать 200 г (рис. 21)	15	11, 12, 1 13	44	
28	Калориметр школьный с внутренним сосудом ёмкостью не более 250 см ³ и массой до 50 г; такой калориметр будет назначью соответствовать учебным весам (6), телям для калориметрии (29) и иставке со спиралькой (38) для определения теплового эквивалента джоуля (рис. 22)	15	1 10	31, 35, 36, 43	
29	Цилиндры металлические для калориметрии, диаметром 30 мм и высотой 30 мм (или диаметром 25 мм и высотой 40 мм) с крючками; 3 штук из латуни, 3 из чугуна и 5 из алюминия (рис. 23)	15	1	24, 31, 35	
30	Укороченный ртутный манометр на металлической миллиметровой шкале, по Бакушинскому (рис. 24)	15	11	38	
31	Батарея аккумуляторов З-ЛКН-10 в общем деревянном ящике (на рис. 25 показано 5 батарей) или батарея сухих элементов от карманного фонарика в металлическом футляре с двумя клеммами (на рис. 26 показаны отдельные части и весь прибор в собранном виде) ¹	15	14, 15, 16, 17, 40 19, 20, 43, 21, 22, 46, 1 23	41, 42, 44, 45, 49, 50, 51, 53	

¹ С батареи от карманного фонарика, эл.с. которой во время работы быстро падает, могут быть проиндены не все, а только некоторые работы, требующие источника тока и указанные в списке № 1 и № 2. Поэтому замену аккумуляторов батареями надо считать временной и допускать лишь в крайнем случае.

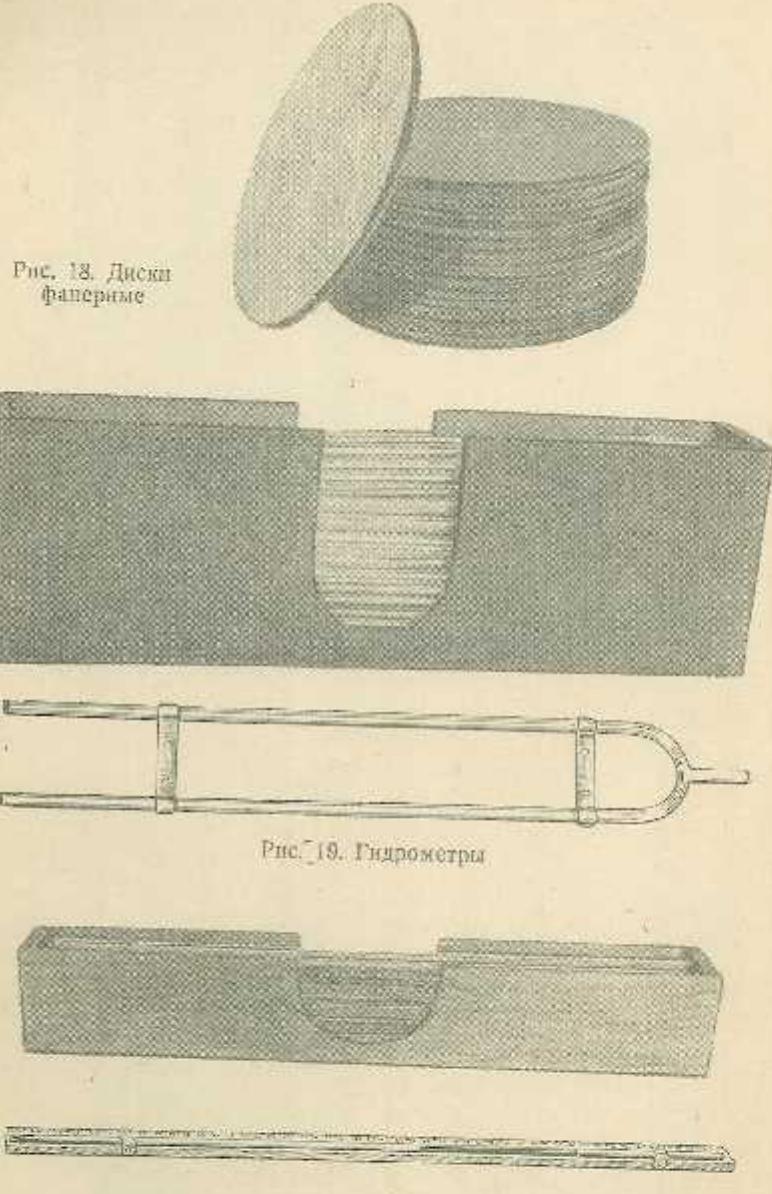


Рис. 18. Диски
фарфоровые

Рис. 19. Гидрометры

Рис. 20. Трубки стеклянные со столбиком ртути

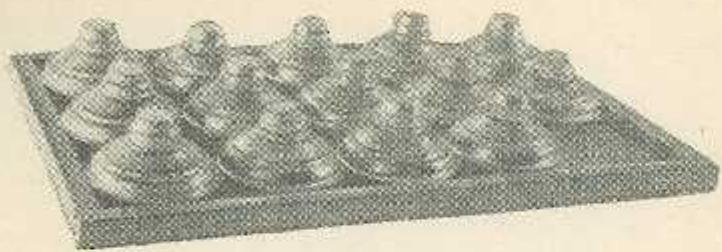


Рис. 21. Спиртовки

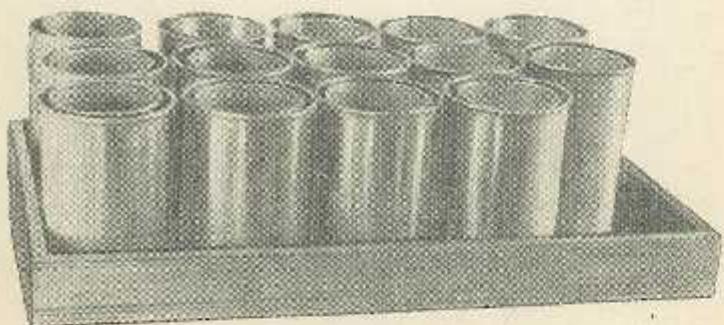
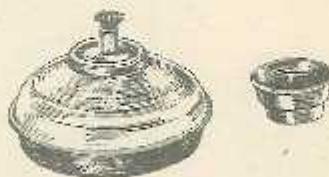


Рис. 22. Калориметры

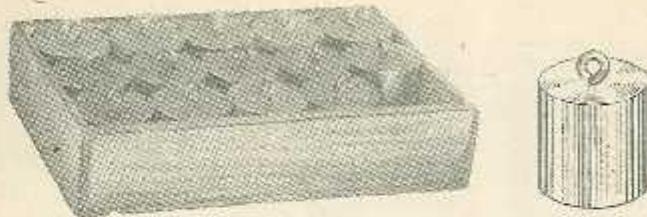
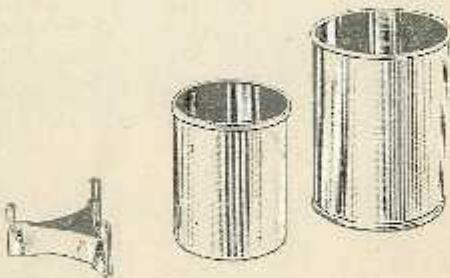


Рис. 23. Цилиндры металлические

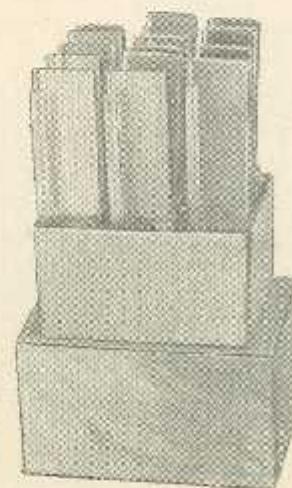


Рис. 24. Манометры ртутные, укороченные

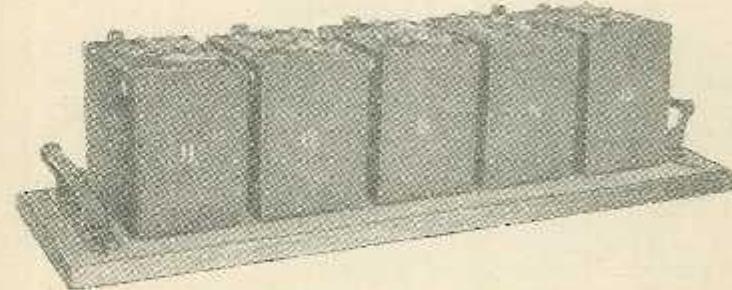


Рис. 25. Бачарен аккумуляторов

№ п.п.	Наименование оборудования	Продолжение			
		Количество	Отде- нность	№ работ № справка №	№ работ № справка № 2
32	Стойка на квадратной поставке с патроном, матовольтной лампочкой от карманных фонариков, двумя клеммами и колечком; колечко имеет с одного конца узкую щель, а с другого — окно, закрытое полупрозрачной бумагой с буквой «Б» (рис. 27).	15	I	14, 21, 40, 50, 51, 22, 23 52, 53	
33	Набор из трёх отдельных проволочных спиралей сопротивлением: 1 ом и 2 ома — на силу тока 2 ампера, 4 ома — на силу тока 1 ампер, кожух спираль из колодок с двумя клеммами (рис. 28).	15	I	15, 16 40, 41	
34	Реостат со скользящим контактом лабораторный медный, сопротивлением 6—7 ом, на силу тока 2 ампера (рис. 29).	15	I	14, 15 40, 41, 42, 16, 17 44	
35	Ключ лабораторный для включения и выключения электрического тока (рис. 30).	15	I	14, 15 16, 17 40, 41, 42, 19, 20 43, 44, 45, 21, 22 46, 49, 50, 23 51, 53	
36	Катушка проволочная высотой и диаметром по 25 мм с железным сердечником и гайкой (из лабораторного набора по электромагнетизму) (рис. 31).	30	I	14, 16, 19, 20 46	
37	Электромоторчик малый, учебный, рассчитанный на напряжение 4 вольта (рис. 32).	5	II	17	
38	Сpirалька проволочная сопротивлением около 2 ом на колодке с двумя клеммами; спиралька служит для определения теплового эквивалента ртутья (рис. 33).	15	II		43
39	Электроды медные (пара) на колодке с двумя клеммами для определения электрохимического эквивалента меди (рис. 34).	15	II		44

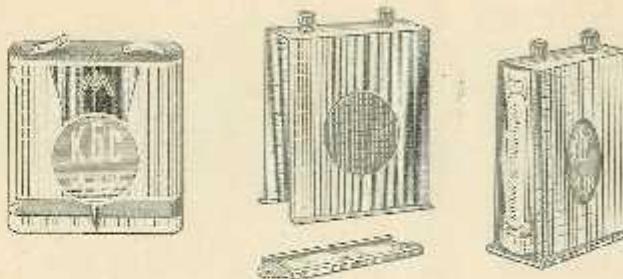


Рис. 26. Батарейки элементы от карманных фонарика

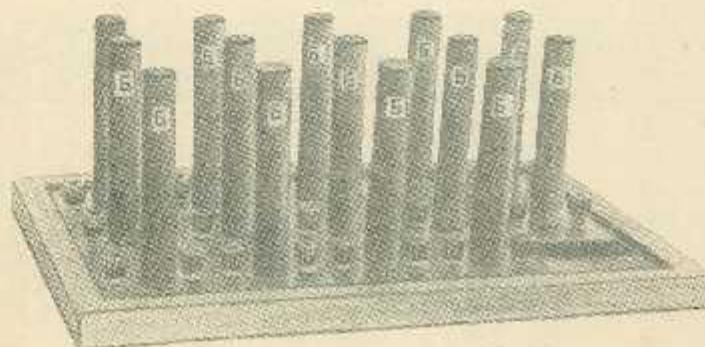
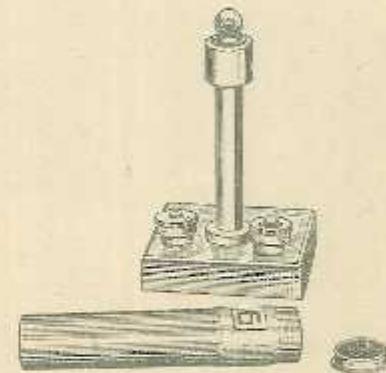


Рис. 27. Стойки с мало-вольтовыми замочками



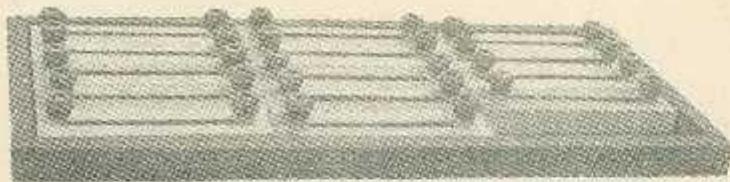


Рис. 28. Проволочные
спиральные

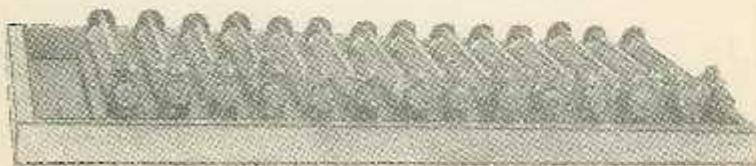


Рис. 29. Ресистаты
лабораторные

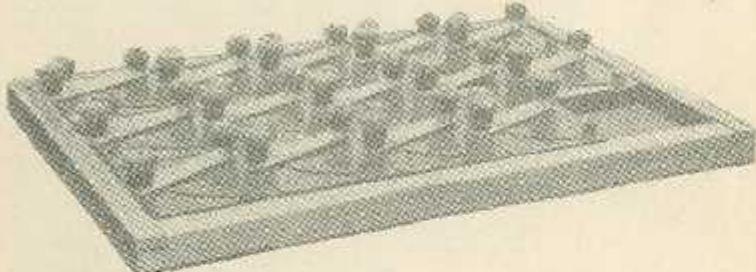


Рис. 30. Ключи лабораторные

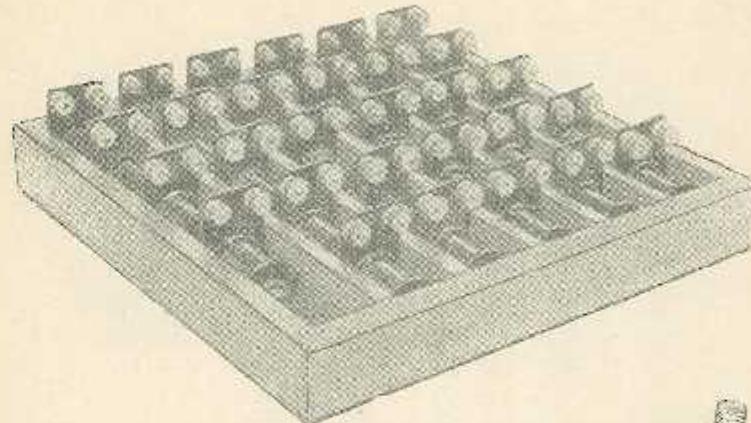
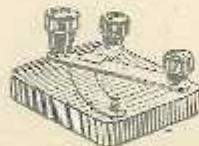


Рис. 31. Катушки проволочные
с сердечником

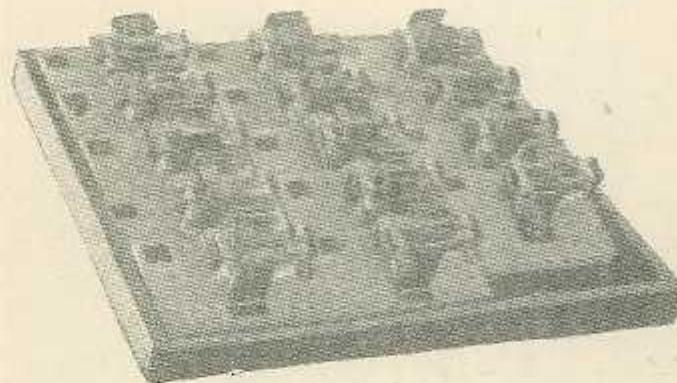
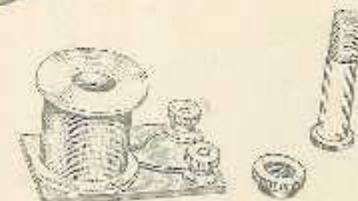
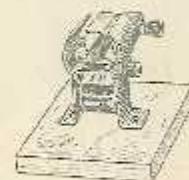


Рис. 32. Электромоторчики
малые



№ п/п	Наименование оборудования	Продолжение				
		Код артикула	№ документа	№ изобретения	№ патента	№ изобретения
40	Набор соединительных проводов с изоляцией в виде колечек; провода многожильные, гибкие с механически прочной изоляцией; набор состоит из 8 проводов в общей карточной оболочке: два провода, длиной 50 см каждые, три — 30 см и три — 15 см (рис. 35)	15	1	14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22,	10, 11, 42, 43, 44	
41	Набор соединительных проводов, как упакованные (№ 40), но из трёх проводов: 1 длиной 50 см и 2 по 30 см	15	1	41, 45, 46, 49, 50, 51, 53		
42	Магнит малой полосовой, размером 100 мкм × 10 мкм × 10 мкм (рис. 36)	30	11	18		
43	Магнит дугобразный из стальной полосы площадью сечения 10 мкм × 10 мкм (рис. 37)	15	1	18	45, 46	
44	Детали для сборки электромагнита из лабораторного набора по электромагнетизму: железная пластинка, нуэр-вибратор и контактная изушка для прерывателя (рис. 38)	15	11	20		
45	Стрелка магнитной машины из индустриальной стали; на круглую подставку с отверстием посередине крепится на двух шпильках съёмная небольшая деревянная катодочка с острём для стрелки и вырезом для катушки-мотки (47). На рис. 39 показан прибор, приготовленный для хранения и в работе виде; на рис. 124 спиралеприбор иден вместе с катушкой-моткой	15	18, 19,	46		
46	Кольца железные размером: внутренний диаметр около 35 мкм, высота 10 мкм и толщина стенок 3 мкм (рис. 40)	15	11	13		

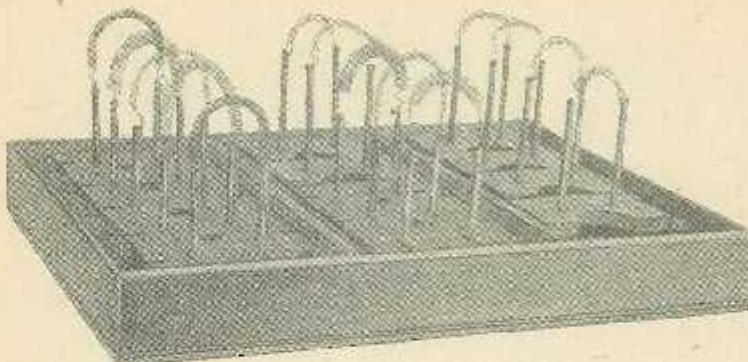


Рис. 33. Спиральки проволочные из колодках

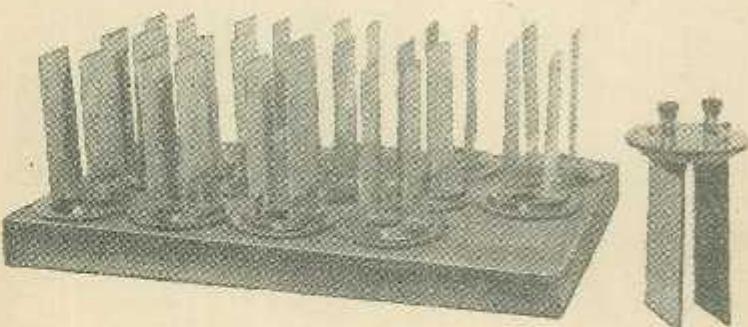


Рис. 34. Электроды мединые на колодках

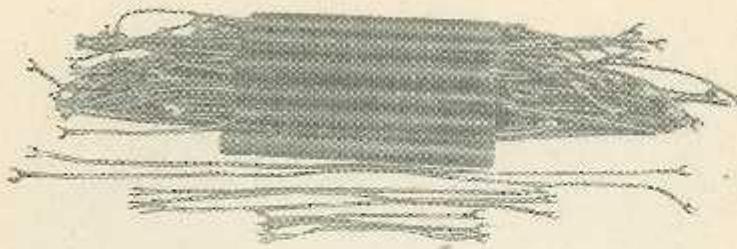


Рис. 35. Проножа соединительные с никонечниками

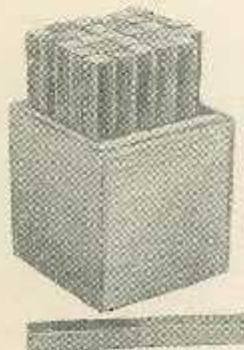


Рис. 36. Магниты полосовые

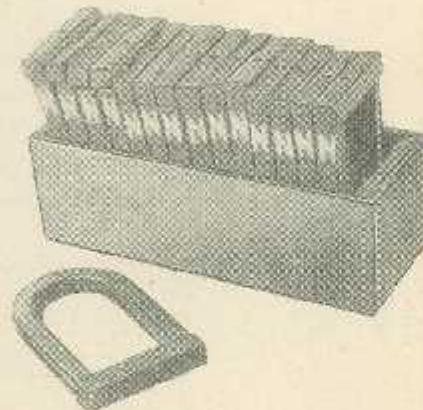


Рис. 37. Магниты дугообразные

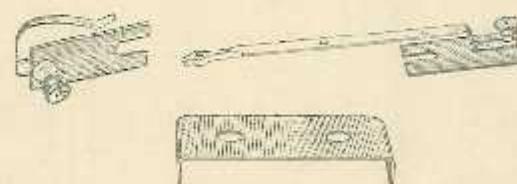
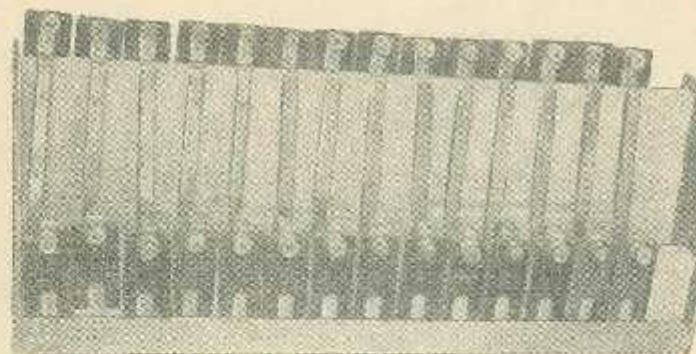


Рис. 38. Детали для сборки электромагнита

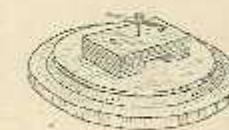
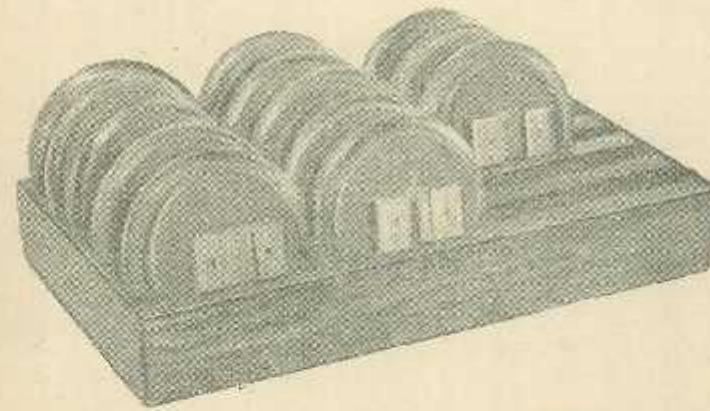


Рис. 39. Стрелки магнитные на поставках

№ п/п	Наименование оборудования	Продолжение			
		Количест. но мбрь	Операд- ножь	№ работ из подк. № 1	№ работ из подк. № 2
47	Катушка-моток из пропионки; диаметр мотка 40 мм, сопротивление около 10 ом (из лабораторного набора по электромагнетизму) (рис. 41)	15	1	19	45, 46
48	Экранчик из белого картона размером 200 см × 140 см, имеющий вырез для катушки-мотка (рис. 42)	15	11	19	
49	Коробочка-ситечко с железными спиралью (рис. 43)	15	1	18, 19	
50	Зеркальце плоское 1 см × 9 см на подставке — деревянном бруске (рис. 44)	15	1	21	47
51	Пластинки стеклянные для изучения преломления света, плоскопараллельные, с обоих концов срезанные под разными углами (рис. 45)	15	1	22	48
52	Экран вертикальный размером приблизительно 12 см × 16 см со щелью посередине, металлический, покрашенный белой краской (рис. 46). Экран служит для работ по оптике	15	1	21, 22	51, 53
53	Линза № 1 двояковыпуклая в оправе, на стойке с квадратной подставкой; фокусное расстояние линзы 65—75 мм (рис. 47) ¹	15	1	23	50, 52, 53
54	Линза № 2 двояковыпуклая в оправе, на стойке с квадратной подставкой; фокусное расстояние линзы 130—150 мм.	15	1		51, 52, 53

¹ Высота стойки для этого прибора и следующих за ним (54—58) согласована с высотой стойки для маловольтовой лампочки (32), которая служит источником света почти во всех работах по оптике. Квадратная (а не круглая) форма подставки позволяет с удобством перемещать эти приборы вдоль направляющей, которой может служить жолоб (19), для получения равноускоренного движения.

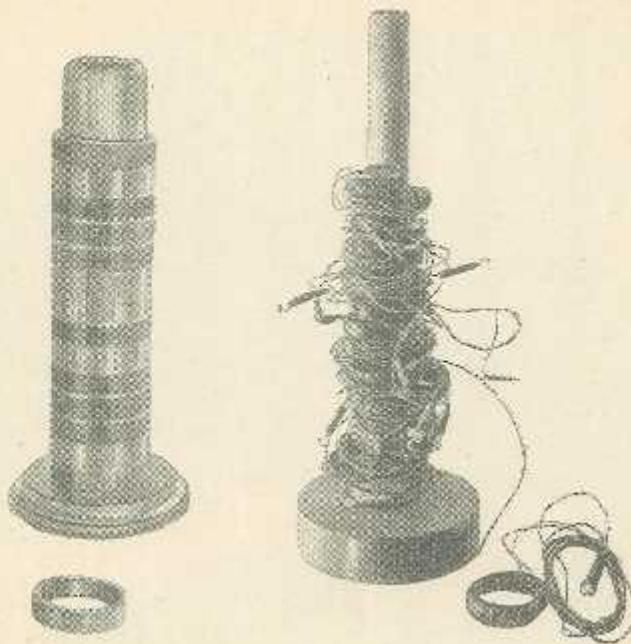


Рис. 40. Колпачки
железные



Рис. 41. Катушки-мотки
проводочные

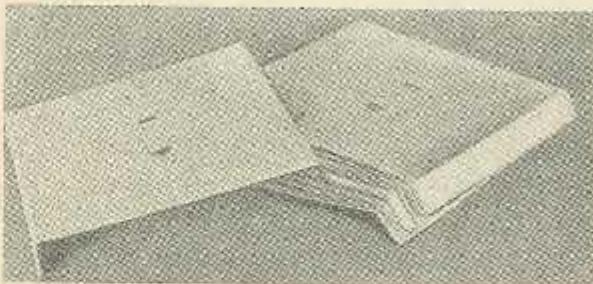


Рис. 42. Экранчик картонный

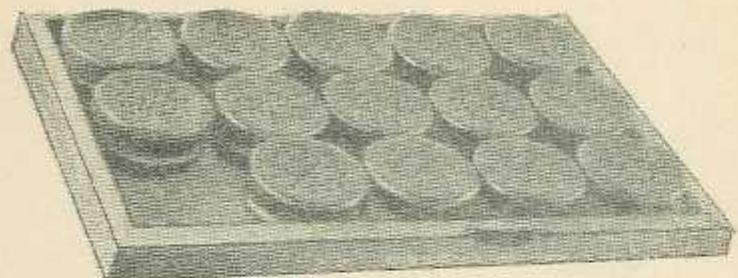


Рис. 43. Коробочки с железными опилками

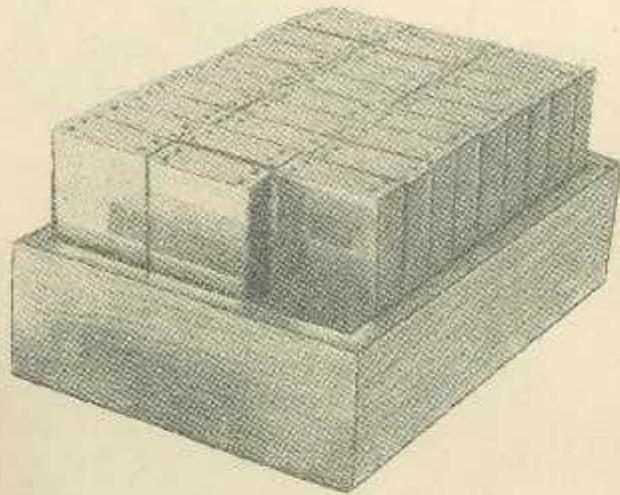


Рис. 44. Зеркальца плоские

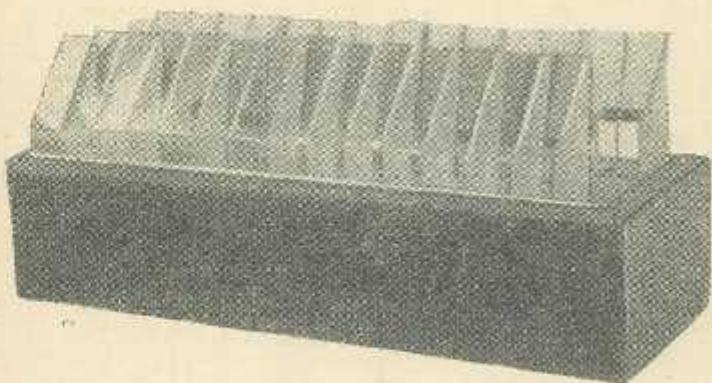


Рис. 45. Пластины стеклянные

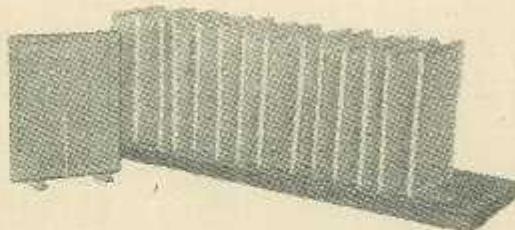


Рис. 46. Эхрлины вертикальные со щелью

Продолжение

№ п.п.	Наименование оборудования	Количество	Отгр. пость	№ работы списке № 1	№ работы списке № 2
58	Линза № 3 двойковогнутая в оправе, на стойке с квадратной подставкой; фокусное расстояние линзы — 90 мм.	15	1	51, 52	
59	Зеркало вогнутое в оправе, на стойке с квадратной подставкой; фокусное расстояние зеркала около 85 мм.	15	11	49	
60	Матовое стекло размером 6 см × 9 см, на стойке с квадратной подставкой (рис. 48).	15	1	49, 50	
61	Стеклянная пластинка 6 см × 9 см с изнесённой на ней миллиметровой сеткой, на стойке с квадратной подставкой (рис. 49); пластинка служит для определения места действительных изображений методом параллакса и для измерения величины изображений.	15	1	50, 52	
62	Держатель для диапозитива (жестяная скобка), надевающийся на оправу линзы; на рис. 50 держатель представлена отдельно и подетали из линзы вместе с диапозитивом.	15	11	53	
	Посуда, желание детали и материалы				
63	Чайник мелкий, алюминиевый или из белой жести для нагревания почты, ёмкостью 5 л.	1	1	10	35, 36, 38
64	Колба коническая ёмкостью 150 см ³ с корковой или резиновой пробкой, имеющей отверстие для термометра и стеклянную трубку для выхода пара (рис. 51).	15	1	2, 5, 11, 12, 13	39
65	Стакан батарейный ёмкостью 650 см ³ , внутренним диаметром 85 мм и высотой около 120 мм (рис. 52).	15	1	2, 5, 10, 11	31, 38, 44
66	Стакан химический ёмкостью 500 см ³	15	11	88	

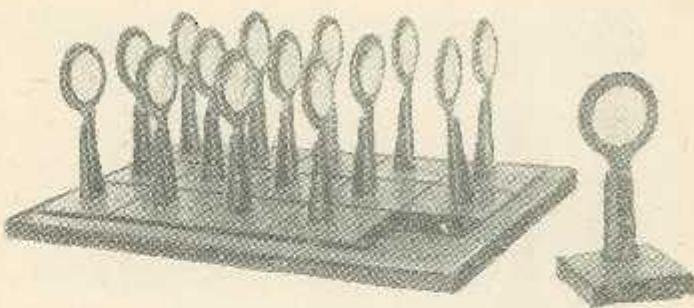


Рис. 47. Линзы двойковогнутые

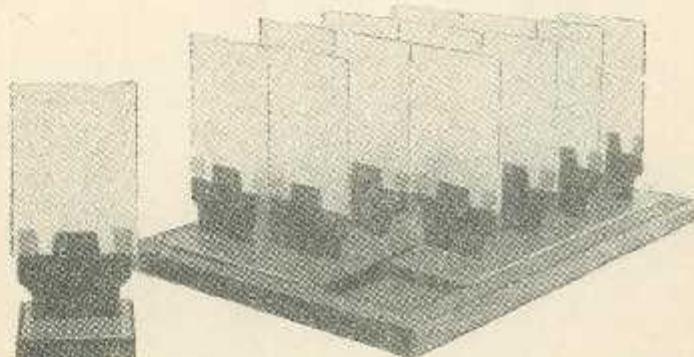


Рис. 48. Матовые стекла на стойках

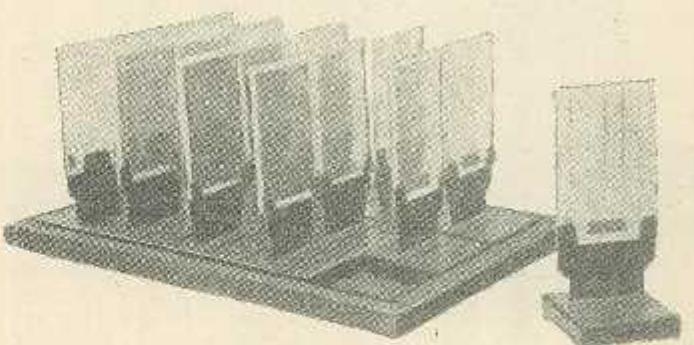


Рис. 49. Стеклянные пластинки с сеткой

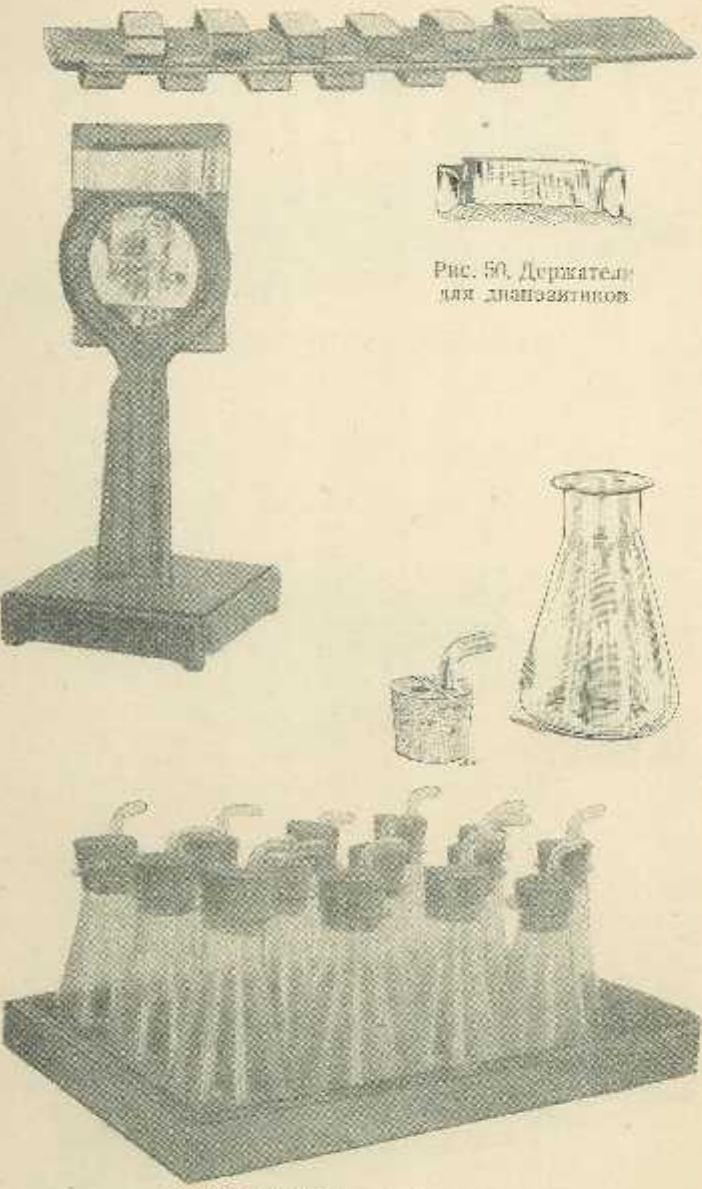


Рис. 50. Держатель для магнитиков.

Рис. 51. Котбы конические

Продолжение

№	Наименование оборудования	Количество	Оперативность	№ работ из списка № 1	№ работ из списка № 2
64	Стакан химический ёмкостью 50 см ³	30	1		32, 39
65	Поплавок из пробирки размером 70 мм × 18 мм для изучения плавания поплавков имеет пробку, проволочную петельку или крючок и постоянный грузик, укреплённый на обеих парafином или воском (рис. 53)	15	11	6	
66	Пробирка стеклянная 100 мм × 20 мм для плавления парафина; пробирки хранятся на стойке в дланях нагреванияставляются в металлическую кружку с горячей водой (рис. 54)	15	11	12	
67	Воронка стеклянная коническая диаметром около 5 см или воронка сферической фирмы диаметром около 3 см, показанные на рис. 55	15	11		39
68	Кран стеклянный малый с соединительной резиновой трубкой и стеклянным паконечником (рис. 56)	15	1		32, 39
69	Крючок из прочной проволоки длиной 25 см с кольцом диаметром 20 мм на другом конце (рис. 57); крючок служит для вынимания центрифугальных и других тел из воды и шарика из краски в работе по изучению движений тела по параболе	15	1	2, 5, 6	25, 31
70	Тело исправильной формы (или фарфоровый ролик) с небольшой проволочной петелькой; служит для определения объёма	15	1	2, 5	
71	Кусочки железной проволоки диаметром 2 мм, длиной около 15 мм в коробке картонной или из под спичек; кусочки проволоки нужны для работы по магнетизму и в качестве груза при изучении плавания тел	15	1	6, 18	

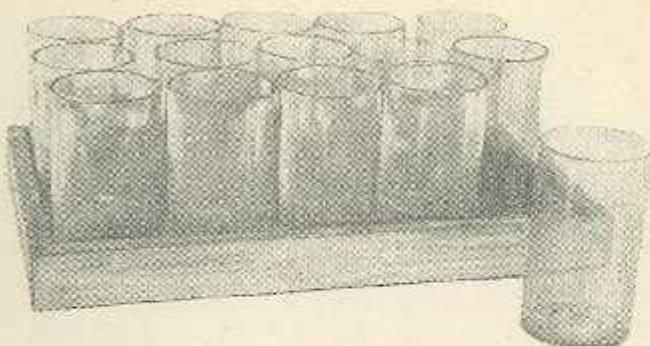


Рис. 52. Стаканы батарейные

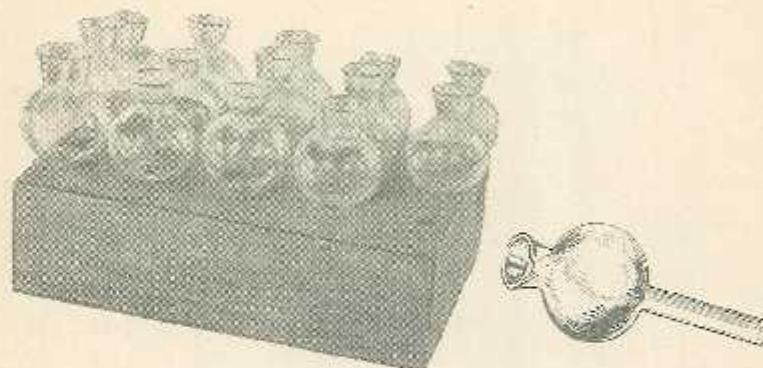


Рис. 53. Воронки стеклянные

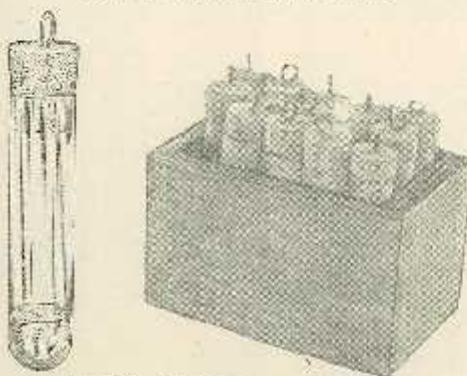


Рис. 53. Поплавки из пробирок

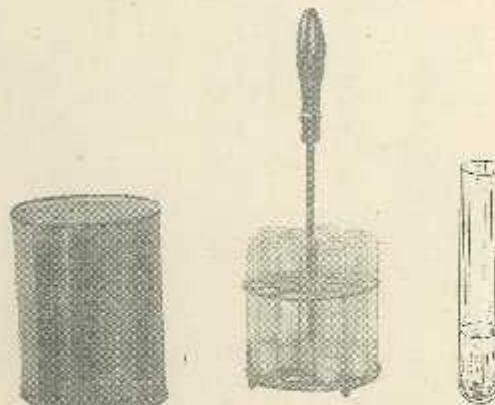


Рис. 54. Пробирки для плавления нафталина

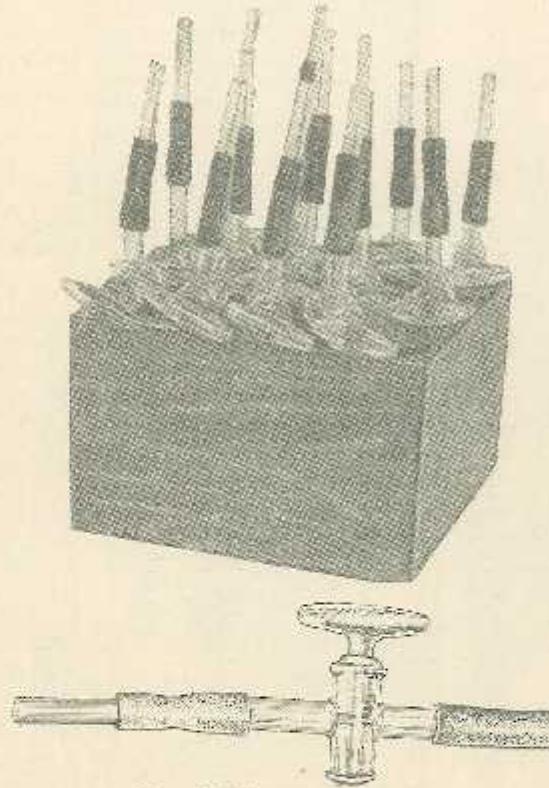


Рис. 55. Краны стеклянные

Продолжение

№	Наименование оборудования	Количество	Оборудование	№ работы стола № 1	№ работы стола № 2
72	Картон гофстый (или тонкая фанера) размером 24 см × 30 см для опытов по оптике и магнетизму . . .	15	1	18	47, 48
73	Бумага белая пастель; листы размером приблизительно 20 см × 30 см ²	60	1	18, 21, 22, 25, 26, 47, 48	
74	Кнопки канцелярские	60	1		25, 26
75	Булавки длиною 35 мм и диаметром 1 мм стальные, прочные, с большими головками (диаметром около 7 мм), удобные для крепления нитей на фанерном экране в работах по статике и для работ по оптике; булавки собранные в комплект из 4 штук на пробке (рис. 58)	15 к.	1		26, 28, 47, 48
76	Нить суровая или тонкая прочная леска; нить длиною 200 см двумя петлями (нужна для пиллингста); нить длиною 150 см с узелком на конце и колышком из сажки для укрепления мятыника; четыре нити длиною по 20 см с двумя петлями по концам (к работе по выводу правила моментов сил); нить длиною 75 см с 5 петлями для сложения сил под углом	75 м	1		26, 28, 30, 33, 34
77	Фильтровальная бумага в виде кружков для изготовления фильтров или в виде небольших листов	100	1	2, 5, 6, 11, 12, 13	25, 31, 35, 36
78	Спирт «натурированный»	1 л	1		82
79	Керосин	1,5 л	1		31, 43
80	Медный купорос (насыщ. раствор)	5 л	1	5	32, 44
81	Нафтalin	150 г	11	12	
82	Спички	15	1	1, 12, 13	

* Все материалы указаны в списке в таком количестве, чтобы можно было нормально проводить лабораторные работы в школе без параллельных классов.

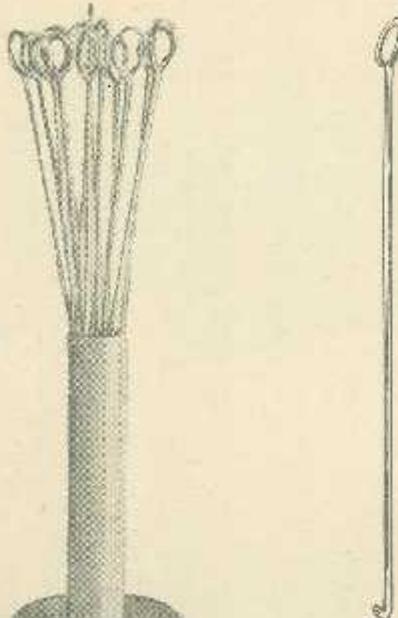


Рис. 57. Крички из проволоки

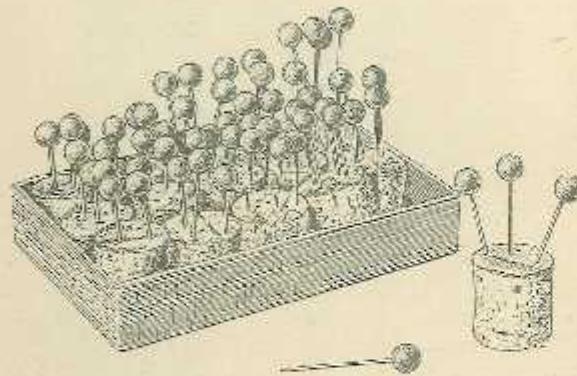


Рис. 58. Булавки с большими головачками

Этот список прежде всего даёт общую картину полного оборудования для фронтальных лабораторных работ, которым должен располагать физический кабинет средней школы. В то же время он достаточно подробно раскрывает устройство каждого отдельного прибора и принадлежности. Кроме того, из последних двух граф, где указаны номера работ, в которых применяются данные приборы, можно легко определить необходимое оборудование для той или иной лабораторной работы в семилетней школе и отдельно в старших классах. Чтобы дать наглядное представление о комплекте лабораторного оборудования для одного звена, приводим рис. 59 и 60; на первом изображены приборы, принадлежности и материалы школы-семилетки, а на втором — дополнительное к ним оборудование для VIII—X классов.

Из списка можно видеть, что почти все более или менее крупные приборы (они же и более дорогие) применяются, как правило, в нескольких работах. Таким образом, разнообразие конструкций сведено к возможному минимуму. Этим значительно снижается общая стоимость всего комплекта оборудования для лабораторных работ, устраняется излишний простой приборов в кабинете, облегчается оснащение приборами учениками.

Исключение составляют лишь некоторые приборы, например: полиспаст (23), диск из фанеры для вывода правила моментов сил (24), гидрометр для определения удельного веса жидкостей (25), трубка стеклявшая со столбиком ртути для проверки закона Бойля-Мариотта (26), укороченный ртутный манометр для проверки Формулы газового состояния (30), электромоторчик малый (37), спиралька для определения теплового эквивалента ложаля (38), электроды медные для определения электрохимического эквивалента (39) и некоторые другие.

Эти приборы имеют узкоспециальные назначения и употребляются очень редко, но без них обойтись нельзя по методическим соображениям.

Из списка оборудования легко определить, какие приборы играют основную роль при организации тех или иных фронтальных занятий, находят наиболее широкое применение и потому должны быть особенно практичны, устойчивы в работе, удобны в обращении и т. д. Иначе говоря, можно видеть, какое обо-

рудование заслуживает особого внимания и должно изготавляться обязательно промышленностью.

Сюда относятся все измерительные приборы с № 1 по № 14 и, кроме того: 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 40, 41, 43, 45, 47, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 58.

А если принять во внимание, что некоторые приборы хотя и используются только в одной из работ, но по своему характеру близки выше перечисленным и не должны быть самодельными, то придется еще приобрести приборы: 23, 24, 25, 26, 30, 37, 38, 39, 42, 44, 56.

Из посуды, мелких деталей и материалов обращают на себя внимание: чайник для нагревания воды (60), колба коническая (61), стакан багарейский (62), бумага белая чистая (73), булавки стальные (75) и бумага фильтровальная (77). Они употребляются значительно чаще других, поэтому в физическом кабинете такую посуду (за исключением чайника) и материалы надо иметь с некоторым запасом.

Все остальные приборы, принадлежности и приспособления учитель может свободно изготавливать или собирать вместе с учениками в школьных условиях. К ним относятся, например: логотек из железа и бумажный конус для пуска и ловли шарика (21), кольцо железное (46), экранчик из картона (48), коробочка-ситечко для железных опилок (49), держатель для диапозитива (59), поплавок из пробирки (65), крючок из проволоки (69), кусочки железной проволоки (71) и др.

Кроме того, учитель должен сам подбирать всю остальную посуду и материалы: пробирки, воронки, колбы, стаканы, кнопки, нитки и т. д.

Практика показывает, что многие школы не могут сразу закупить полный комплект оборудования для фронтальных лабораторных работ. Приходится устанавливать наиболее рациональную очередь приобретения. Это легко сделать, анализируя представленные выше списки.

Остановимся сначала на оборудовании школы-семилетки, т. е. на приборах и принадлежностях, о которых есть указание в предпоследней графе списка. Если взять из всего комплекта оборудования измерительные приборы (№ 1 и с 3 по 13 включительно; все они в седьмом классе имеются в нескольких работах), затем другие

приборы, принадлежности и материалы, которые применяются не менее чем в двух работах (№ 15, 16, 17, 27, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 40, 45, 49, 52, 61, 62, 69, 70, 71, 73, 77, 78 и 82), то это оборудование, очевидно, будет представлять собой опорную базу для дальнейшего развития лабораторных занятий.

Действительно, распределяя указанное оборудование по работам, как это сделано в гл. III перед каждым описанием работы, можно легко установить, что оно позволяет поставить полностью лнегадать работ (1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 11, 13, 14, 15, 16), т. е. половину всех намеченных в списке № 1, причём работы эти, как правило, являются наиболее важными и нужными, близкими по своей тематике к рекомендованным в программе.

Однако при распределении этого первоочередного оборудования по работам неиспользованными и пока лишними остаются: из измерительных приборов — транспортир (4), а из других — стрелка магнитная малая (45), коробочка-ситечко с железными опилками (49), экран для опытов по оптике (52), кусочки железной проволоки (71) и бумага писчая (73).

Если шесть последних приборов не приобретать в первую очередь, что является вполне рациональным, а отнести экран (52) к третьей очереди, а все остальное — ко второй, куда включить еще следующие мелкие приспособления: детали для сборки электромагнита (14), катушку-моток (47), экранчик из белого картона к этой катушке (48), зеркальце плоское на подставке (50), поплавок с пробкой и грузиком для изучения плавания (63), пробирку для плавления нафталина (66) и нафталини (81), то это даст возможность поставить еще пять других работ из списка № 1 (6, 12, 19, 20 и 21).

Наконец, к третьей очереди можно отнести все оборудование, которое применяется в тех или иных отдельных работах, сюда относятся: 18, 28, 37, 42, 43, 46, 51, 52, 53, 60 и 72. Тогда можно будет поставить фронтально остальные шесть работ (8, 10, 17, 18, 28 и 23) и считать приобретение лабораторного оборудования для семилетки законченным: оно позволит проходить фронтально все работы, намеченные в списке № 1.

Если по этой системе установить очерёдность приобретения приборов для полной средней школы с VI по X классы, т. е. в первую очередь приобрести все при-

боры, которые применяются не менее чем в двух работах, то с ними можно будет поставить 17 работ из списка № 1 и 19 работ из списка № 2.

Ко второй очереди приобретения будут тогда относиться все другие приборы, принадлежности и материалы, которые применяются лишь в отдельных работах (21, 23, 24, 25, 26, 30, 37, 38, 39, 42, 44, 46, 48, 56, 59, 63, 65, 66, 67 и 81). Это позволит поставить остальные работы: 6, 12, 17, 18, 19 и 20 по VI и VII классам и 23, 28, 30, 32, 37, 38, 39, 43, 44, 49 и 53 — по старшим классам.

Исходя из этих соображений и были назначены две очереди приобретения приборов, принадлежностей и материалов, приведенные в графе 4 списка оборудования.

Совершенно очевидно, что в случае необходимости оборудование второй очереди легко может быть разделено на две части, тогда всех очередей будет три, как было подробно показано для оборудования семилетки.

Следует, однако, указать, что оборудование, взятое полностью, позволяет поставить по желанию преподавателя и некоторые другие работы, не внесённые в списки, например: 1) пробыки постоянных точек термометра, 2) определение удельной теплоёмкости жидкости, 3) определение температуры парообразования воды и т. д.

Таким образом, оборудование для фронтальных лабораторных занятий, приведённое в списке, даёт возможность преподавателю проявить свою инициативу в проведении разнообразных лабораторных работ.

Кроме того, преподавателю предоставляется полная возможность дальнейшей работы по доведению комплекта некоторых приборов до 30, например, для работ 1, 2, 6, 21, 22, 34, 37, 47, 48 и др. По методическим соображениям желательно, чтобы эти работы выполнялись каждым учащимся индивидуально, а не звенями в 2—3 человека.

Весьма важно подчеркнуть, что многие приборы и принадлежности, указанные в списке оборудования, конечно, могут быть заменены другими, подобными им. Например, линейка измерительная (1) может быть и деревянная, а из пласти массы или металлическая, длиною не 35 см, а 50 см. Точно так же могут быть взяты другой характеристики угольник ученический (2), гидрометр (25), трубка стеклянная со столбиком ртути (26) и др. Сюда же относятся и общие для всей лаборатории

приборы: часы демонстрационные (13), барометр (14), чайник (60).

Батареи аккумуляторов (31) могут быть заменены гальваническими элементами, ключи лабораторные (36) — звонковыми кнопками, электрическая лампочка в работах по оптике — свечой или керосиновой лампочкой, по Бакушинскому, магниты малые полосовые (42) — магнитами обычного размера, принятными для демонстраций, стаканы химические на 50 см³ (64) — кристаллизаторами и т. д.

Всё это позволяет при подборе оборудования для фронтальных работ достаточно широко использовать в первое время многие уже имеющиеся в физическом кабинете школы приборы и принадлежности.

Однако во всех таких случаях надо помнить, что лучшие результаты в смысле постановки фронтальных лабораторных занятий и в смысле организации выдачи, уборки и хранения деталей и в смысле широкого применения одних и тех же приборов в ряде работ (комплектность) будут достигнуты только тогда, когда все приборы подбираются по указанным в списке характеристикам. В таком виде оборудование подверглось многократному испытанию и проверялось на практике в школьных условиях.

Поэтому в тех школах, где фронтальные работы только начинают вводиться и приборы подбираются вновь, следует приобретать оборудование, строго придерживаясь приведенных в списке характеристик.

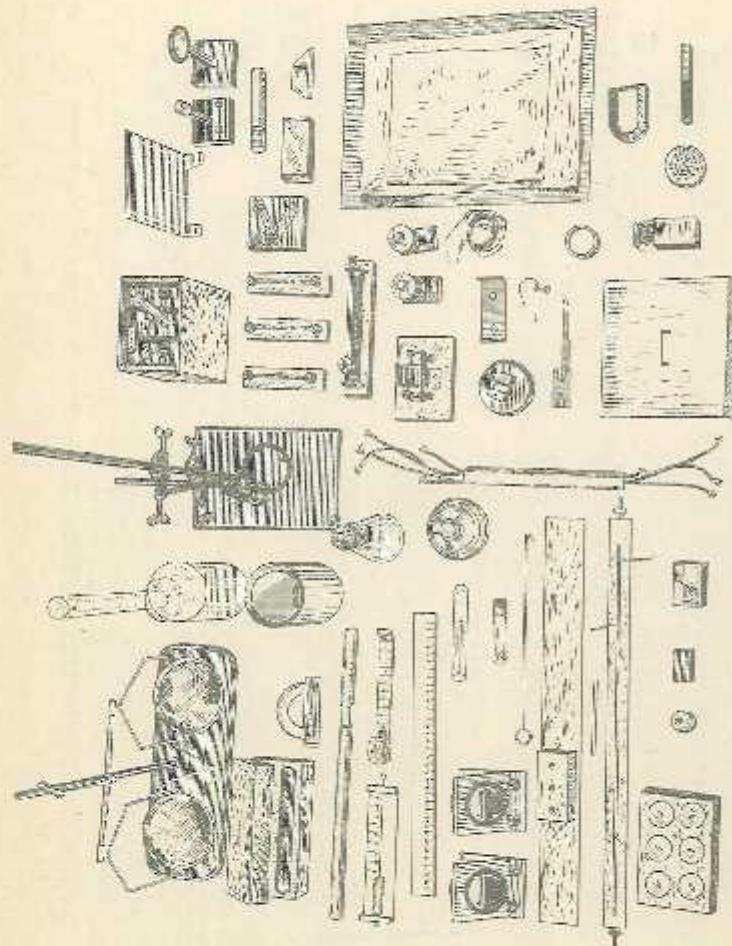


Рис. 59. Комплект лабораторного оборудования для одногодичного занятия учащихся 3 школо-семилетки

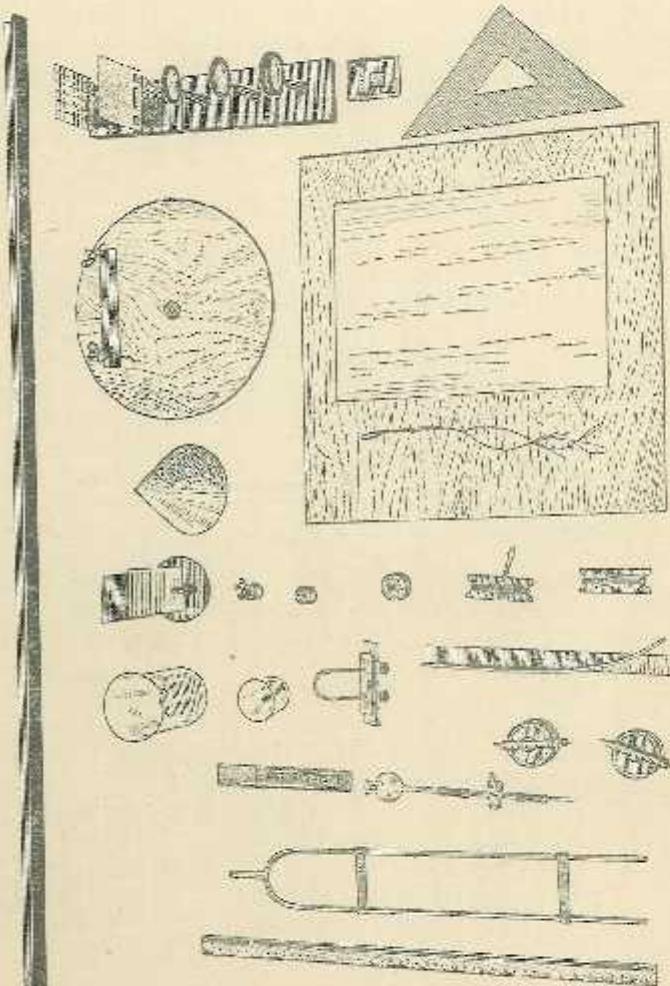


Рис. 60. Дополнительный комплект оборудования для VIII-X классов

ГЛАВА II

СИСТЕМА ХРАНЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ ФРОНТАЛЬНЫХ ЗАНЯТИЙ

Правильная постановка фронтальных лабораторных занятий по физике требует наличия одинаковых приборов каждого наименования не менее 15 экземпляров. Этому требованию полностью соответствует минимальное оборудование, приведённое в гл. I. Оно позволяет удовлетворить класс в 30 учеников (15 звеньев по 2 человека) или, в крайнем случае, класс в 45 учеников, составленный из звеньев по три человека. На рис. 61

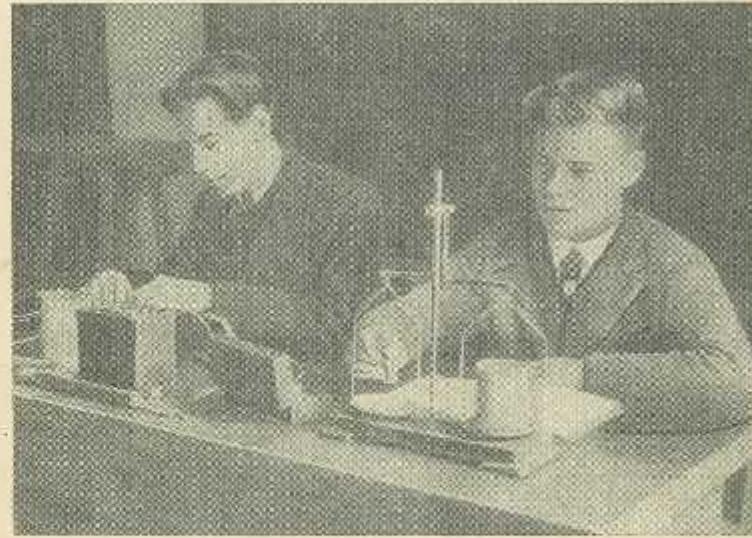


Рис. 61. Учащиеся за лабораторной работой

представлено звено из двух учащихся за выполнением лабораторной работы.

Если подсчитать по списку приборы и принадлежности, типичные для фронтальных занятий и входящие в комплект по 15 или 30 экземпляров, то их оказывается более 850 штук, за исключением общих приборов (которые берутся в одном экземпляре) и материалов. А всех различных наименований приборов и принадлежностей в этом случае будет более 80.

Уже сам факт наличия такого сравнительно большого количества лабораторных приборов в физическом кабинете, собранных в группы по 15 однотипных экземпляров, заставляет принять меры для их правильного хранения. Однако здесь никак нельзя ограничиться только полками шкафов, на которых можно было бы расположить эти приборы.

Задача оказывается значительно сложнее потому, что все оборудование приходится много раз в течение учебного года выдавать учащимся на руки для занятий и собирать вновь после каждого лабораторного урока. Причём время, затраченное на выдачу и уборку приборов, которое с точки зрения обучения можно считать потерянным, очевидно, должно быть предельно сокращено.

Чтобы лишний раз подчеркнуть, что вопрос о хранении лабораторных приборов, тесно связанный с организацией их выдачи и уборки, заслуживает серьёзного внимания, и в то же время представить все трудности на пути его разрешения, приведём конкретный пример.

Для одной из самых обычных лабораторных фронтальных работ «Определение сопротивления с помощью амперметра и вольтметра» на одно рабочее место нужно 7 приборов: источник тока, амперметр, вольтметр, ключ, реостат, проволочное сопротивление, катушка μ , кроме того, один набор соединительных проводов. Иначе говоря, при подготовке этой работы для всего класса (15 рабочих мест) нужно в короткое время вытащить из шкафов и разместить на учебических столах в определённом порядке 105 приборов и 15 наборов соединительных проводов. Понятно, что здесь рационализации процесса подготовки к занятиям имеет исключительное значение.

В силу целого ряда условий многие преподаватели физики в средней школе, как правило, оказываются занятыми все перемены той или иной подготовительной ра-

ботой по постановке учебного эксперимента, необходимого на следующем уроке. Это настолько вошло в обычай, что введение того или иного нового опыта часто рассматривается в связи с возможностью подготовить его во время перемены.

Рассматривая с такой точки зрения фронтальные лабораторные занятия, некоторые преподаватели выражают сомнение в возможности систематического их проведения из-за отсутствия препараторской и опытного лаборанта.

Чтобы рассеять такого рода сомнение, разберём подробно, как должна быть организована подготовка к фронтальным занятиям.

Эту задачу следует решать в двух параллельных направлениях, тесно связанных между собой: разрабатывать наиболее рациональные отдельные способы и приемы укладки и расстановки разнообразных приборов и вводить определённый порядок для их эксплуатации. Всё это вместе и составляет специальную систему хранения и подготовки лабораторных приборов, предназначенных для фронтальных занятий.

Прежде всего все фронтальное оборудование нужно держать под руками, т. е. непосредственно в том классе, где проходят занятия по физике, даже в случае, когда

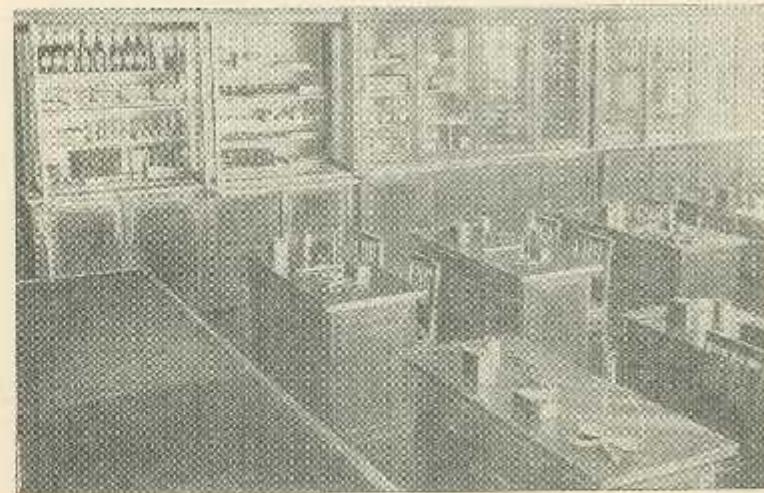


Рис. 62. Общий вид класса для лабораторных занятий

в физическом кабинете имеется отдельная препараторская для подготовки опытов. Перенос приборов в класс из соседнего помещения всегда связан с удлинением пути и необходимостью пользоваться лестницей, что накладывает ограничение на возможность быстрого размещения на рабочих местах учащихся всего необходимого для проведения занятий. На рис. 62 представлен общий вид класса для фронтальных работ с подготовленными к уроку приборами.

Затем нужно подобрать оборудование (для хранения и расстановки в шкафах) не по разделам курса физики и не по темам работ, как это часто делается, а по наименованиям приборов, т. е. отдельно все весы, все разновесы, калориметры, термометры, рычаги, наборы грузов и т. д. Это дает возможность применить для каждого вида прибора такую укладку, которая ближе всего подходит бы к характеру, габаритам, структуре прибора и являлась удобной для переноски и расстановки в шкафах.

Укладки могут быть разнообразные: 1) колодки деревянные с отверстиями (рис. 8, 14, 55, 56); 2) подносы не глубокие, сделанные из фанеры, или небольшие доски без бортов с ручками (рис. 10, 21, 22, 25, 27, 29 и др.); 3) простые фанерные ящики или ящики с отделениями по числу приборов (рис. 7, 9, 13, 30, 39 и др.); 4) специальные укладки для некоторых приборов и принадлежностей (рис. 38, 40, 41, 50, 54, 57 и др.).

Приборы для укладки подбираются так, чтобы учащиеся не получали при раздаче лишних деталей, не имеющих отношения к данной работе, и вместе с тем, чтобы количество укладок не было излишне велико.

Например, лампочки на подставках и колпачки к ним хранятся вместе, так как только в одной работе лампочка употребляется без колпачка. Электроды укладываются вместе со вставками, но отдельно от батарейных стаканов, которые применяются не только в работе по электролизу, но и во многих других работах. Гидрометры, воронки и краны хранятся отдельно, так как в одной работе краны выдаются с гидрометрами, но без воронок, а в другой — выдаются краны и воронки, а гидрометры не нужны.

Весьма полезно обратить внимание на то, что применение таких укладок не только позволяет очень легко изладить быструю смену оборудования для каждого занятия

тия, что осуществимо и при другой системе хранения, но дает возможность организовать и быстрый контроль количества и исправности приборов. А это при фронтальных занятиях по физике особенно важно.

Допустим, что надо организовать хранение тел правильной формы для начального измерения или грузов по механике, или тел для калориметрии. Было бы совершенно недостаточным сложить каждый вид указанных приборов в отдельные коробки и из них раздавать эти приборы на столы, а затем собирать обратно по окончании работы. В таком случае проверить, все ли приборы налишо, можно только счётом, а заметить ту или иную неисправность — специальным осмотром, вынув почти все приборы из коробки, на что, как правило, не хватает времени.

Если же одинаковые приборы сложить или расставить в очень простую укладку, как это было указано выше, то контроль производится чаще всего сведётся к одному беглому взгляду на гнёзда колодки или ящика. А обеспечив контроль, можно смело поручить выдачу и уборку приборов лежурным из числа учащихся и быть уверенным в соблюдении определённого порядка.

Кроме того, при таком хранении лабораторного оборудования (в укладках) во многих случаях можно легко подобрать вместе приборы, одинаковые по высоте, что приводит к правильному размещению полок в шкафах и даёт значительную экономию места. На рис. 63 представлена шкаф с удобно размещёнными в нём лабораторными приборами и принадлежностями, предназначенными для фронтальных занятий. Приборы расположены на полках в один ряд так, чтобы каждую укладку можно было отдельно вынуть, не переставляя остальных.

Понятно, что такие приборы, как штатив школьный (16), или колоб деревянный (19), или доска из фанеры (22) и некоторые другие, в укладках не нуждаются.

Как же следует организовать самую выдачу и уборку приборов для каждого отдельного занятия при таком хранении оборудования?

Из школьной практики хорошо известно, что для правильной постановки учебного эксперимента в физическом кабинете даже очень опытному преподавателю физики бывает нужно иметь помощников-лаборантов.

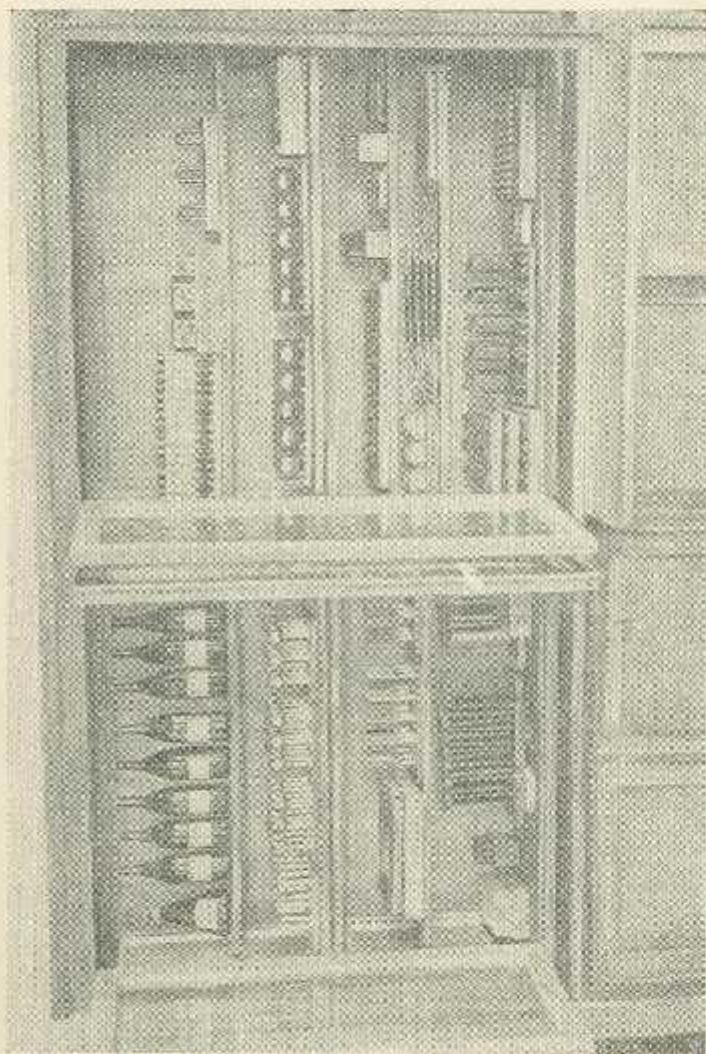


Рис. 32. Шкаф с раздвижными стеклянными дверьми приборами

В некоторых школах с полным оборудованием физических кабинетов в настоящее время введены штатные лаборанты, большинство же средних школ таких лаборантов не имеет. Поэтому о помощниках для экспериментальной работы преподавателю физики чаще всего приходится заботиться самому.

Такую заботу, но несколько в ином плане, преподаватель должен проявить и о подготовке помощников из числа учащихся для организации фронтальных занятий. Это тем более становится необходимым, что здесь никак нельзя обойтись с одним, даже очень опытным, лаборантом: выдать и убрать на место в определённом порядке такое сравнительно большое количество предметов (в среднем около 100 на одну работу) за очень короткий промежуток времени, очевидно, могут только несколько человек, выполняя задания одновременно.

Поэтому правильным и вполне реальным выходом, подсказанным практикой, является выделение в каждом классе для такой работы от 3 до 6 учащихся. Этих учащихся, наиболее расторопных и аккуратных, преподаватель заранее инструктирует о том, где какие приборы находятся. Показывает, как с ними нужно обращаться: вынимать из шкафов, раздавать на ученические столы, пронося по рядам в укладке, затем снова собирать и устанавливать на прежнее строго определённое место в шкафах. Проходит с ними предварительную репетицию выдачи и уборки приборов для 2—3 предстоящих в ближайшее время лабораторных занятий.

При таких условиях учащиеся, как показал опыт, весьма быстро усваивают всю технику дела, и преподаватель обеспечивает себя вполне надёжными помощниками на длительный срок.

Производить какую-либо замену одних лаборантов другими почти не приходится, так как выделенные учащиеся, как правило, очень дорожат оказанным доверием. Они обычно соревнуются между собой и выполняют все поручения по лаборатории безукоризненно. Такие лаборанты всякую замену рассматривают для себя чаще всего как наказание за провинность.

Сохранность такого большого количества приборов и деталей комплекта требует особенно внимательного отношения к технике раздачи и уборки оборудования. Проявление здесь беззаботности и неорганизованности

неизбежно приведёт к быстрому разорению комплекта (потери, поломки и т. д.) и к затруднениям для дальнейшего ведения фронтальных занятий: отсутствие отдельных деталей выводит из общей работы целые звенья учащихся.

В пятилетней практике организации лабораторных работ выработалась и оправдана себя следующая система.

Перед проведением лабораторного урока учитель, имея перед собой перечень необходимого оборудования, вынимает из шкафа укладки с принадлежностями для данной работы и, если это нужно по содержанию работы, готовят на демонстрационном столе общее оборудование (кипяток, лёд, часы и т. д.). Раздача приборов производится некоторым ученикам-лаборантам. Каждый из них берёт для раздачи одну укладку с тромпоздниками или требующими особо бережного обращения приборами (инкумуляторы, разновесы, банки стеклянные и т. п.) или две-три укладки с мелкими деталями (шарики, линейки, булавки). Собирает приборы после работы тот же лаборант, который их раздавал.

Учащиеся, получив от лаборанта приборы, отвечают перед ним за их сохранность.

Собранные приборы лаборант сдаёт учителю и несёт перед ним ответственность за их состояние. Приборы необходимо собирать до звонка; во всяком случае, учитель не разрешает ученикам оставаться со своих мест, пока уборка оборудования не закончена.

Очень часто в течение нескольких уроков подряд занимаются параллельные классы. В этом случае после проведения работы следует собирать только мелкие детали, оставленные из столах штативы, весы, разновесы и т. п. и ограничиваясь только проверкой их состояния.

Ответственность звена перед лаборантом и лаборантом перед учителем заключается прежде всего в том, что лаборант, а значит, и учитель должны совершенно определенно знать, кто является вольным или невольным виновником потери или порчи прибора. Ни один подобный случай не должен пройти незамеченным. Разумеется, что учитель должен проявить педагогический такт в своём отношении к случившемуся. В редких случаях, когда порча прибора не может быть оправдана неопытностью ученика, последний должен быть подвергнут дисциплинар-

ному выяснению и понести материальную ответственность.

Все учащиеся строго выполняют общие правила, кающиеся организации занятий: 1) не кладут на столы ничего, кроме полученных для работы приборов и принадлежностей для письма; 2) не трогают выданные приборы и принадлежности до начала работы; 3) следят во время занятий за рациональным и аккуратным размещением приборов и не передают приборы со стола на стол; 4) по окончании работы разбирают установку и приводят все приборы и принадлежности в такой вид, в каком они были получены перед уроком.

Описанная система хранения оборудования и организации фронтальных лабораторных занятий полностью оправдала себя. Опыт показал, что при такой системе возможно подготовить любую из намеченных в списках (см. введение) лабораторных работ в течение короткого промежутка времени, от 1 до $2\frac{1}{2}$ мин. Это не только даёт полную возможность за одни перемены сменять оборудование для двух, следующих друг за другом, лабораторных работ, но позволяет преподавателю совсем не заниматься переносом, а выдавать и убирать приборы не непосредственно на занятиях.

ГЛАВА III

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ФРОНТАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

Как было сказано во введении, фронтальные лабораторные работы могут быть поставлены по-разному: как введение к тому или иному разделу курса физики, или как иллюстрации к объяснению нового материала учителем, или как повторение и обобщение пройденного.

Типичным примером лабораторных работ вводного характера являются работы: 3 — «Взвешивание на рычажных весах» и 8 — «Наблюдение магнитных явлений». Цель первой из них заключается в том, чтобы практически ознакомить учащихся с устройством и действием важного прибора — рычажных весов и научить применять в приёмах обращения с ними по определённым правилам.

Такая задача возникает потому, что рычажные весы вместе с разновесом являются наиболее сложным, точным и дорогим прибором из всего фронтального оборудования. В то же время они широко применяются на занятиях, начиная с VI класса, в целом ряде разнообразных лабораторных работ.

Следовательно, если не сосредоточить своевременно внимание учащихся на рычажных весах, а проводить изучение их устройства и привитие правильных навыков обращения с ними лишь попутно, т. е. во время выполнения других работ, где встречается необходимость в пользовании весами, то это почти неизбежно приведёт к дурным последствиям. Опыт показывает, что даже после предварительной демонстрации весов учителем в классе при их изучении, всё же у многих учащихся вырабатываются неправильные навыки, приводящие обычно к порче прибора. Причём неправильные навыки, как правило, искореняются с большим трудом.

Перед выполнением лабораторной работы из взвешивания учащиеся должны быть кратко осведомлены преподавателем об устройстве рычажных весов и назначении отдельных частей: коромысла с призмой, стойки, сорбажек, лужек с чашками, муфты с винтом, играющей роль артифира, и т. д. Само же выполнение работы лучше всего проводить по отдельным операциям под чёткие указания преподавателя, как это подробно изложено в описании (стр. 79—81). Тогда все учащиеся получат совершенно ясное, конкретное представление о том, как следует обращаться с весами и разновесами. Это будет служить реальной основой для закрепления в дальнейшем правильных навыков, так как ученик, допустивший после такой работы ошибку, обычно вскоре замечает её сам и исправляет, или её легко замечают и исправляют работающие с ним товарищи даже без помощи со стороны учителя. Таким образом, фронтальная работа на взвешивание является весьма полезным введением для последующих лабораторных занятий, где применяются весы.

Другая лабораторная работа «Наблюдение магнитных явлений» может служить в качестве введения к определённому разделу курса об электромагнитных явлениях. Эту работу, подробно описанную на стр. 106—108, весьма целесообразно проводить до объяснений преподавателя о магнитах и магнетизме. Цель такого лабораторного занятия состоит в том, чтобы дать возможность учащимся, проявляющим обычно живой интерес к магнитным явлениям, познакомиться практически, конкретно с основными свойствами постоянных магнитов. Этим объясняется определённый, чисто качественный характер работы: никаких измерений во время опытов здесь не производится.

Выполнив работу, учащиеся соберут некоторый предварительный материал, который, с одной стороны, избавит учителя от многих мелких отвлекающих внимание вопросов, а с другой — позволит на следующем уроке легко перейти к необходимой систематизации и обобщению, к основным выводам.

Чтобы придать лабораторным занятиям такого вида большую определённость и эффективность, надо наметить наиболее рациональный порядок выполнения эксперимента. С этой целью в описании работы обычно приводится примерный перечень вопросов, на которые

последовательно должны ответить учащиеся. Их ответы и послужат отчётом о проделанной работе; по ним до некоторой степени можно судить о полученных результатах.

Примером фронтальной лабораторной работы, организованной сливающейся с объяснением учителя и являющейся некоторым звеном уроки, служит работа 23 «Получение действительных изображений с помощью линзы».

Перед уроком учащимся выдаётся необходимое оборудование, указанное в работе (стр. 114). Урок начинается с демонстрации учителя, выявляющей основное явление — главный фокус линзы. С этой целью при помощи оптической шайбы на линзу направляется пучок пемного расходящихся или сходящихся лучей и устанавливается появление фокуса как точки, в которой собираются эти лучи, пройдя линзу. Затем опыт повторяется, но с лучами параллельными, которые собираются за линзой в главном фокусе, на определённом расстоянии, называемом главным фокусным расстоянием.

Затем перед учащимися ставится вопрос о том, как можно определить главное фокусное расстояние линзы, которое имеется у них на руках.

Путём наводящих вопросов выясняется, что для этого нужно воспользоваться каким-либо достаточно удалённым источником света (общая для всего класса электрическая лампочка), лучи от которого можно считать почти параллельными. Собрав эти лучи на экран при помощи линзы, т. е. вынув её из главного фокуса, легко сделать приблизительное определение главного фокусного расстояния при помощи простой измерительной ленты. Учащиеся проводят измерения и получают близкие числа, так как линзы у всех зерцев одинаковые.

Далее перед учащимися ставится вопрос о том, что получится на экране, если источник спустя поместить не где-либо вдали, а на главном фокусном расстоянии от линзы. Первым выбрасывается именно этот случай потому, что он отличается наибольшей простотой и определённостью в смысле выполнения опыта и получения нужного результата.

Учащиеся экспериментально решают поставленную задачу так, как это описано в работе 23. После этого полученные результаты подвергаются в классе обсуждению и

делаются выводы: изображение предмета, установленного на двойном фокусном расстоянии от собирающей линзы, оказывается обратным, по величине равным предмету и находится на двойном фокусном расстоянии по другой сторону линзы.

Теперь вполне естественно встает вопрос о том, как при помощи линзы получить изображение предмета увеличенное и уменьшённое. С этой целью учащимся рекомендуется сначала несколько переместить лампочку из двойного фокусного расстояния ближе к линзе и получить на экране резкое изображение предмета, а затем дальше от неё и опять подуть изображение на экране.

Из рассмотрения результатов этих опытов легко вытекает вывод: когда предмет приближается к главному фокусу линзы, то изображение предмета увеличивается и удаляется от линзы; если же предмет удаляется от линзы, то это изображение уменьшается и приближается к главному фокусу.

Наконец, преподаватель обращает внимание учащихся на случай, когда предмет помещается в главном фокусе линзы или ближе фокусного расстояния. При помощи оптической шайбы он показывает, что в этих случаях лучи после линзы идут параллельно или расходящимися пучком, т. е. они не будут пересекаться, а следовательно, и не могут давать изображения на экране. В этом учащимся легко убеждаются, расположив лампочку между главным фокусом и линзой и перемещая экран за линзой вдоль главной оптической оси.

К такому же типу занятий следует отнести и уроки, на которых отдельные элементы фронтального оборудования применяются в качестве «раздаточного материала», т. е. выдаются учащимся на руки и служат наглядным способом для каждого зевса во время объяснения преподавателя. Допустим, например, что на уроке разбирается вопрос о различных сопротивлениях в электрической цепи и учащихся нужно познакомить с устройством гибкого лабораторного реостата со скользящим контактом. С этой целью на ученические столы раздаются перед уроком по два разных проволочных сопротивления и реостат. В нужный момент урока эти пособия применяются в такой последовательности.

Вначале преподаватель обращает внимание учащихся на устройство проволочного сопротивления (спираль,

клеммы, колодка) и на разное число витков проволоки в зависимости от величины сопротивления. Затем переходит к рассмотрению реостата и останавливается на его основных частях: прополочном сопротивлении, изолирующей трубке, металлическом стержне со скользящим контактом, штеках реостата с двумя клеммами и на подставке. А учащиеся, имея перед собой этот объект, внимательно рассматривают его, согласно указаниям.

Далее учащимся предлагается проследить, как изменяется вдоль изолирующей трубы проволочное сопротивление, один конец которого поджат под нижнюю клемму, а другой совсем не выведен наружу. Преподаватель показывает, что с передвижением контакта вдоль стержня сопротивление реостата, введённого в электрическую цепь, постепенно возрастает или уменьшается, так как в цепь тем самым вводится большее или меньшее число витков проволочного сопротивления. Тут же даётся и практическое указание: включая реостат в цепь, нужно обращать внимание на то, чтобы скользящий контакт сначала находился у того края, где сверху имеется клемма; в этом положении контакта реостат имеет самое большое сопротивление.

Таким, сравнительно редко применяемым методом ведения занятий по физике могут весьма успешно изучаться и другие детали оборудования, которые служат в качестве раздаточного материала. К ним относятся: винты с разновесом, динамометр пружинный, манзурка, термометр, батарея аккумуляторов, электромагнит, лампочка электрическая с патроном на стойке и т. д.

Наконец, в качестве примера третьего типа фронтальной лабораторной работы, в которой повторяются и обобщаются пройденное ранее, может служить работа 52 — «Сборка моделей трубы Кеплера, микроскопа и трубы Галилея». Эта работа проводится после того, как изучены основные свойства собирающей и рассеивающей линзы, проделаны лабораторные работы 50 и 51 на определение главных фокусных расстояний линз и учащиеся хорошо усвоили построение изображений в линзах.

До проведения работы преподаватель, опираясь на эти знания, показывает при помощи чертежей, которые он выполняет на классной доске в процессе объяснения, расположение и характер линз в микроскопе, трубе Кеплера и трубе Галилея. Он детально разбирает ход лучей и

построение изображения в оптических инструментах, подчёркивает их особенности, их различие. И когда учащиеся, поняв изложенное, будут иметь в своих тетрадях чёткие схематические чертежи хода лучей в этих инструментах, тогда можно будет проводить намеченную работу.

На уничтожение стоят раздаётся необходимое оборудование, указанное в описании работы (три линзы, экранчик, наблюдаемый объект), и ставится задача: собрать модели перечисленных сложных оптических инструментов, пользуясь имеющимися в тетрадях чертежами.

Здесь учащиеся должны самостоятельно перейти от теоретических обоснований, выраженных в чертежах, к реальной действительности. Они должны применить свои теоретические знания и практические навыки. Поэтому выполнение такого типа работы может явиться хорошим контролем: по полученным практическим результатам в описанной работе нетрудно сделать заключение, как было усвоено пройденное из геометрической оптики, как по этому разделу подготовлены учащиеся.

Само выполнение работы лучше всего проводить по частям. Сначала предложить всем звеням учащихся собрать, например, модель микроскопа, выбрав соответствующие линзы. Когда установки будут готовы, быстро проверить их и указать на то, что размер увеличения будет тем больше, чем ближе находится рассматриваемый предмет к главному фокусу объектива. Учащимся рекомендуется проверить это практически и убедиться, что чрезмерно большого увеличения добиваться не следует из-за сильных искажений изображения, которые наблюдаются при этом.

Затем предложить собрать всем звеням одновременно модель трубы Кеплера и, когда установки будут готовы, указать на простой приём приближенного определения размера увеличения. Для этого надо смотреть на объект обоими глазами одновременно, но одним сквозь линзу, а другим — мимо них; таким образом можно оценить, во сколько раз одно видимое изображение по своей длине или ширине больше другого. Далее можно перейти к сборке модели трубы Галилея и пронести эту часть задания так, как она описана в работе 52.

Фронтальное выполнение лабораторных работ, как было сказано во введении, даёт полную возможность проводить в конце занятия коллективное обсуждение

полученных результатов наблюдений и измерений. Это позволяет постепенно приучать учащихся к необходимости обработки и правильной оценки таких результатов. Причем в VI и VII классах оказывается вполне достаточным при обработке числовых результатов ограничиться лишь правилами действий над приближенными числами, а в старших классах прополить вычисления максимальных погрешностей — абсолютной и относительной.

Разбирать здесь объём и характер таких вычислений нет необходимости, так как всё это с достаточными подробностями приводится далее перед описанием лабораторных работ для VI и VII классов и в многочисленных примерах в конце описаний большинства работ.

Надо всегда помнить, что приемы и навыки вычисления погрешностей при выполнении лабораторных работ учащимися усваиваются с трудом, поэтому здесь никак нельзя ограничиваться только некоторыми общими предварительными указаниями и разъяснениями. Надо постепенно и настойчиво прививать и упражнять эти навыки на конкретных примерах после каждой лабораторной работы измерительного характера.

Для некоторых лабораторных работ обработка полученных результатов должна ярко показать ту или иную особенность изучаемого процесса, ту или иную зависимость между физическими величинами. В таком случае наилучшей формой обобщения результатов являются графики.

Конкретный пример применения графиков показан с достаточной подробностью в двух работах: 12 и 13, в которых проводятся наблюдения процесса нагревания и плавления нафталина, нагревания и кипения воды.

Останавливаясь здесь на других более мелких методических подробностях проведения фронтальных лабораторных занятий было бы излишним. Эти сведения приводятся в самих описаниях работ, кроме того, почти всё необходимо, относящееся к методике проведения фронтальных занятий по физике, можно найти и в методической литературе¹.

¹ Проф. И. А. Знаменский, Методика преподавания физики в средней школе, Учпедгиз, 1947.

Е. Н. Горичкин, Методика преподавания физики в ссиилистической школе, г. І, Учпедгиз, 1948.

Проф. И. И. Соколов, Методика физики, Учпедгиз, 1951.

К. Н. Елизаров, Организация урока физики, Учпедгиз, 1951.

ГЛАВА IV

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Лабораторные работы в данной главе описаны в той же последовательности, в какой они перечислены в списках (стр. 7—8).

При составлении описаний ставилась задача — дать готовый основной материал, который освободит бы учителя от черновой работы и облегчит подготовку к лабораторным урокам, чтобы учитель имел возможность сосредоточить внимание на методической стороне дела.

В начале каждого описания помещён перечень необходимого оборудования для одного рабочего места, и в некоторых работах — также приборы, общие для всего класса. Номера, стоящие в скобках, соответствуют порядковым номерам по списку оборудования (стр. 12—45).

Во всех описаниях показан порядок выполнения работы и техника проведения эксперимента. В ряде работ, кроме того, даны некоторые методические приемы и указания. Однако в большинстве случаев методическая сторона лабораторного урока не раскрывается полностью: приведенные описания могут быть использованы учителем по-разному, в зависимости от цели урока. Исходя из своих методических соображений и опыта, учитель может проводить ту или иную работу как вводное занятие к теме, или как заключение темы, или в качестве практической контрольной работы и т. д.

Большое внимание уделено вопросу развития сознательного отношения учащихся к получаемому результату. С этой целью в описаниях работ VI и VII классов показано практическое применение правил действий над приближенными числами независимо, где это считалось необходимым. В этих случаях количество значащих цифр может до некоторой степени служить критерием для оценки точности полученного числового результата.

Числовые данные, расчёты и результаты, приведённые в описаниях, взяты непосредственно из опыта и являются, таким образом, вполне реальными.

Начиная с VIII класса, учащимся становится доступным элементарный анализ погрешностей измерения, поэтому при составлении описаний лабораторных работ для старших классов всюду, где это имеет смысл, приведены расчёты относительных и абсолютных погрешностей.

В двух работах (№ 48 и 49) для оценки результата применён в качестве примера метод многократных измерений, который уменьшает влияние случайных погрешностей. С этим методом учащиеся обязательно должны быть ознакомлены практически. Однако применять его во всех работах не всегда возможно из-за недостатка времени, отводимого для выполнения лабораторных работ.

Подробно описаны две работы, в которых учащиеся знакомятся с графической записью изучаемых явлений (№ 12 и 13), и одна работа инструктивного характера (№ 3), выполнение которой весьма полезно проводить под общую команду учителя.

РАБОТЫ ДЛЯ VI И VII КЛАССОВ

Измерения и вычисления

Проведение лабораторных работ чаще всего связано с необходимостью измерения различных величин. Результат измерений никогда не может быть точным. При любом измерении всегда неизбежна большая или меньшая погрешность. Истина величины этой погрешности обычно неизвестна, но мы всегда можем указать её предельные значения.

Например, в результате измерений длины стола нашли, что она равна 138 см. Положим, что измерения производились сантиметровой лентой, которая не имеет миллиметровых делений, поэтому мы отбрасывали доли сантиметра сверх целого числа сантиметров, если этот избыток был не больше чем 0,5 см, а если он был больше 0,5 см, то считали его за целый сантиметр. Таким образом, истинная длина стола не более 138,5 см и не менее 137,5 см (рис. 64). Какое бы значение в этих пределах

она ни имела, погрешность измерения, которую мы допускаем, считая длину стола равной 138 см, во всяком случае, не превышает 0,5 см. Будем называть её максимальной возможной абсолютной погрешностью измерения, или сокращённо — абсолютной погрешностью.

Результат измерения в приведённом примере следует записать следующим образом:

$$l = 138 \text{ см} \pm 0,5 \text{ см.}$$

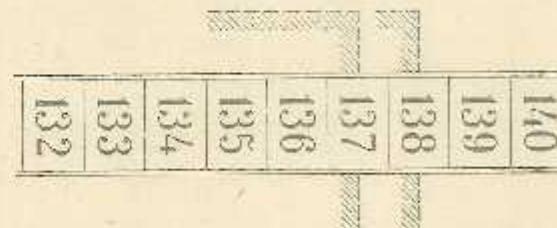


Рис. 64. Измерение лентой с сантиметровыми делениями

Величина максимальной абсолютной погрешности измерения зависит от устройства применяемого измерительного прибора и от умения экспериментатора. Например, миллиметровая линейка при измерении длины металлического бруска может дать значительно большую точность, чем, скажем, сантиметровая лента. При употреблении лабораторного динамометра с ценой деления 10 Г обычно считают максимальной абсолютной погрешностью измерения $\pm 5 \text{ Г}$, но не исключается возможность при известном навыке оценивать на глаз десятые доли деления и измерять силы с погрешностью, не превышающей 1 Г.

Характер измеряемого объекта и конструкция измерительного прибора ставят определённые пределы повышению точности измерения. Вполне возможно, например, при измерении отрезка прямой на бумаге линейкой с миллиметровыми делениями добиться точности, при которой погрешность не будет превышать 0,1 мм. При употреблении мензурки с делениями по 1 см³ для определения объёма налитой в неё жидкости, мы должны считать максимальной возможной погрешностью 1 см³ не потому, что не умеем оценивать на глаз десятые доли деления мензурки

(или значительно крупнее миллиметра), а в силу того, что уровень жидкости у стенки мензурки не имеет достаточно резко выраженной границы. Точно так же не имеет смысла пытаться отсчитывать десятые доли деления на шкале амперметра, если при его градуировке допущены погрешности, имеющие значение целого деления.

Максимальное значение абсолютной погрешности не дает возможности судить о степени точности измерения. Если, например, при определениях размеров куска проволоки её длина при измерении рулеткой оказалась равной $984 \text{ см} \pm 1 \text{ см}$, а диаметр при измерении штангенциркулем — $4 \text{ мм} \pm 0,05 \text{ мм}$, то максимальная абсолютная погрешность, допущенная при измерении длины, значительно больше, чем погрешность, допущенная при измерении диаметра. Однако в первом случае она составляет

$$\frac{1}{984} \approx 0,0011,$$

т. е. $0,1\%$ от измеряемой величины, а во втором

$$\frac{0,05}{4} \approx 0,012,$$

т. е. $1,2\%$. Отсюда видно, что точность измерения длины значительно выше, чем точность измерения диаметра проволоки.

Для оценки точности измерения надо знать, какую часть измеряемой величины составляет максимальная абсолютная погрешность, допущенная при измерении. Она называется максимальной относительной погрешностью измерения.

Если для вычисления какой-либо величины надо предварительно сделать несколько различных измерений, то их следует производить так, чтобы относительные погрешности измерений мало отличались друг от друга. Этой целью необходимо определенным образом выбрать измерительные инструменты.

В приведенном выше примере для определения диаметра проволоки следовало бы применить микрометр в тем самым повысить точность измерения диаметра в 10 раз. Наоборот, измерение длины проволоки с погрешностью до 1 дм не ухудшило бы заметным образом результата вычисления объема проволоки.

В лабораторных работах результаты измерений обычно служат материалом для последующих вычислений

с целью определения какой-либо физической величины, которая не может быть найдена непосредственным измерением. Разумеется, что результат таких вычислений, как и исходные данные, является числом приближенным, и нас должны интересовать те границы, в которых находится истинное значение определяемой величины.

Чтобы разъяснить способ нахождения границ, воспользуемся данными из лабораторной работы № 1 — вычисление площади крышки стола (стр. 77).

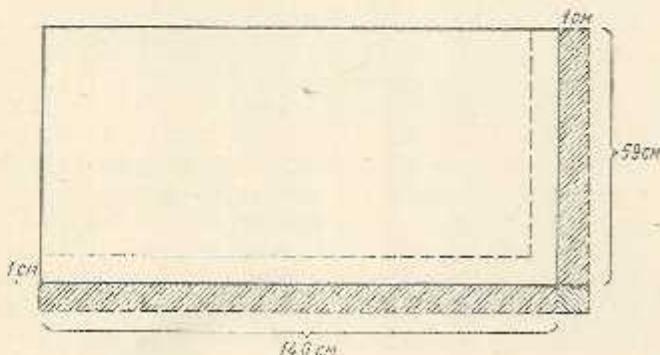


Рис. 65. Приблизительное измерение крышки стола

На рис. 65 сплошными линиями изображена крышка стола и указаны её размеры. По ним легко можно определить искомую площадь:

$$140 \cdot 59 = 8260 \text{ см}^2.$$

Однако размеры стола были измерены с некоторой погрешностью, поэтому и величина площади, вычисленная по этим размерам, получена с некоторой погрешностью. Истинная величина площади может быть как больше, так и меньше вычисленной, но заключена в границах, указанных на рис. 65 пунктиром. Максимальная возможная погрешность, допущенная при измерении в сторону завышения, представлена заштрихованной площадью и равна

$$59 \cdot 1 + 140 \cdot 1 + 1 \cdot 1 = 200 \text{ см}^2.$$

Погрешность измерения, допущенная в другую сторону, на 2 см^2 меньше первой, т. е. она равна 198 см^2 .

Таким образом, истинная величина площади крышки стола заключена в пределах между 8460 см^2 и 8062 см^2 . Значит, в полученном нами ранее результате, который равен 8260 см^2 и является одним из множества возможных значений величины площади, первая цифра вполне надёжна, вторая — сомнительна, а остальные цифры не имеют смысла; они должны быть заменены нулями. Следовательно, результат надо округлить до двух значащих¹ цифр, т. е. 8300 см^2 .

Приведённое здесь объяснение сделает для учащихся понятными правила действия над приближёнными числами, которыми они должны пользоваться при обработке результатов своих измерений². Правила эти следующие:

1. Приближённые числа надо округлять, сохранив в них только надёжные цифры и не более одной не вполне надёжной и отбрасывая или заменяя нулями все последующие.

2. При сложении и вычитании полученная сумма или разность не должны иметь десятичных знаков в тех разрядах, в которых они отсутствуют в каком-либо из данных.

Пример. Допустим, что в результате извещивания масса внутреннего стакана калориметра с водой оказалась равной $127,15 \text{ г} \pm 0,01 \text{ г}$, а объём налитой в него воды, измеренный миллиметром, равен $82 \text{ см}^3 \pm 1 \text{ см}^3$. Следовательно, массу воды можно считать равной $82 \text{ г} \pm 1 \text{ г}$. Чтобы по этим данным определить массу стакана, надо из первого числа вычесть второе, т. е.

$$127,15 \text{ г} - 82 \text{ г} = 45,15 \text{ г} \approx 45 \text{ г}.$$

¹ Значащими цифрами приближённого числа называют все его цифры, кроме единиц, стоящих левее первой отличной от нуля цифры, и нулей, стоящих в конце числа, если они стоят взамен неизвестных или отброшенных цифр. Например, число $1,01$ имеет три значащие цифры, а число $0,01$ — одну; число $10,3$, полученное округлением числа $10,32$, имеет три значащие цифры, число 8300 , полученное при округлении числа 8260 — две, но число 100 , когда мы, например, пишем $1 \text{ м} = 100 \text{ см}$, содержит три значащие цифры.

² Проф. В. М. Брадис, Средства и способы элементарных вычислений, изд. АН РСФСР, 1931.

М. Л. Франк, Элементарные приближённые вычисления, ГГТИ, 1932.

Проф. И. А. Знаменский, Лабораторные занятия по физике в средней школе, ч. I, Учпедгиз, 1948.

Так как в вычитаемом нет десятых и сотых долей в соответствующих разрядах (измерение выполнено с точностью до 1 г), то по правилу второму их не должно быть и в разности. Из этого следует, что полученный результат должен быть округлён до целых граммов, как это сделано в приведённом примере.

3. В остальных случаях в окончательном результате вычислений надо удерживать столько значащих цифр, сколько имеется в самом коротком из приближённых данных. Прочие цифры заменяются нулями или отбрасываются по правилам округления.

4. В результатах промежуточных действий надо удерживать одной значащей цифрой больше, чем установлено для окончательного результата.

Пример. Размеры алюминиевого прямоугольного бруска в результате измерения оказались равными: длина — $4,3 \text{ см} \pm 0,1 \text{ см}$, ширина — $2,4 \text{ см} \pm 0,1 \text{ см}$, толщина — $1,1 \text{ см} \pm 0,1 \text{ см}$, а масса бруска при извещивании — $30,81 \text{ г} \pm 0,01 \text{ г}$. Чтобы определить плотность алюминия, надо сначала найти его объём, перемножив линейные размеры бруска, а потом массу бруска разделить на найденный объём.

$$\begin{aligned} 1) & 4,3 \text{ см} \cdot 2,4 \text{ см} = 10,32 \text{ см}^2 \approx 10,3 \text{ см}^2, \\ 2) & 10,3 \text{ см}^2 \cdot 1,1 \text{ см} = 11,33 \text{ см}^3 \approx 11,3 \text{ см}^3, \\ 3) & \frac{30,81 \text{ г}}{11,3 \text{ см}^3} = 2,72 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \approx 2,7 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}. \end{aligned}$$

Из четырёх данных в условиях задачи одно содержит четыре значащие цифры и три — по две значащие цифры. Согласно правилу третьему, в окончательном результате следует сохранить лишь две значащие цифры, а каждый из промежуточных результатов округлить по правилу четвёртому до трёх цифр, как это и выполнено при решении задачи.

5. При округлении приближённых чисел и отбрасывании лишних знаков на конце числа последнюю из оставшихся цифр увеличивают на единицу, если следующая за ней цифра 5 или больше 5, и оставляют без изменения, если она меньше 5. Если отбрасываемая цифра равна 5, а за ней следуют нули, то последнюю из сохраняемых цифр оставляют без изменения, если она чётная, и увеличивают на единицу, если она нечётная.

В процессе проведения первых же лабораторных работ учащиеся должны на материале этих работ, во-первых,

установить понятие о максимальной абсолютной и относительной погрешности измерения и научиться их определять; во-вторых, уметь оценивать точность отдельных измерений, сравнивая их относительные погрешности; в-третьих, при вычислениях уметь применять правила действий над приближёнными числами.

1. Измерение длины, определение площади и объёма

Оборудование. 1) Линейка измерительная (1). 2) Лента измерительная (3). 3) Бруск металлический (15). 4) Бруск деревянный от трибометри (17) (рис. 66).

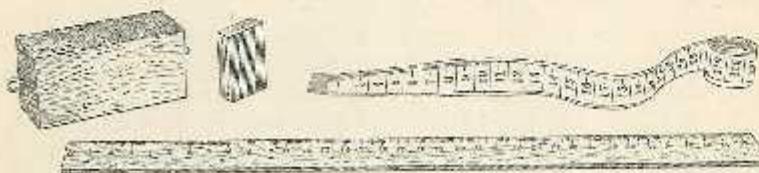


Рис. 66. Оборудование к работе № 1

Эта лабораторная работа является первым фронтальным занятием учащихся VI класса, поэтому в начале урока учеников следует ознакомить с основными организационными правилами проведения фронтальных лабораторных работ, касающимися выдачи оборудования, поведения во время работы, подготовки приборов и принадлежностей к сдаче, уборки оборудования и т. п.

В процессе выполнения работы учащиеся должны ознакомиться с основными приемами измерения длины, осознать неизбежность большей или меньшей погрешности при измерениях и научиться учитывать её в результате, полученному из непосредственного измерения. Это главная цель работы. Кроме того, числовой материал этой работы даст возможность показать учащимся и обосновать правила округления результатов действия с приближенными числами.

Перед учащимися ставятся следующие задачи:

1) Измерить сантиметровой лентой с точностью до 1 см длину и ширину крышки стола и определить её площадь в квадратных сантиметрах.

2) Измерить линейкой с точностью до 1 мм длину, ширину и толщину деревянного бруска и определить его объём в кубических сантиметрах.

3) Измерить линейкой с точностью до 0,1 мм длину, ширину и толщину металлического бруска и определить его объём в кубических сантиметрах (десятичные доли миллиметра отсчитываются из град.).

Результаты измерений будут, примерно, такими:

Крышка стола. Длина $140 \text{ см} \pm 1 \text{ см}$; ширина $59 \text{ см} \pm 1 \text{ см}$. Площадь $140 \cdot 59 = 8260 \text{ см}^2$, или приблизительно 8300 см^2 .

Деревянный бруск. Длина $7,8 \text{ см} \pm 0,1 \text{ см}$; ширина $4,2 \text{ см} \pm 0,1 \text{ см}$; толщина $2,7 \text{ см} \pm 0,1 \text{ см}$. Объём $7,8 \cdot 4,2 \cdot 2,7 = 88,452 \text{ см}^3$, или приблизительно 88 см^3 .

Алюминиевый бруск. Длина $40,3 \text{ мм} \pm 0,1 \text{ мм}$; ширина $25,0 \text{ мм} \pm 0,1 \text{ мм}$; толщина $10,0 \text{ мм} \pm 0,1 \text{ мм}$. Объём $4,03 \cdot 2,50 \cdot 1,00 = 10,075 \text{ см}^3$, или приблизительно $10,1 \text{ см}^3$.

Воспользовавшись числовыми данными, полученными при проведении этой работы, полезно дать учащимся почитать об абсолютной и относительной погрешностях и решить следующие задачи:

1. Сколько процентов составляют максимальные возможные погрешности при измерениях длины и ширины стола? ($0,7\% + 1,7\%$), толщины деревянного бруска? ($3,6\%$), толщины металлического бруска? (1%)?

2. Какое из этих измерений сделано с наибольшей, а какое с наименьшей точностью?

3. Сколько процентов составляет наибольшая возможная погрешность измерения при определении площади крышки стола?

$$\frac{200}{5300} \cdot 100 = 2,4\%$$

Сравните эту погрешность с погрешностями, допущенными при измерениях длины и ширины стола:

$$0,7\% + 1,7\% = 2,4\%$$

2. Измерение мензуркой ёмкости сосуда и объёма твёрдого тела

Оборудование. 1) Линейка измерительная (1). 2) Цилиндр измерительный (5). 3) Бруск металлический (15). 4) Колба коническая (61). 5) Стакан батарейный

- (62). 6) Крючок (69). 7) Тело неправильной формы (70).
 8) Фильтровальная бумага (77) (рис. 67).

Работу целесообразно начать с определения объема прямоугольного бруска по его линейным размерам, чему учащиеся уже научились из предыдущей работе. Затем определить его объем вторично при помощи мензурки.

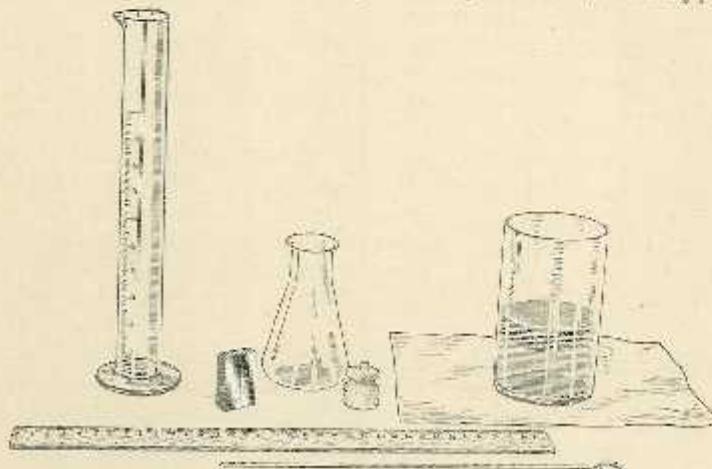


Рис. 67. Оборудование к работе № 2

Сопоставление двух полученных результатов дает учащимся уверенность в правильности выполненных измерений.

Работа содержит в себе следующие три задачи:

1) Определение объема прямоугольного бруска. В результате измерения линейных размеров бруска получают: длина $4,0 \text{ см} \pm 0,1 \text{ см}$; ширина $2,5 \text{ см} \pm 0,1 \text{ см}$; толщина $1,0 \text{ см} \pm 0,1 \text{ см}$. Тогда объем бруска $4 \cdot 2,5 \cdot 1 = 10 \text{ см}^3$. Наливают в мензурку воды приблизительно до половины и, погрузив в нее брусков при помощи проночного крючка, определяют объем бруска¹.

Если начальный уровень воды был $55 \text{ см}^3 \pm 1 \text{ см}^3$, а уровень после погружения бруска стал равным $63 \text{ см}^3 \pm 1 \text{ см}^3$, то объем бруска равен $10 \text{ см}^3 \pm 2 \text{ см}^3$.

¹ На дно мензурки надо предварительно положить короткий отрезок резиновой трубки, чтобы при случайном падении бруска не разбить мензурку.

2) Определение объема тела неправильной формы. Заметив начальный уровень воды в мензурке, например $55 \text{ см}^3 \pm 1 \text{ см}^3$, погружают в воду при помощи крючка тело (фарфоровый ролик), отчего уровень воды поднимается до $64 \text{ см}^3 \pm 1 \text{ см}^3$. Тогда искомый объем будет равен $64 - 55 = 9 \text{ см}^3 \pm 2 \text{ см}^3$.

3) Определение ёмкости сосуда. Наливают из стакана в мензурку 100 см^3 воды и выливают её в колбу, ёмкость которой надо измерить. Вновь наливают в мензурку такое же количество воды и дополняют сюда колбу до горлышка. Измерив объем воды, оставшейся в мензурке (например 55 см^3), находят объем колбы ($100 - 55 = 45 \text{ см}^3$; $100 + 45 = 145 \text{ см}^3 \pm 3 \text{ см}^3$).

3. Взвешивание на рычажных весах

Оборудование. 1) Весы (6). 2) Разновес (7).
 3) Кольцо и лапка от штатива (16) (рис. 68).

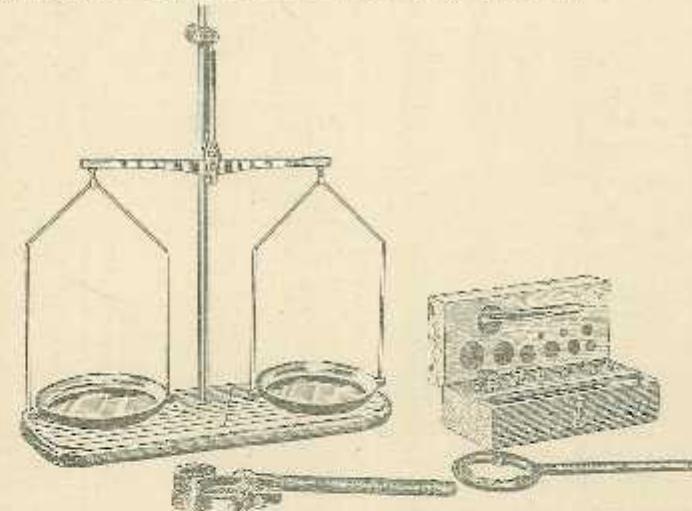


Рис. 68. Оборудование к работе № 3

При первом знакомстве с весами ученикам необходимо подчеркнуть, что это весьма точный прибор физического кабинета, который требует особого обращения. В процессе работы ученики должны усвоить и научиться выполнять правила взвешивания. Это достигается

не заучивание правил, а рядом повторных взвешиваний, из которых первое должно быть проведено под общую команду учителя, а последующие — под его внимательным наблюдением.

Взвешивание под команду возможно только при наличии полного набора одинаковых по весу тел. Из деталей комплекта оборудования для этой цели могут быть использованы кольца от штатива; небольшое различие в их весе необходимо заранее устранить аккуратным спиливанием хвостовой части. Вес надо подгонять таким образом, чтобы количество целых граммов в всех колцах было одинаково (в долях грамма может быть расхождение) и для взвешивания требовалось бы около половины

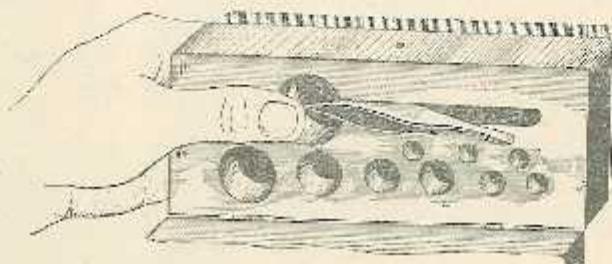


Рис. 69. Вынимание пинцета из гнезда разновеса

тарек всего разновеса. Например, вес кольца 136,23 г очень удобен, так как при взвешивании будут использованы пять граммовых разновесов: 100 г, 20 г, 10 г, 5 г и 1 г.

Взвешивание под команду надо проводить по отдельным операциям, например, в такой последовательности:

1) Поставить перед собой весы и справа от них поставить ящик с разновесом.

2) Положить на левую чашку весов жалезное кольцо, которое надо извесить.

3) Открыть ящик разновеса и, сняв стекло с долей грамма, положить его перед ящиком. Посмотреть и запомнить, как уложен пинцет, чтобы после работы уложить его так же (загнутыми концами наружу в широкой части гнезда, как показано на рис. 69).¹

¹ Всегда пинцеты перед работой необходимо проверять и подготавливать. Концы пинцета должны быть разведены и изогнуты так, чтобы шейка самой крученой разновески свободно проходила между ними и не высаживалась при легком скатии.

4) Нажать пальцем левой руки на концы пинцета, взять пинцет правой рукой за ручку и держать загнутыми концами вверх.

5) Вынуть пинцетом из гнезда гирьку в 100 г и аккуратно поставить её на правую чашку весов (много это или мало? Мало!).

6) Поставить ещё 50 г (теперь много?).

7) Перенести пинцетом 50 г обратно в гнездо ящика и поставить на чашку весов следующую гирьку — 20 г (мало?).

Таким образом, взвешивание под команду надо продолжать, пока не будут исчерпаны граммовые разновесы. Дальнейшее взвешивание с долями грамма учащимся ведут самостоятельно.

После этого производится подсчёт разновесов, и полученный результат записывается в тетради. Затем разновесы убираются на место, и все взвешивающие ещё раз повторяются учащимися самостоятельно, причём теперь ведёт взвешивание второй ученик энсека и взвешивает лапку от штатива.

По окончании взвешивания проводится обсуждение полученных результатов, в процессе которого выясняются абсолютная и относительная погрешности, допущенные при взвешивании, и даются некоторые дополнительные указания к правилам взвешивания и обращения с весами.

4. Градуирование пружины и измерение силы динамометром

Оборудование. 1) Динамометр с закрытой пинкой (8). 2) Набор грузов (9). 3) Штатив с муфтами, лапкой и кольцом (16) (рис. 70).

В этой работе перед учащимися ставится задача, пользуясь грузами с обозначенным на них весом, проградуировать динамометр, с которым они встречаются впервые. Такая задача имеет смысл в том случае, когда динамометры не градуированы. Поэтому перед работой нужно шкалы динамометров закрыть (обернуть или заклеить белой бумагой).

Подготовленный таким способом динамометр зажимают в лапку штатива в вертикальном положении и подвешивают к крючку динамометра сначала один груз.

Отрегулировав после этого положение динамометра так, чтобы подвижные части динамометра не касались его основания, наосит карандашом горизонтальный штрих против указателя. Затем подвешивают второй груз, третий и четвёртый, отмечая каждый раз растяжение пружины. Сняв грузы, отмечают пулевое положение указа-

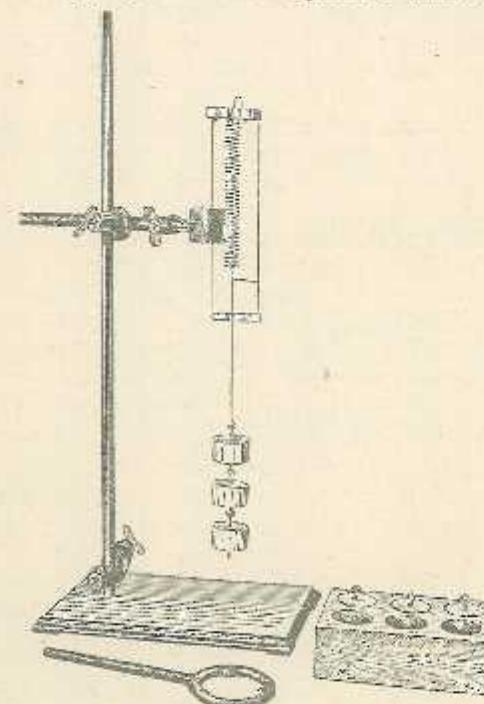


Рис. 70. Оборудование к работе № 4

теля и против нанесённых штрихов проставляют числа: 0, 100, 200, 300 и 400.

Надо обратить внимание учащихся на то, что все расстояния между штрихами получились равными. На этом основании можно считать, что груз в 50 Г вызвал бы удлинение пружины на величину, в два раза меньшую, чем груз в 100 Г, и проставить промежуточные штрихи по 50 Г.

Когда динамометр проградуирован, учащиеся извещают им какой-нибудь предмет, например кольцо от

штатива вместе с муфтой. После взвешивания снимают бумажную полоску и находят на динамометре готовую шкалу. Сравнивая её со своей самодельной, учащиеся убеждаются, что шкала на динамометре отличается от самодельной только большим числом делений: промежутки в 100 Г разделены не на две, а на десять равных частей. Взвесив кольцо с муфтой вторично, получают примерно тот же результат, как и при взвешивании с самодельной шкалой.

5. Определение удельного веса твёрдых и жидких тел¹

Оборудование. 1) Линейка измерительная (1). 2) Цилиндр измерительный (5). 3) Весы (6). 4) Разновес (7). 5) Брускок металлический (15). 6) Колба коните-

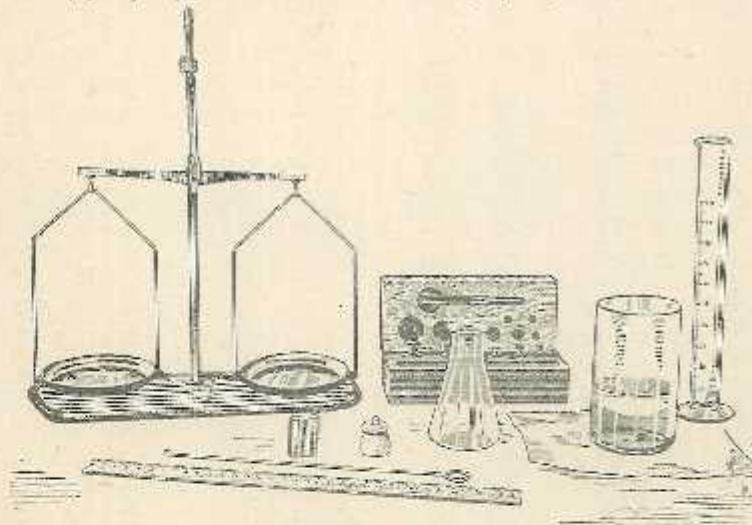


Рис. 71. Оборудование к работе № 5

ская (61). 7) Стакан батирейный (62). 8) Крючок (69). 9) Тело неправильной формы (70). 10) Фильтроанализ-

¹ В этой работе определяется не удельный вес, а плотность, однако понятия о массе и о плотности в программу младших классов не входят, поэтому в работах VI и VII классов единицы массы и веса до калориметрии не различаются и обозначаются буквой «Г».

бумага (77). 11) Раствор медного купороса (80) (рис. 71).

В этой работе учащиеся определяют удельный вес каких-либо двух разнородных твёрдых тел и двух разнородных жидкостей, например алюминия и фарфора, воды и раствора медного купороса¹.

Определение удельного веса алюминия. Взвешивают алюминиевый брускок на рычажных весах, строго соблюдая правила взвешивания. Измеряют линейкой размеры бруска и вычисляют его объём; проверяют полученный объём мензуркой.

Вес бруска $26,7 \text{ Г} \pm 0,1 \text{ Г}$; длина $4,0 \text{ см} \pm 0,1 \text{ см}$; ширина $2,5 \text{ см} \pm 0,1 \text{ см}$; толщина $1,0 \text{ см} \pm 0,1 \text{ см}$. Объём бруска $4,0 \cdot 2,5 \cdot 1,0 = 10 \text{ см}^3$.

Удельный вес алюминия

$$\frac{26,7}{10} = 2,67 \frac{\text{Г}}{\text{см}^3} \approx 2,7 \frac{\text{Г}}{\text{см}^3}.$$

Определение удельного веса фарфора. Фарфоровый ролик после взвешивания погружают при помощи проволочного крючка в мензурку с водой для определения его объёма.

Вес ролика $19,8 \text{ Г} \pm 0,1 \text{ Г}$. Начальный уровень воды в мензурке $83 \text{ см}^3 \pm 1 \text{ см}^3$. Уровень воды после погружения ролика $92 \text{ см}^3 \pm 1 \text{ см}^3$. Объём ролика $92 - 83 = 9 \text{ см}^3$.

Удельный вес фарфора $\frac{19,8}{9} = 2,2 \frac{\text{Г}}{\text{см}^3} \approx 2 \frac{\text{Г}}{\text{см}^3}$.

Определение удельного веса воды. Взвешивают сначала пустую колбу; наливают в неё некоторое количество воды, тщательно отмеренное при помощи мензурки, и взвешивают вторично с водой.

Вес колбы $31,2 \text{ Г} \pm 0,1 \text{ Г}$. Вес колбы с водой $114,0 \text{ Г} \pm 0,1 \text{ Г}$. Вес воды $114 - 31,2 = 82,8 \text{ Г}$. Объём воды $83 \text{ см}^3 \pm 1 \text{ см}^3$.

Удельный вес воды $\frac{82,8}{83} = 0,997 \frac{\text{Г}}{\text{см}^3} \approx 1,0 \frac{\text{Г}}{\text{см}^3}$.

Таким же способом определяют удельный вес второй жидкости — раствора медного купороса.

После работы металлический брускок и тело неправильной формы, которые погружались в воду, тщательно вытирают фильтровальной бумагой.

¹ Можно взять кусочки мрамора, каменного угля, резиновые пробки, спирт, испытанный раствор поваренной соли и т. п.

6. Выяснение условия плавания тела в жидкости

Оборудование. 1) Цилиндр измерительный (5). 2) Весы (6). 3) Разносек (7). 4) Пробирка-поплавок (65). 5) Крючок (69). 6) Кусочки железной проволоки (71). 7) Фильтровальная бумага (77) (рис. 72).

В начале работы поплавок наполняют обрезками железной проволоки и, закрыв пробкой, взвешивают на весах. В мензурку наливают около 50 см^3 воды и, зацепив

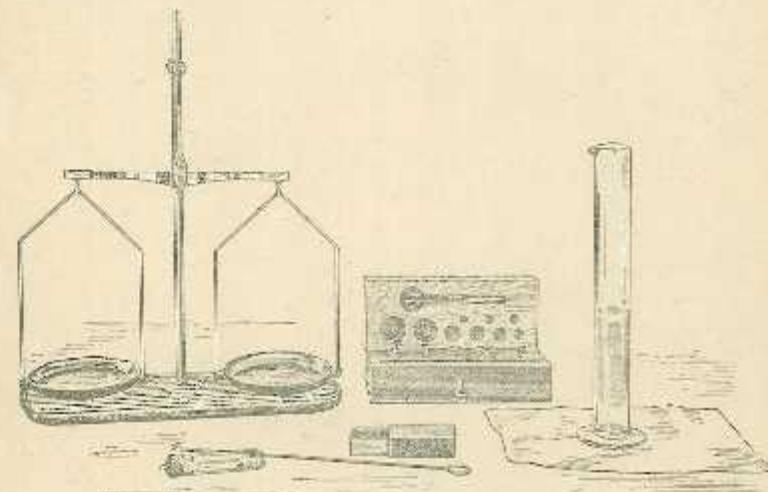


Рис. 72. Оборудование к работе № 6

поплавок крючком, опускают его в воду. Поплавок тонет. Определяют, пользуясь делениями мензурки, объём, а по объёму — вес воды, вытесненной поплавком.

После этого высыпают из поплавка обрезки проволоки и, осушив поплавок фильтровальной бумагой, взвешивают его вторично. Снова погружают при помощи крючка весь поплавок в воду. Теперь поплавок, если его отпустить, уже не тонет, а вслывает. Далее дают поплавку свободно плазать и, пользуясь делениями мензурки, определяют объём, а затем вес вытесненной им воды.

Результаты измерений записывают в следующую таблицу:

№ опыта	Вес поплавка	Вес вытесняемой воды	Положение поплавка
1	18 Г	19 Г	Тонет
2	13 Г	19 Г	Всплынет
3	13 Г	13 Г	Плавает

Выход. Тело тонет, если его вес больше веса вытесняемой воды, и всплывает, если вес тела меньше веса вытесняемой воды.

Вес плавающего тела равен весу воды, которую оно при этом вытесняет.

7. Измерение силы трения и сравнение её с весом тела

Оборудование пис. 1) Динамометр (8). 2) Набор грузов (9). 3) Трибометр (17) (рис. 73).

Лабораторная работа по изучению трения в VI классе должна быть ограничена довольно скромной задачей: ознакомить учащихся практически с измерением силы

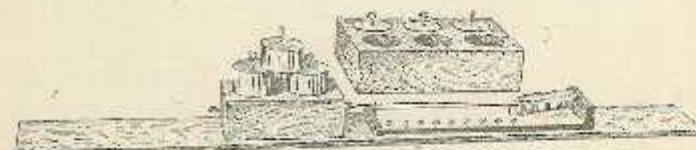


Рис. 73. Оборудование к работе № 7

трения динамометром и показать, что сила трения равна весу тела, а также всего меньше его; что она увеличивается с увеличением веса тела и не зависит от величины площади соприкосновения трущихся поверхностей. Зависимость силы трения от рода трущихся поверхностей, способы увеличения и уменьшения трения, трение качения и т. п. выясняются на демонстрационных опытах.

Выполняя работу, учащиеся сначала извещивают при помощи динамометра брускок. Затем, положив брускок плашмя на линейку (без нагрузки), тянут его равномерно динамометром и замечают по шкале положение указателя.

При измерении силы тяги трудно осуществить строго равномерное движение бруска и указатель динамометра колеблется, поэтому каждое измерение надо проводить несколько раз и брать среднее значение из двух крайних положений указателя.

Этот опыт проводят еще три раза, нагружая брускок постепенно одним (100 Г), двумя (200 Г) и тремя (300 Г) грузами. Затем поворачивают брускок на ребро и повторяют эксперимент в описанной выше последовательности. Из опыта убеждаются в том, что при перестановке бруска на меньшие грани во всех случаях сила тяги не изменяется по сравнению с той, какая была найдена при соответствующей нагрузке, когда брускок лежал на линейке плашмя.

Результаты работы записывают в следующие две таблицы:

Вес тела	Сила тяги
40 Г	8 Г
140 Г	30 Г
240 Г	50 Г
340 Г	72 Г

Увеличение веса тела	Увеличение силы тяги
140 : 40 ≈ 3,5 раза	30 : 8 ≈ 3,7 раза
240 : 140 ≈ 1,7 раза	50 : 30 ≈ 1,7 раза
340 : 240 ≈ 1,4 раза	72 : 50 ≈ 1,4 раза

Выход. Сила тяги на горизонтальной поверхности изменяется во столько раз, во сколько изменяется вес тела, и не зависит от величины площади соприкосновения трущихся поверхностей.

8. Выяснение условий равновесия сил на рычаге

Оборудование. 1) Линейка измерительная (1). 2) Динамометр (8). 3) Набор грузов (9). 4) Штатив с муфтами (16). 5) Рычаг (18) (рис. 74).

Условие равновесия сил на рычаге может быть выведено в ходе обсуждения результатов опыта, выполненного учащимися.

Работа проводится в такой последовательности:

1) На ось, закреплённую в муфте штатива, насаживают рычаг и уравновешивают его перемещением гаек на концах. К левой половине рычага подвешивают при помощи проволочных серёжек два одинаковых груза, например, на расстоянии 18 см от оси и пробой находят

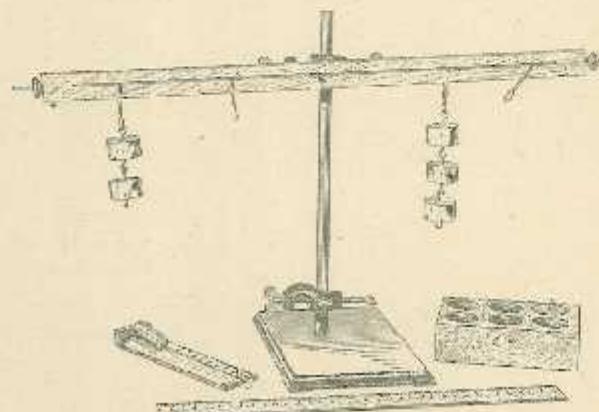


Рис. 71. Оборудование к работе № 8

место, где надо подвесить три таких же груза, чтобы уравновесить рычаг.

2) Подвешивают четыре груза к левой половине рычага на расстоянии 10 см от оси. Решают практически вопрос, сколько грузов придётся подвесить справа от оси на расстоянии 20 см, чтобы уравновесить рычаг.

3) Подвешивают три груза справа на расстоянии 12 см от оси. Определяют при помощи динамометра, какую нужно приложить силу в точке, лежащей на 8 см правее точки подвеса грузов, чтобы удерживать рычаг в равновесии.

Решения этих трёх задач вполне достаточно для того, чтобы по полученным экспериментальным результатам сделать надлежащие выводы; однако, если позволит время, количество опытов может быть увеличено.

Результаты работы записывают в таблицу:

№ опыта	I сила	Плечо силы	II сила	Плечо силы	Отношение сил и плеч
1	200 Г	18 см	300 Г	12 см	200 : 300 = 12 : 18
2	400 Г	10 см	200 Г	20 см	400 : 200 = 20 : 10
3	300 Г	12 см	80 Г	20 см	300 : 80 = 20 : 12

После того как в итоге обсуждения результатов работы будет сформулировано условие равновесия сил для рычага, надо предложить ученикам в виде упражнения еще одну-две задачи на применение установленной закономерности. Можно задать, например, такой вопрос: где надо подвесить один груз на рычаге, чтобы уравновесить такие же три груза, подвешенные на расстоянии 7 см от оси? Ответ, найденный вычислением, следует проверить на опыте.

9. Определение к. п. д. при подъёме тела по наклонной плоскости

Оборудование. 1) Лента измерительная (3). 2) Динамометр (8). 3) Набор грузов (9). 4) Штатив с муфтами и лапкой (16). 5) Трибометр (17) (рис. 75).

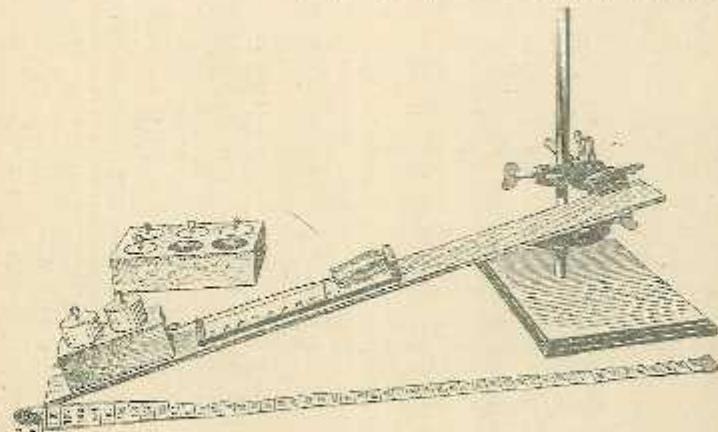


Рис. 75. Оборудование к работе № 9

Линейку трибометра при помощи штатива устанавливают в наклонном положении, как показано на рисунке. Для этого верхний конец линейки зажимают в лапку штатива, прихватив только её край так, чтобы лапка не мешала движению динамометра.

Нагрузив брусков двумя тремя грузами и прицепив к нему динамометр, равномерно тянут брусков вверх по наклонной плоскости и измеряют силу. Затем измеряют лентой длину линейки (пути) и вычисляют произведённую работу.

Пусть сила тяги равна 165 Г, а длина пути 50 см. Тогда произведённая работа $A_1 = 0,165 \cdot 0,5 = 0,0825 \text{ кГм}$.

Измерив далее вес бруска с грузами и высоту подъёма, определяют полезную работу. Если брусков с тремя грузами весит 340 Г, а высота наклонной плоскости 15 см, то полезная работа будет равна $A_2 = 0,34 \cdot 0,15 = 0,0510 \text{ кГм}$. Следовательно, коэффициент полезного действия:

$$\text{к.п.д.} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{0,0510}{0,0825} \approx 0,62, \text{ или } 62\%.$$

Если углы наклона линейки у разных звеньев в классе будут различными, то и результаты работы звеньев будут отличаться друг от друга. Этим можно воспользоваться в заключительной беседе к работе, чтобы показать и объяснить учащимся увеличение к.п.д. при увеличении крутизны наклонной плоскости.

10. Проверка теплового баланса при смешении воды различной температуры

Оборудование. 1) Цилиндр измерительный (5). 2) Термометр (10). 3) Калориметр (28). 4) Чайник с горячей водой (60). 5) Стакан батарейный (62) (рис. 76).

Работу проводят в такой последовательности:

1) При помощи мензурики наливают в батарейный стакан около 100 см³ воды и измеряют её температуру.

2) Затем наливают в калориметр горячую воду примерно до половины внутреннего стакана калориметра и измеряют температуру горячей воды.

3) Не вынимая термометра, наливают в калориметр холодную воду и, осторожно перемешав смесь термо-

метром, следят за понижением температуры. Когда изменение температуры станет почти незаметным, записывают показания термометра и измеряют мензуркой общий объём воды в калориметре.

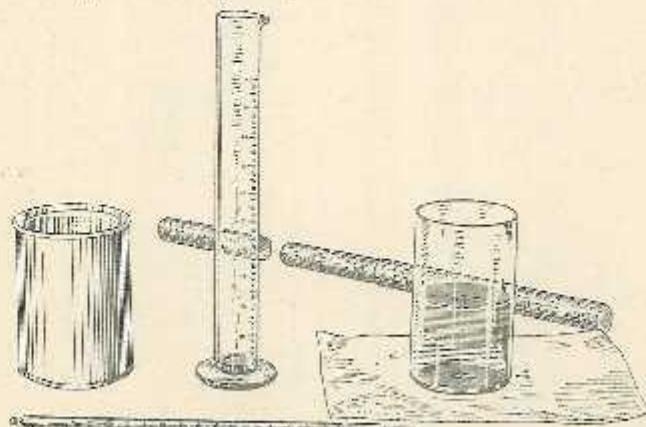


Рис. 76. Оборудование к работе № 10

Примерные результаты работы

Масса холодной воды	.....	100 г
Температура холодной воды	.....	25°
Масса смеси	.....	242 г
Температура смеси	.....	36°
Масса горячей воды	.....	242 - 100 = 142 г
Температура горячей воды	.....	80°
Количество теплоты, отдданное горячей водой	.....	142 · (80 - 36) = 3408 ≈ 3400 кал
Количество теплоты, полученное холдной водой	.....	100 · (36 - 25) = 3100 кал

На основании правил приближённых вычислений в двух полученных результатах после округления сохраняют по две значащие цифры, из которых первая должна быть вполне надёжна, а вторая — сомнительна, но близка к истинной. Сравнивая полученные результаты, замечают, что они отличаются только вторыми цифрами, которые не могут быть достоверными. Обращают внимание учащихся на то, что второе число несколько

¹ Чайник нужен один на весь класс.

меньше первого. Это вполне закономерно и объясняется главным образом неучтёнными потерями теплоты на нагревание внутреннего сосуда калориметра и на излучение теплоты в окружающее пространство.

11. Определение к.п.д. нагревателя

Оборудование. 1) Цилиндр измерительный (5). 2) Весы (6). 3) Равнопес (7). 4) Термометр (10). 5) Штатив с муфтами и лапкой (16). 6) Спиртовка со спир-

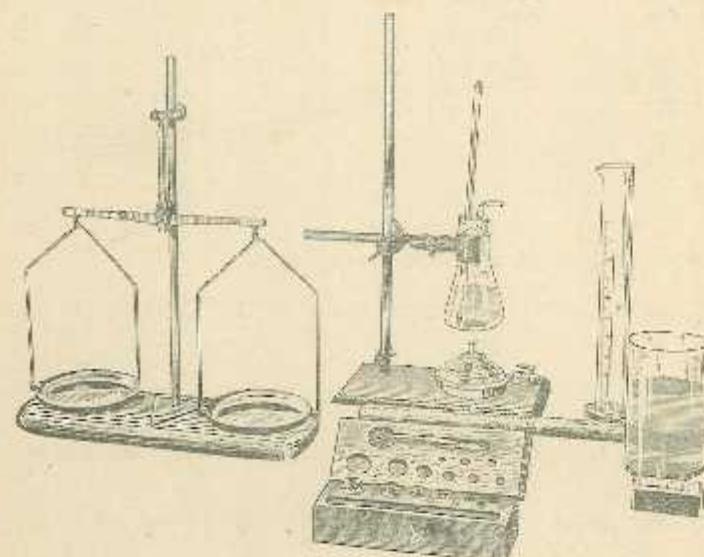


Рис. 77. Оборудование к работе № 11

том (27, 78). 7) Колба с пробкой и трубкой (61). 8) Стакан батарейный с водой (62). 9) Слички (82) (рис. 77).

Наливают из стакана в мензурку около 100 см³ воды и после измерения объема переливают её в колбу. Закрывают колбу пробкой с трубкой для выхода пара и в отверстие пробки вставляют термометр так, чтобы его погружён в воду. Горлышко колбы зажимают в лапку штатива. По термометру определяют начальную температуру воды.

Взвешивают спиртовку со спиртом и, поставив её под колбу с водой, зажигают.

Вода в колбе постепенно нагревается и закипает минут через 10—12. За это время ученики должны подготовить все необходимые записи в своих тетрадях.

Когда вода закипит, спиртовку гасят (накрывают фильтр колпачком) и взвешивают вторично.

Ниже приведены примерные результаты измерений и ход вычисления к.п.д.

Начальная масса спиртовки со спиртом	114,00	г
Масса спиртовки после опыта	111,05	г
Количество сгоревшего спирта	114,00 — 111,05	= 2,95 г
Масса воды в колбе	100	г
Начальная температура воды	24	°
Конечная температура воды	100	°
Калорийность спирта	7 200	$\frac{\text{кал}}{\text{г}}$
При сгорании спирта выделилась теплота	7 200 · 2,95	= 21 249 кал ≈ 21 200 кал
Из этого количества теплоты на нагревание воды	100 · (100 — 24)	= 7 600 кал
Коэффициент полезного действия установки будет:		
к.п.д. = $\frac{7 600}{21 200}$	≈ 0,35, или 35%.	

При вычислениях в этой работе приходится иметь дело со следующими четырьмя данными: калорийностью спирта, массой сгоревшего спирта, массой воды и разностью температур. Первая и четвёртая величины имеют по две значащие цифры, вторая и третья — три значащие цифры. Если применить известные ученикам правила приближённых вычислений, то в окончательном результате следует сохранить две значащие цифры, как это и сделано.

12. Наблюдение за нагреванием и плавлением нафталина и построение графика температуры

Оборудование. 1) Термометр (10). 2) Часы с секундной стрелкой (13)¹. 3) Штатив с муфтами, лапкой и кольцом (16). 4) Спиртовка со спиртом (27, 78).

¹ Часы нужны одни на весь класс.

- 5) Колба (61). 6) Пробирка с нафталином (66, 81).
7) Спички (82) (рис. 78).

Перед проведением работы надо заблаговременно плавить термометры в нафталине. Для этого все пробирки с нафталином, вставленные в стойку (рис. 54), помещаются в металлическую кружку с кипящей водой.

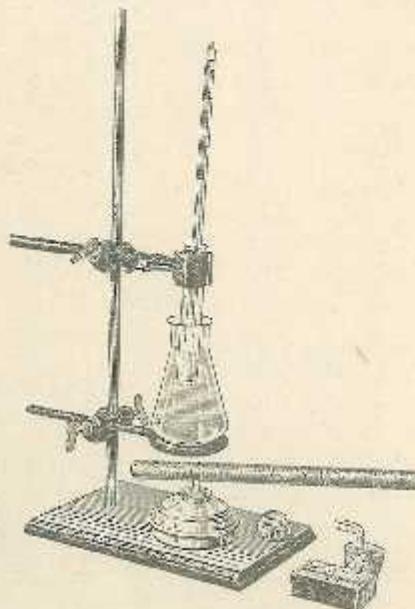


Рис. 78. Оборудование к работе № 12

Когда нафталин расплавится, стойку с пробирками вынимают и вместо горячей воды в кружку наливают холодной воды столько, чтобы пробирки погружались в неё приблизительно на 1 см. От холодной воды нафталин на две пробирки быстро затвердевает, а сверху остаётся жидким. В жидкую часть нафталина погружают термометры, которые и остаются в пробирках до полного затвердевания нафталина. В таком виде (с виллаженными термометрами) пробирки раздаются на ученические столы для проведения работы.

Приборы собираются, как показано на рис. 78. Затем вся установка поворачивается так, чтобы ученик, кото-

рый будет вести наблюдение за температурой, видел шкалу термометра в интервале по крайней мере от 50 до 100°. Пробирку с нафталином надо погрузить в воду до уровня нафталина, причём она не должна касаться дна колбы.

Поставив под колбу горячую спиртовку, начинают вести наблюдение. Один из учащихся следит за показаниями термометра и сообщает товарищу, когда столбик ртути в термометре покажется над линией штатива. Второй после этого следует за секундной стрелкой часов, стоящих на демонстрационном столе, и вслух отсчитывает время через каждые полминуты. Первый ученик в момент отсчёта замечает и затем записывает показания термометра в виде помечённой ниже таблицы.

Таблица наблюдений

Время (минуты)	Темпер. (град.)	Время (минуты)	Темпер. (град.)	Время (минуты)	Темпер. (град.)	Время (минуты)	Темпер. (град.)
0	59	5,5	77	11	81	16,5	79
0,5	62	6	77,5	11,5	82	17	79
1	64,5	6,5	78	12	81,5	17,5	78,5
1,5	67	7	78	12,5	78,5	18	78
2	69	7,5	79	13	79,5	18,5	77
2,5	71	8	91	13,5	79,5	19	76
3	73	8,5	94	14	79,5	19,5	75
3,5	74,5	9	97	14,5	79,5	20	73,5
4	75,5	9,5	99	15	79,5	20,5	71,5
4,5	76	10	99,5	15,5	79	21	69,5
5	77	10,5	86	16	79	21,5	67

Когда вода закипит, гасят спиртовку, убирают колбу и наблюдают за температурой при остывании и затвердевании нафталина.

С момента начала плавления и до отвердевания нафталина необходимо слегка поменять термометром для лучшего выраживания температуры.

По данным, записанным в таблицу, вычерчивают на клетчатой бумаге график (рис. 79). При рассмотрении

графика прежде всего видно, что он заметно отличается от того идеального графика, который обычно приводят в учебниках при объяснениях процесса плавления и отвердевания. Здесь важно обратить внимание учащихся на то, что на практике редко удается наблюдать то или

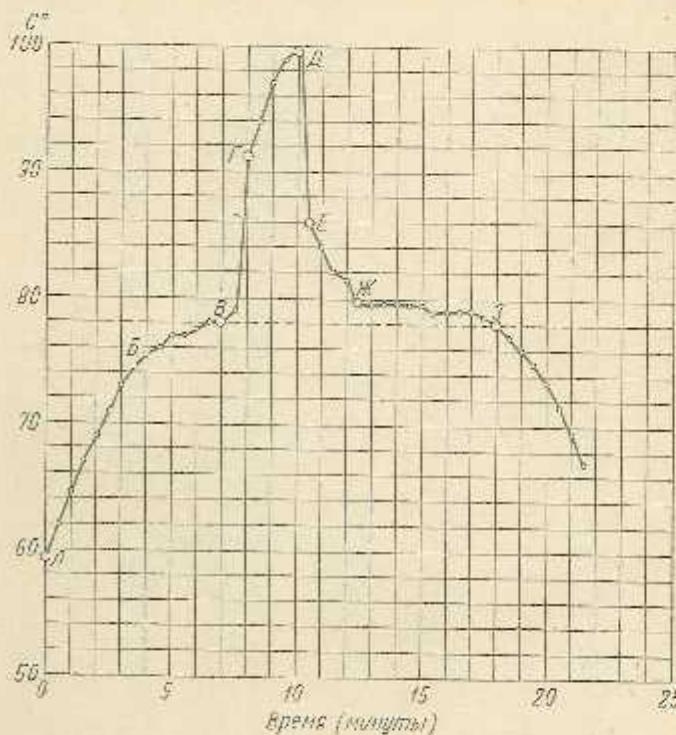


Рис. 79. График плавления и отвердевания нафталина

иное явление в чистом виде; всегда на него оказывают большее или меньшее влияние другие явления. В данном случае сильно изменяет картину плавления и отвердевания запаздывание показаний термометра. При той скорости нагревания и охлаждения, которая имела место в опыте, отставание показаний термометра от протекающего процесса достигает 1—1,5°.

В момент, отмеченный на графике точкой Б, нафталин с внешней стороны уже начал плавиться и его тем-

пература здесь уже достигла постоянной точки плавления, но весь он еще не успел прогреться и термометр продолжает показывать постепенно замедляющееся увеличение температуры. Поэтому линия графика на участке БВ не горизонтальная, а слегка поднимается вверх. Участок ЖЭ (отвердевания) тоже несколько наклонен и, кроме того, расположен выше участка плавления, так как в момент Ж нафталин с внешней стороны начал отвердевать, а внутри продолжает еще остыть, поэтому термометр и здесь показывает вначале больше, чем следует; он лишь постепенно подходит к истинной температуре отвердевания, т. е. к моменту Э.

Крутизна участка ВГ больше, чем АВ, несмотря на то, что приток тепла в опыте мы вправе считать равномерным. Это свидетельствует о меньшей теплопроводности жидкого нафталина, так как он нагревается быстрее, чем твердый нафталин.

Обращает на себя внимание излом в точке Г, после которого линия графика пошла менее круто. Здесь опять сказывается запаздывание в прогревании, но уже не термометра, а пробирки со всем содержимым. В момент Г вода начинает кипеть, следовательно, ее температура почти 100°, но термометр показывает только 91°. Понятно, что с этого момента, когда температура воды перестала повышаться, повышение температуры нафталина будет значительно медленнее, чем раньше.

В момент Д мы вынимаем пробирку из колбы. Испаряющаяся с поверхности пробирки вода быстро охлаждает пробирку, этим объясняется большая крутизна на участке ДЕ, после чего дальнейшее охлаждение уже высохшей пробирки идет обычным путем (участок ЕЖ).

Пунктирная линия на рисунке проведена через точки графика В и З, которая, согласно указанным выше соображениям, соответствует действительной температуре плавления и отвердевания нафталина.

13. Наблюдение за нагреванием и кипением воды и построение графика температуры

Оборудование. 1) Термометр (10). 2) Часы с секундной стрелкой (13). 3) Штатив с муфтами и лапкой (16). 4) Спиртовка со спиртом (27, 78). 5) Колба с пробкой (61). 6) Спички (82) (рис. 80).

В результате этой работы учащиеся должны вычеркнуть график процесса нагревания и кипения по полученным из опыта данным.

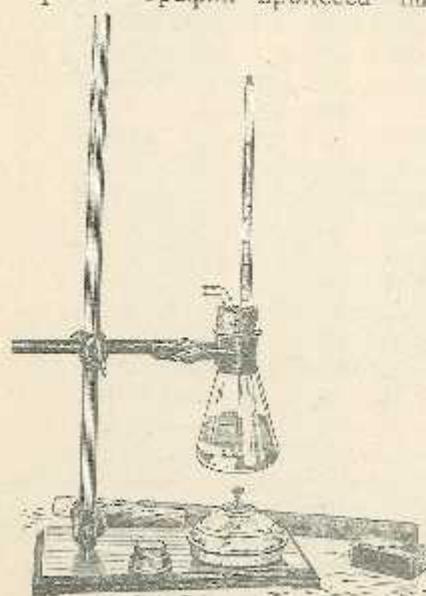


Рис. 80. Оборудование к работе № 13

Для проведения работы наливают в колбу около 100 см^3 воды и в отверстие пробки, имеющей трубку для выхода пара, вставляют термометр так, чтобы его шарик был погружен в воду. Зажимают колбу в штатив и, подставив горящую спиртовку под колбу, как показано на рисунке, ведут наблюдение так же, как в предыдущей работе. Примерные результаты наблюдения приведены ниже в таблице.

Таблица наблюдений

Время (минуты)	Темпер. (град.)	Время (минуты)	Темпер. (град.)	Время (минуты)	Темпер. (град.)	Время (минуты)	Темпер. (град.)
0	46	2,5	68	5	87	7,5	99,5
0,5	49	3	72	5,5	91	8	99,5
1	54	3,5	76	6	94	8,5	99,5
1,5	59	4	80	6,5	97	9	99,5
2	63	4,5	84	7	99,5	—	—

По данным таблицы вычерчивают график на клетчатой бумаге (рис. 81).

Необходимо предупредить учащихся, что при вынимании пробки из горлышка колбы после опыта надо придерживать рукой термометр, так как он может упасть и разбиться о дно колбы или разбить колбу.

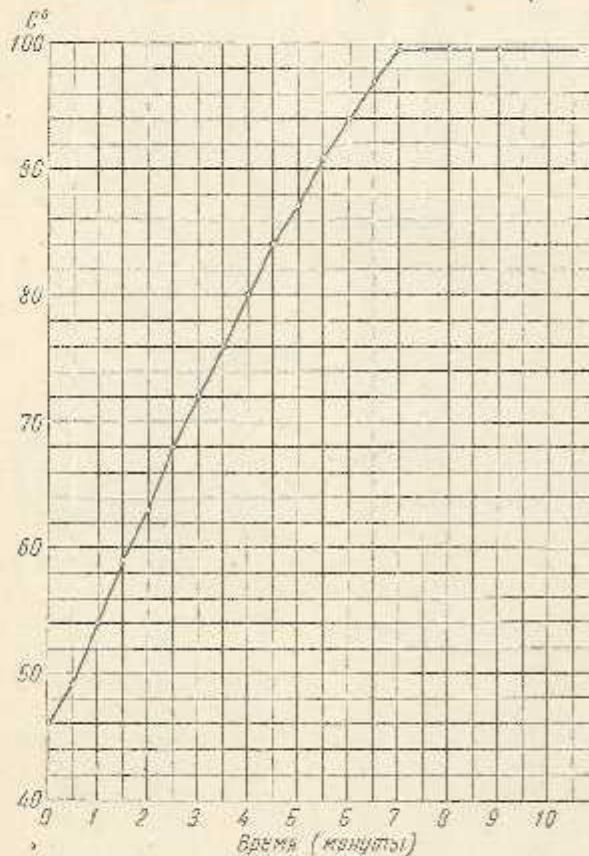


Рис. 81. График нагревания и кипения воды

14. Сборка электрической цепи

- Оборудование. 1) Батарея аккумуляторов (31).
2) Лампочка на подставке (32). 3) Резистор (34).
4) Ключ (35). 5) Катушка с железным сердечником (36).
6) Провода соединительные (большой набор) (40) (рис. 82).

Эта первая работа по электричеству носит вводный характер и имеет целью: 1) ознакомить учащихся с устройством и действием некоторых наиболее употребительных приборов по электричеству и их условными обозначениями на схемах; 2) научить составлять электрические цепи по заданным простейшим схемам; 3) дать понятие о последовательном и параллельном соединении проводников¹.

Работа выполняется в такой последовательности. По начертанной на доске схеме (рис. 83) соединяют после-

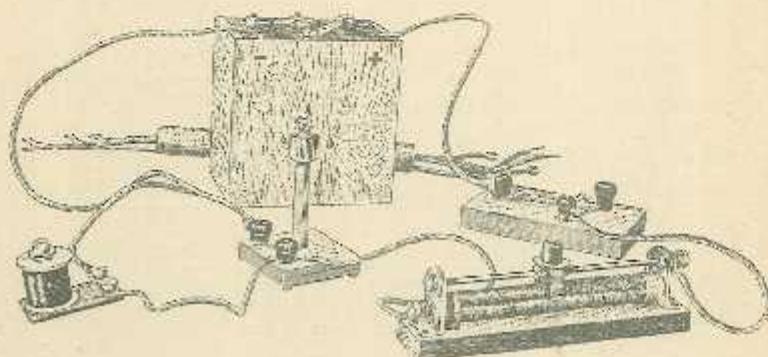


Рис. 82. Оборудование к работе № 14

довательно: аккумуляторную батарею, реостат, ключ, катушку с сердечником и лампочку. Включив ток, передвигают скользящий контакт реостата и наблюдают за изменением яркости горения лампочки. Затем, установив контакт реостата так, чтобы получить максимальный ток, убеждаются в магнитном действии катушки. Для этого прикасаются к сердечнику каким-либо железным предметом (ручка с железной вставкой для пера) и наблюдают притяжение; выключают ток и обнаруживают исчезновение магнитного действия.

Составляют цепь по новой схеме (рис. 84) с параллельным соединением лампочки и электромагнита и обнаруживают, что при том же положении скользящего контакта реостата лампочка горит ярче (чем в цепи предыдущей схемы), а электромагнит сильнее притягивает

¹ Третью задачу вполне допустимо выделить в отдельную работу.

железо. Значит, действие приборов зависит от способа их соединения.

В процессе выполнения этой первой работы до электричеству необходимо дать учащимся ряд указаний по обращению с приборами: перед включением реостата его обмотка при помощи скользящего контакта должна быть введена в цепь полностью; ключ должен быть выключен;

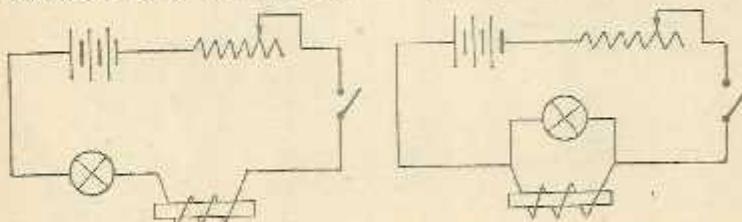


Рис. 83. Схема последовательного включения лампочки и электромагнита

Рис. 84. Схема параллельного включения лампочки и электромагнита

присоединяя проводник к аккумулятору, надо следить, чтобы наконечник провода не соединил клемму аккумулятора с бортиком банки; в обращении с приборами никогда не следует применять большой силы, но все соединения должны быть надежными; при составлении цепи полезно начинать соединение от плюса источника и заканчивать минусом; перед уборкой оборудования все соединительные проводники надо выпрямить и аккуратно уложить в футляр (картонную трубку).

15. Проверка закона Ома для участка цепи

Оборудование. 1) Амперметр (11). 2) Вольтметр (12). 3) Батарея аккумуляторов (31). 4) Набор из трех проволочных сопротивлений (33). 5) Реостат (34). 6) Ключ (35). 7) Провода соединительные (большой набор) (40) (рис. 85).

Работа делится на две части: 1) исследование зависимости силы тока от напряжения на данном участке цепи и 2) исследование зависимости силы тока от сопротивления участка цепи при постоянном напряжении на его концах.

Для выполнения работы составляют электрическую цепь из аккумуляторной батареи, амперметра, реостата,

проводочного сопротивления на 2 ома и ключа. Параллельно проволочной спирали присоединяют вольтметр (рис. 86).

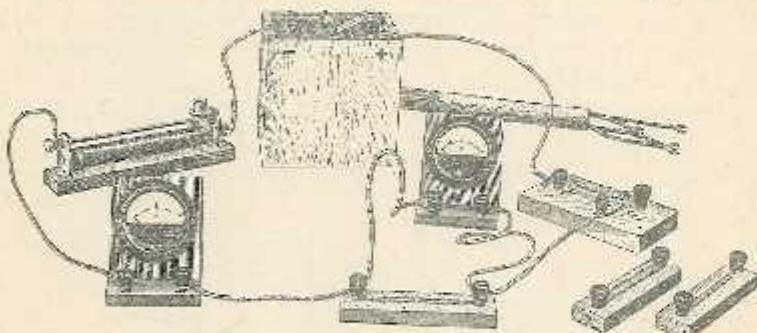


Рис. 85. Оборудование к работе № 15

Включают ток и доводят напряжение на зажимах спирали при помощи реостата до 1 в, затем до 2 в и до

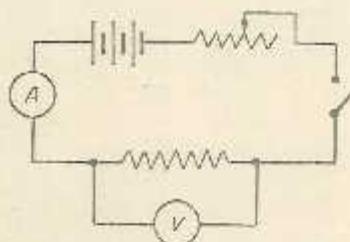


Рис. 86. Схема включения в цепь приборов для проверки закона Ома

3 в. Каждый раз при этом измеряют силу тока и результаты записывают в таблицу.

Таблица результатов измерения

Постоянное сопротивление участка 2 ома			
Напряжение	1 в	2 в	3 в
Сила тока	0,5 а	1 а	1,5 а

Из этих данных делают вывод о том, что сила тока прямо пропорциональна напряжению на концах участка цепи.

Для выяснения зависимости силы тока от сопротивления проводника включают в цепь по той же схеме сначала спираль с сопротивлением в 1 ом, затем 2 ома и 4 ома. При помощи реостата устанавливают на концах участка каждый раз одно и то же напряжение, например 2 в. Измеряют при этом силу тока в цепи и результаты записывают в таблицу.

Таблица результатов измерения

Постоянное напряжение 2 вольт			
Сопротивление участка	1 ом	2 ома	4 ома
Сила тока	2 а	1 а	0,5 а

Из этих данных делают вывод, что сила тока при постоянном напряжении на концах участка цепи обратно пропорциональна сопротивлению этого участка.

Оба вывода объединяют в формулу, выражющую закон Ома для участка цепи:

$$I = \frac{V}{R}.$$

16. Определение сопротивления при помощи амперметра и вольтметра

Оборудование. 1) Амперметр (11). 2) Вольтметр (12). 3) Батареи аккумуляторов (31). 4) Проводочное сопротивление 2 ома (33). 5) Реостат (34). 6) Ключ (35). 7) Катушка проволочная (36). 8) Провода соединительные (большой набор) (40) (рис. 87).

Для измерения сопротивлений учащиеся получают три проводника: проволочную спираль с надписью, показывающей величину сопротивления (2 ома), катушку электромагнита и реостат. Сопротивление двух последних приборов учащимся неизвестно.

Сначала составляют электрическую цепь по схеме, указанной в предыдущей работе (рис. 86); последовательно соединяют: амперметр, проволочную спираль,

ключ, реостат и аккумуляторную батарею. К зажимам спирали, параллельно ей, присоединяют вольтметр. Включив ток, наблюдают показания амперметра и вольтметра при различных положениях скользящего контакта

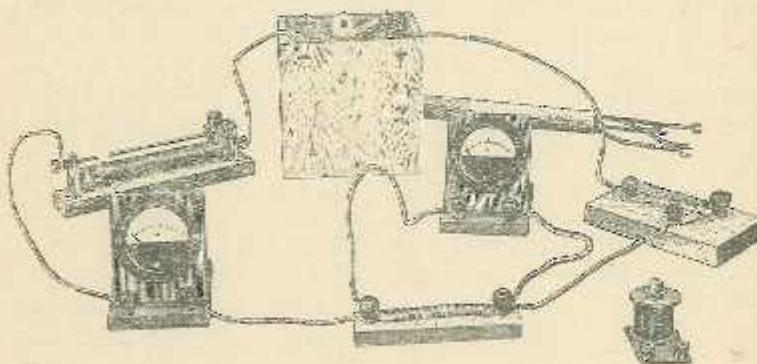


Рис. 87. Оборудование к работе № 16

реостата и заносят эти показания во вторую и третью графу таблицы. Затем выключают ток, производят измерения сопротивлений и записывают результаты в четвёртой графе таблицы.

Таблица результатов измерений

№ опыта	Сила тока <i>I</i>	Напряжение <i>V</i>	Сопротивление $R = \frac{V}{I}$
	0,6 а	1,2 в	$\frac{1,2}{0,6} = 2$ ома
2	1 а	2 в	$\frac{2}{1} = 2$ ома
3	0,7 а	1,5 в	$\frac{1,5}{0,7} = 2,1$ ома
4	1,4 а	2,8 в	$\frac{2,8}{1,4} = 2$ ома

Выполнив эту первую основную часть работы, учащиеся устанавливают, что сопротивление спирали при разных значениях силы тока в цепи остаётся постоянным и, сравнивая найденную величину сопротивления с надписью, убеждаются в правильности полученного результата.

Затем заменяют в цепи проволочную спираль катушкой и, сделав два-три измерения таким способом, как было написано выше, вычисляют сопротивление катушки:

$$R_1 = \frac{2,7}{0,4} = 6,75 \text{ ома}; R_2 = \frac{3,3}{0,5} = 6,6 \text{ ома};$$

среднее $R = 6,7$ ома.

Определение сопротивления реостата является дополнительным упражнением и может быть предложено тем учащимся, которые раньше других выполнили предыдущие задания. Для этого реостат вводят в цепь полностью, а к его зажимам присоединяют вольтметр; катушку или проволочное сопротивление лучше оставить включёнными в цепь, чтобы избежать короткого замыкания при неправильном включении реостата.

17. Определение мощности, потребляемой электромотором или электрической лампочкой

Оборудование. 1) Амперметр (11). 2) Вольтметр (12). 3) Батарея аккумуляторов (31). 4) Реостат (34).

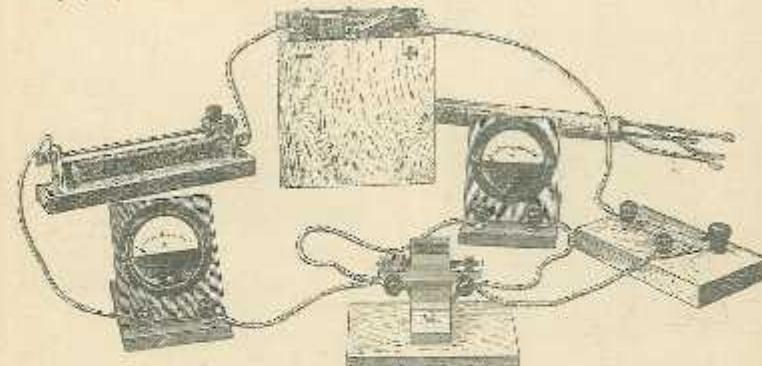


Рис. 88. Оборудование к работе № 17

5) Ключ (35). 6) Электромоторчик (37) или электрическая лампочка на стойке (32). 7) Провода соединительные (большой набор) (40) (рис. 88).

Основной смысл работы заключается в практическом применении формулы мощности к реальному случаю. Это конкретизирует и дополняет упражнения в решении задач на расчёт мощности с готовыми данными. Кроме того, в работе учащиеся впервые предварительно знакомятся с действующей упрощённой моделью электромотора.

Для выполнения работы соединяют последовательно аккумуляторную батарею, реостат, амперметр, моторчик и ключ. Параллельно моторчику присоединяют вольтметр. Затем включают ток и регулируют скорость вращения моторчика реостатом. Когда моторчик разогреёт нормальную скорость (при выведенном реостате), измеряют силу тока и напряжение. При измерении силы тока отсчитывают на глаз десятые доли деления шкалы амперметра, чтобы получить результат из двух значащих цифр.

Работа даёт, примерно, такие результаты:

$$I = 0,35 \text{ а}; V = 3,4 \text{ в}; N = 0,35 \cdot 3,4 = 1,19 \text{ вт}.$$

Округляя результат, получают $N = 1,2 \text{ вт}$.

Эту работу, в случае необходимости, можно провести с лампочкой на стойке (32), заменив ею электромоторчик.

18. Наблюдение магнитных явлений

Оборудование. 1) Магниты полосовые — пара (42). 2) Магнит дугообразный (43). 3) Стрелка магнитная на подставке (45). 4) Кольцо железное (46). 5) Коробочка-

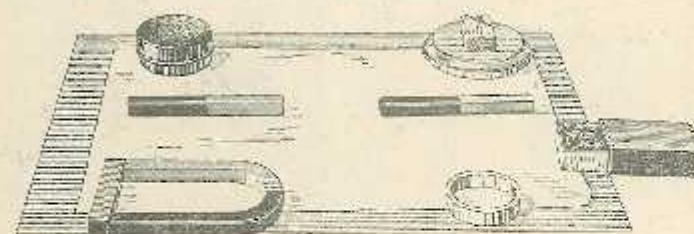


Рис. 89. Оборудование к работе № 18

сито с железными опилками (49). 6) Кусочки железной проволоки (71). 7) Картон (72). 8) Бумага белая (73) (рис. 89).

Работа посит качественный характер и, как все подобного рода работы, не отличается достаточно ясно видимой для учащихся целью. Это заставляет заранее дать ученикам план наблюдений в виде конкретных задач и вопросов, ответы на которые они могут получить из опыта. Отчётом о проделанной работе должны служить краткие письменные ответы и рисунки.

Примерный перечень вопросов

- 1) Притягиваются ли магнитом гвоздь, карандаш, бумага, стекло, резина и т. д.?
- 2) Какие места магнита сильнее всего притягивают железные предметы, железные опилки?
- 3) Как проще всего очистить магнит от приставших к нему железных опилок?¹
- 4) Подвесить к полюсу магнита цепочку из кусочков железной проволоки, а потом, взявшись за верхний кусочек, осторожно убрать магнит. Что будет с цепочкой?
- 5) Поместить прямой магнит на два круглых карандаша, как на катки, и приближать к одному из его концов другой такой же магнит. Как будет себя вести первый магнит?
- 6) Как располагается магнитная стрелка из остряя, если магниты и все железные предметы убрать подальше со стола?
- 7) Получить с помощью магнитных опилок и зарисовать магнитные спектры: а) прямого магнита; б) дугообразного магнита; в) двух прямых магнитов, обращённых друг к другу одинаковыми полюсами; г) прямых магнитов, обращённых друг к другу разноименными полюсами; д) дугообразного магнита с железным якорем, расположенным вблизи полюсов; е) дугообразного магнита с железным кольцом вблизи полюсов.
- 8) Как располагается магнитная стрелка, если ставить её в разных местах вокруг прямого магнита?

Для получения отчётливого и правильного спектра надо на магнит подложить картон, покрый белой бумагой, и равномерно рассеивать по бумаге опилки из коробки с ситечком. При этом коробку лучше держать на высоте 25—30 см и слегка постукивать по ней пальцем.

¹ Надо опилки от полюсов сдвинуть пальцами или щёткой к нейтрали магнита, где они свободно сами отпадают.

Получив равномерный, не слишком густой слой оникса, следует осторожно постучать по бумаге в разных местах остриём карандаша, следя за тем, чтобы опилки не сполали к полюсам.

После работы, перед уборкой приборов, магниты должны быть тщательно очищены от опилок (ученики уже знают, как это сделать) и опилки собраны обратно в коробочку.

В таком объеме эта работа может быть выполнена в течение одного урока. Однако она насыщена материалом, и для более слабого класса её следует значительно сократить в пункте 7 или распределить на два занятия.

19. Изучение магнитных свойств катушки с током

Оборудование. 1) Батарея аккумуляторов (31). 2) Ключ (35). 3) Катушка с железным сердечником (36). 4) Провода соединительные (большой набор) (40)¹.

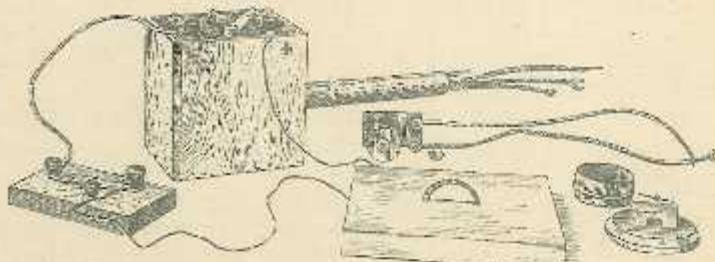


Рис. 90. Оборудование к работе № 19

5) Стрелка магнитная на подставке (45). 6) Моток проволочный (47). 7) Экранчик с вырезом (48). 8) Коробочка-што с железными опилками (49) (рис. 90).

В содержание данной работы входит: получение и зарисовка спектра кругового тока, упражнение в применении правила винта для определения направления магнитных силовых линий, проверка этого правила при помощи магнитной стрелки.

¹ В средней школе, когда в физическом кабинете имеется полное оборудование для фронтальных занятий, здесь и в работах 21, 22 и 23 рациональнее применить малый набор соединительных проводов (41).

Для выполнения работы проволочный моток вставляют в вырез картонного экрана и через ключ присоединяют к батарее аккумуляторов. Ток при этом должен быть выключен. Затем покрывают экран с помощью ситечка ровным слоем железных опилок. Включив ток, осторожно постукивают остриём карандаша по экрану в нескольких местах и, когда получится достаточно чёткий магнитный спектр, ток выключают.

После этого учащиеся делают зарисовку спектра вместе с проволочным мотком и экраном. На рисунке должны быть показаны стрелкой направление тока в мотке, которое легко определить по полюсам источника, и направление магнитных силовых линий, которое определяют по правилу винта.

По окончании опыта опилкисыпают с экрана на лист бумаги, а с него — в коробочку; сама же установка не разбирается.

Для того чтобы проверить, правильно ли определено направление магнитных силовых линий в предыдущем опыте, надо воспользоваться магнитной стрелкой. С этой целью снимают с круглого основания бруском с магнитной стрелкой и ставят его за экран перед проволочным мотком. При включении тока стрелка расположится вдоль магнитных силовых линий и своим северным полюсом укажет их направление.

Очень полезно следующее упражнение. Закрепляют проволочный моток между бруском с остриём для магнитной стрелки и основанием и надевают на остриё магнитную стрелку (см. работу 46, рис. 124). Полученный таким образом гальваноскоп располагают так, чтобы стрелка была в плоскости мотка. Затем соединяют моток через ключ с батареей аккумуляторов и включают в него ток. По отклонению стрелки определяют направление тока в катушке, применив правило винта. Результаты такого определения проверяют по полюсам источника.

Этот простейший гальваноскоп будет применён в одной из последующих работ, поэтому ознакомить учащихся заранее с его действием восьмью жалательно.

20. Сборка и применение электромагнита

Оборудование. 1) Батарея аккумуляторов (31). 2) Ключ (35). 3) Катушки с железными сердечниками — пара (36). 4) Провода соединительные (большой набор)

(40). 5) Детали для сборки электромагнита (44) (рис. 91).

Целью работы является практическое знакомство учащихся с устройством и действием электромагнита и автоматического прерывателя, имевших в технике широкое применение.

Работа начинается со сборки электромагнита из готовых деталей. На железной пластинке, которая должна служить основанием электромагнита, устанавливают при помощи болтиков с гайками две катушки. Для этого болтики продеваются через отверстия пластины снизу,

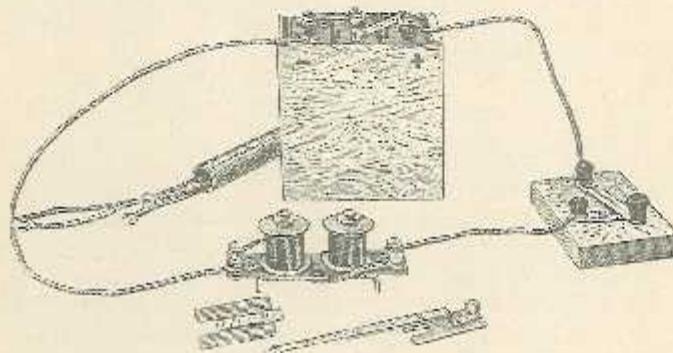


Рис. 91. Оборудование к работе № 20

на них надевают катушки и закрепляют сверху гайками (рис. 91). Катушки соединяют между собой последовательно, но так, чтобы при пропускании тока на концах болтиков сверху получались разноименные полюсы. С этой целью применяют какое-либо из известных учащимся правил. Затем соединяют электромагнит через ключ с батареей аккумуляторов, включают ток и наблюдают к полюсам магнитную стрелку на острис. По отклонению стрелки определяют полюсы и проверяют правильность применения правила.

Далее переходят к сборке автоматического прерывателя.

Поджимают под одну из гаек сердечника фибровую пластинку якоря, располагают якорь над полюсами. Включают на короткое время ток и наблюдают притяжение якоря к полюсам электромагнита.

Под другую гайку поджимают пластинку контактной пружины, располагая её поперёк якоря (рис. 92). Регулируют пружину так, чтобы она касалась контакта на якоре с небольшим нажимом. Затем переносят провод, идущий от источника тока, с клеммы катушки на клемму

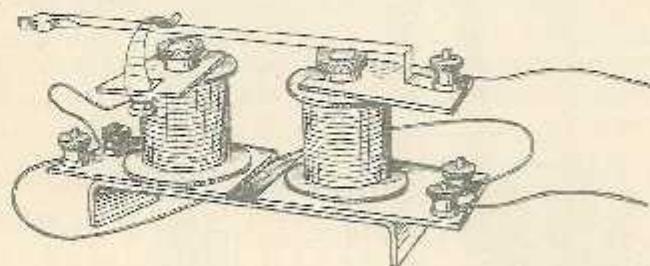


Рис. 92. Электромагнитный прерыватель в собранном виде

якоря, а освободившуюся клемму катушки соединяют отдельным проводником с клеммой контактной пружины. Включают ток и наблюдают работу прерывателя¹.

В отчёте об этой работе учащиеся должны начертить схему включения в цепь электромагнита с автоматическим прерывателем.

21. Изучение отражения света от плоского зеркала

Оборудование. 1) Линейка измерительная (1). 2) Транспортёр (4). 3) Батарея аккумуляторов (31). 4) Лампочка на подставке с колпачком (32). 5) Ключ (35). 6) Провода соединительные (большой набор) (40). 7) Плоское зеркало (50). 8) Экран вертикальный белый со щелью (52). 9) Бумага белая (73) (рис. 93).

Составляют электрическую цепь из аккумуляторной батареи, лампочки и ключа. Надевают на лампочку колпачок так, чтобы его узкое окноказалось против лампочки. Перед полученным таким образом осветителем устанавливается экран со щелью, а за ним кладут листок чистой бумаги. Затем, включив ток, находят опытным путём такое положение осветителя по отношению к экрану,

¹ Сборка автоматического прерывателя может быть выделена в самостоятельную работу.

при котором полоска света на бумаге была бы отчётывой и чркой. Если поперёк этой полоски поставить на ребро плоское зеркало, то при правильном расположении приборов отражённый от зеркала пучок света даст на бумаге след в виде такой же светлой полоски.

Эта установка позволяет учащимся проследить за перемещением отражённого луча: при повороте плоского зеркала легко заметить углы падения и отражения и после их измерения убедиться в равенстве этих углов.

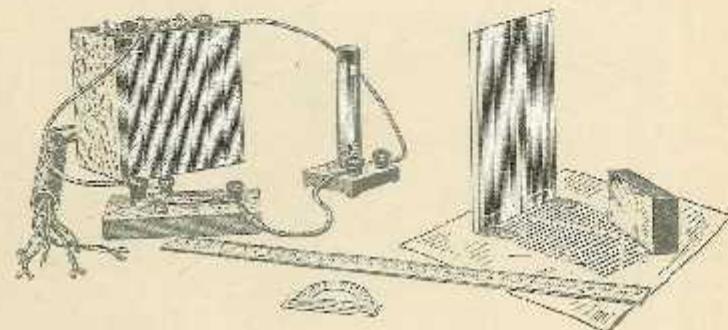


Рис. 93. Оборудование к работе № 21

Работа выполняется в такой последовательности:

1) Устанавливают перед экраном зеркало так, чтобы получить от него на бумаге яркий отражённый пучок лучей. Хорошо отчётым карандашом пропечатают из бумаге линию вдоль зеркала и намечают основание перпендикуляра в точке падения пучка лучей. Далее намечают начало падающего пучка (у самой щели) и конец отражённого (у края листа).

2) Выключают ток, снимают с листа бумаги зеркало. При помощи транспортира и линейки вычерчивают перпендикуляр к линии зеркала в точке падения лучей, затем падающий и отражённый лучи. Измеряют полученные углы падения и отражения и записывают их величины на чертеже.

3) Повторяют опыт несколько раз, устанавливая зеркало под разными углами к падающему лучу. По полученным чертежам делают вывод о том, что угол падения луча равен углу его отражения.

Следует иметь в виду, что для проведения работы затемнение классного помещения не обязательно; только при яркой солнечной погоде бывает полезно окна частично затенять.

22. Изучение преломления света в плоскопараллельной пластинке и призме

Оборудование. 1) Линейка измерительная (1).
2) Транспортир (4). 3) Батарея аккумуляторов (31).
4) Лампочка на подставке с колпачком (32). 5) Ключ (35).
6) Провода соединительные (большой набор) (40).
7) Пластинка стеклянная (51). 8) Экран вертикальный белый (52). 9) Бумага белая (73).

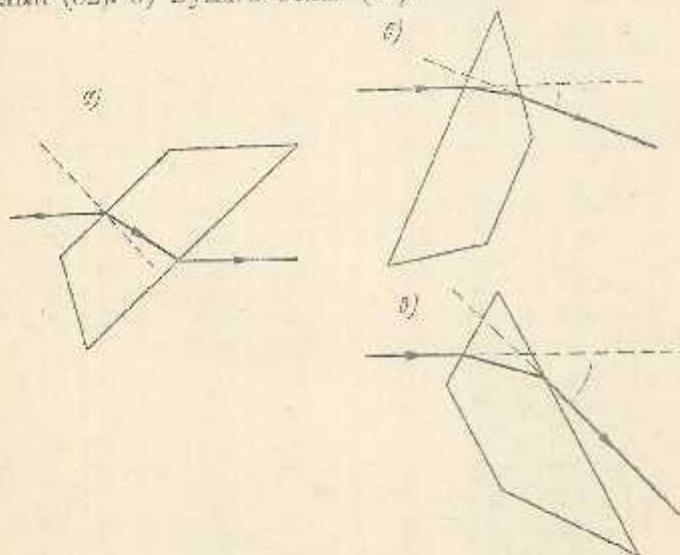


Рис. 94. Ход лучей в стеклянной пластинке

Установка для проведения этой работы отличается от предыдущей только тем, что вместо плоского зеркала на бумагу кладётся стеклянная пластинка со срезанными углами.

В процессе работы учащиеся должны проследить:
1) изменение направления луча при переходе через границу раздела двух сред; 2) смещение луча при прохождении через две параллельные грани; 3) отклонение луча различными по величине двугранными углами призмы.

Всё это, особенно последний опыт, показывающий, что при большем преломляющем угле луч отклоняется сильнее, поможет учащимся в дальнейшем понять действие линз.

Во всех трёх опытах прорисывают карандашом линии преломляющих граней, направления лучей и перенесут на бумагу в точках падения и преломления лучей. Измерив углы падения и преломления транспортиром, записывают их величины на чертежах и делают следующие выводы:

1) угол преломления луча в стекле меньше угла падения; 2) в плоскопараллельной пластинке луч смещается, не изменяя своего направления; 3) луч в призме отклоняется к её основанию, причём при большем преломляющем угле луч отклоняется сильнее.

На рис. 94 показано удобное расположение стеклянной пластиинки по отношению к пучку лучей, выходящему из щели экрана; чертёж а) относится к первому и второму опыту, а чертёжи б) и в) — к третьему.

23. Получение действительных изображений при помощи линзы

Оборудование. 1) Лента измерительная (3). 2) Батарея аккумуляторов (31). 3) Лампочка на подставке с колпачком (32). 4) Ключ (35). 5) Провода

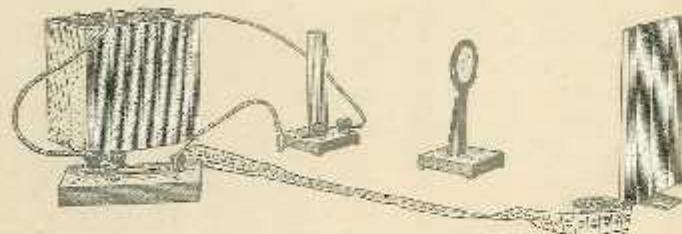


Рис. 95. Оборудование к работе № 23

соединительные (большой набор) (40). 6) Экран вертикальный белый (52). 7) Линза двояковыпуклая (53) (рис. 95).

Работа начинается с определения главного фокусного расстояния линзы простейшим способом. Для этого получают на экране при помощи линзы действительное изображение какого-либо удалённого предмета (общая для

всего класса лампа, которую надо установить в дальнем углу комнаты) и измеряют расстояние между линзой и экраном. Это расстояние можно считать приблизительно равным главному фокусному расстоянию линзы.

Затем составляют электрическую цепь из аккумулятора, лампочки и ключа. Надевают на лампочку колпачок буквой вверх и устанавливают её на двойном фокусном расстоянии от линзы, расположенной приблизительно на середине стола. По другую сторону линзы ставят экран. Включают ток и, передвигая экран, находят такое положение, при котором на экране получается резкое изображение буквы. Измеряют величину изображения и предмета, затем расстояние от изображения до линзы и делают вывод: изображение предмета, установленного на двойном фокусном расстоянии от собирающей линзы, оказывается обратным, разным и находится также на двойном фокусном расстоянии по другую сторону линзы.

После этого придвигают немного лампочку к линзе и обнаруживают, что изображение становится размытым; отодвигают экран и вновь получают на нём резкое изображение. Делают второй вывод: когда предмет приближается к главному фокусу линзы, изображение предмета увеличивается и удаляется от линзы.

Наконец, отодвигают лампочку от линзы и, вновь получив резкое изображение на экране, замечают, что при удалении предмета его изображение уменьшается и приближается к главному фокусу. Это будет третьим выводом.

Во втором и третьем опыта нет необходимости измерять величину полученных изображений и расстояния от изображений до линзы. На глаз хорошо видно, что изображение увеличивается или уменьшается, удаляется или приближается к главному фокусу.

РАБОТЫ ДЛЯ VIII—Х КЛАССОВ

Элементарный анализ погрешностей

Критерием для оценки точности числовых результатов, полученных при проведении лабораторных работ в младших классах, могло служить до некоторой степени количество значащих цифр. В VIII—Х классах в этой оценке желательна большая определённость, которую даёт знание величины максимальной относительной и абсолютной погрешностей, допущенных при измерениях.

Применение элементарного анализа погрешностей даёт возможность учащимся по числовым результатам оценивать качество своей работы и не прибегать для этого к сравнению полученных результатов с табличными данными. Такое сравнение во многих случаях является принципиально неправильным. Например, при определении плотности того или иного материала нельзя ожидать совпадения полученного из опыта числового результата с числом, указанным в справочных таблицах, так как, во-первых, различны условия измерений и, во-вторых, нельзя быть уверенным в том, что испытуемый материал по своему составу и структуре вполне одинаков с материалом, приведенным в таблице.

На первых порах надо научить учащихся определению величины максимальной абсолютной погрешности путём вычисления границ приближённого числового результата. Овладев этим простым и понятным способом, учащиеся легко смогут освоить и более сложный теоретически, но зато более удобный способ, требующий применения приближённых формул.

Определение максимальной абсолютной погрешности измерения путём вычисления границ приближённого числа

Разберём этот способ на числовых результатах, полученных в работе № 29, где требуется определить коэффициент трения дерена по дереву.

Пусть при помощи динамометра нашли, что сила, пружинающая брускок с грузами к линейке трибометра,

$$P = 310 \text{ Г} \pm 5 \text{ Г.}$$

а сила трения

$$F = 72 \text{ Г} \pm 5 \text{ Г.}$$

Найдём границы, в которых находится истинное значение коэффициента трения:

$$f_{\max} = \frac{77}{330} \approx 0,230; f_{\min} = \frac{67}{345} \approx 0,200.$$

Если в качестве приближённого значения коэффициента трения принять среднее между найденными границами

$$f = \frac{0,230 + 0,200}{2} = 0,215,$$

то оно будет отличаться от каждого из предельных значений на

$$\Delta f = \frac{0,230 - 0,200}{2} = \pm 0,015.$$

Это и будет максимальная абсолютная погрешность.

По правилам округления (стр. 74—76) окончательный результат надо сохранять только одну сомнительную цифру. В найденном же приближённом числе коэффициента трения $f = 0,215$ две последние цифры сомнительны, поэтому округлим полученное число, сохранив в нём две значащие цифры: $f \approx 0,22$.

Увеличив коэффициент трения при округлении, мы тем самым удалили его от нижней границы на 0,005; на столько же надо увеличить и Δf .

Следовательно, окончательный результат будет:

$$f = 0,22 \pm 0,02.$$

Описанный способ нахождения максимальной абсолютной погрешности измерения сводится к следующим пяти правилам:

1) Находят максимальное и минимальное значения искомой величины и округляют их как промежуточные результаты.

2) Полусумму найденных величин, определяющих границы, в которых находится искомая величина, принимают за приближённое значение искомой величины.

3) Вычисляют полуразности найденных граничных значений и находят, таким образом, величину максимальной абсолютной погрешности.

4) По величине абсолютной погрешности определяют, какие цифры найденного приближённого числа вполне достоверны и какие сомнительны; округляют полученный результат, сохранив в нём только одну сомнительную цифру.

5) Увеличивают абсолютную величину погрешности на столько, на сколько пришлось при округлении увеличить или уменьшить полученное приближённое число.

Определение максимальной абсолютной и относительной погрешностей при помощи приближённых формул

Пусть для определения величины A надо перемножить два приближённых числа: $a \pm \Delta a$ и $b \pm \Delta b$.

Тогда произведение $A = ab$ также будет приближённым. Найдём его максимальную величину:

$$A + \Delta A = (a + \Delta a) \cdot (b + \Delta b), \text{ или} \\ A + \Delta A = ab + b \cdot \Delta a + a \cdot \Delta b + \Delta a \cdot \Delta b.$$

Умножив обе части равенства на $A = a \cdot b$, получим максимальную абсолютную погрешность взятого произведения:

$$\Delta A = b \cdot \Delta a + a \cdot \Delta b + \Delta a \cdot \Delta b.$$

Разделив её на $A = ab$, найдем максимальную относительную погрешность

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta a \cdot \Delta b}{ab}.$$

Последнее слагаемое по сравнению с другими оказывается здесь настолько малым, что им можно пренебречь. Тогда

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}.$$

Отсюда следует, что относительная погрешность произведения равна сумме относительных погрешностей сомножителей.

Подобным же образом можно вывести приближённые формулы для вычисления максимальных относительных погрешностей в наиболее употребительных случаях:

$$A = a + b; \quad \frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta a + \Delta b}{a + b}$$

$$A = a - b; \quad \frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta a + \Delta b}{a - b}$$

$$A = ab; \quad \frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}$$

$$A = \frac{a}{b}; \quad \frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}$$

$$A = a^n; \quad \frac{\Delta A}{A} = n \frac{\Delta a}{a}$$

$$A = \sqrt[n]{a}; \quad \frac{\Delta A}{A} = \frac{1}{n} \cdot \frac{\Delta a}{a}$$

Помещённые здесь описания лабораторных работ предназначены для учителя, поэтому во всех работах, где это имеет смысл, анализ погрешностей приведён по указанным выше формулам. Для учащихся следует рекомендовать определение максимальной абсолютной погрешности путём вычисления границ приближённого числа¹.

¹ Более подробно с анализом погрешностей можно ознакомиться по книгам: В. М. Брадис, Средства и способы элементарных вычислений, изд. АЛН РСФСР, 1951, и М. Л. Фрейх, Элементарные приближённые вычисления, ГГТИ, М.—Л., 1932.

24. Изучение закона равноускоренного движения по наклонной плоскости

Оборудование. 1) Лента измерительная (3), 2) Часы с громким отсчётом промежутков времени (18), 3) Штатив с муфтами и лапкой (16), 4) Жолоб (19), 5) Шарик (20), 6) Цилиндр металлический (29) (рис. 96).

Устанавливают жолоб в наклонном положении при помощи штатива. Для торможения скаташающегося шарика берут металлический цилиндр (тело для калориметрических работ), который кладут на жолоб в том месте, где надо остановить шарик. Время отсчитывают по общему для всего класса метроному или иному счётчику времени, настроенному на 120 ударов в минуту и расположенному из демонстрационного стола. Измерения путей, проходимых шариком, производят лентой с сантиметровыми делениями.

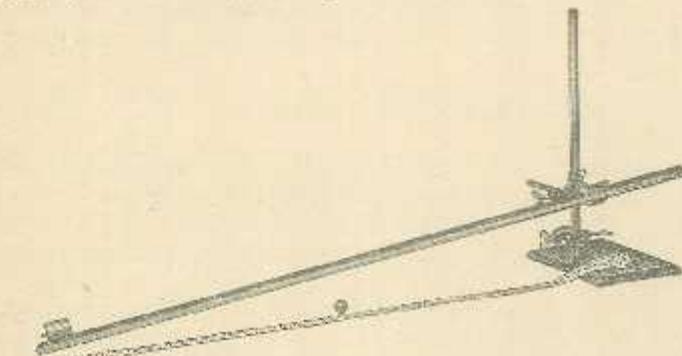


Рис. 96. Оборудование к работе № 24

Сначала из опыта определяют ускорение движения шарика по наклонной плоскости. У нижнего конца жолоба кладут цилиндр и, пустив шарик с верхнего конца жолоба, считают удары метронома. Добиваются такого положения (наклона) жолоба, чтобы четвёртый удар метронома совпадал с ударом шарика о цилиндр¹. В таком случае время движения шарика будет 2 секунды. Получив совпадение ударов, измеряют путь, пройденный шариком за 2 секунды, и вычисляют ускорение движения.

¹ Удар метронома в момент пуска шарика снять кулевым.

¹Числа могут получиться, например, такие: $S = 132$ см; $t = 2$ сек; тогда ускорение, согласно уравнению

$$a = \frac{2S}{t^2},$$

будет:

$$a = \frac{2 \cdot 132}{4} = 66 \frac{\text{см}}{\text{сек}^2}.$$

Далее проверяют зоны путей. Для этого, зная ускорение, вычисляют расстояния, которые шарик должен пройти за полсекунды, за одну секунду, за полторы секунды:

$$S_1 = \frac{66 \cdot 1}{2 \cdot 4} \approx 8,2 \text{ см}; S_2 = \frac{66 \cdot 1}{2} \approx 33 \text{ см}; S_3 = \frac{66 \cdot 3}{2 \cdot 4} \approx 74 \text{ см}.$$

Полученные вычислением результаты проверяют на опыте. С этой целью кладут цилиндр на найденных расстояниях от начала желоба и наблюдают совпадение соответствующих ударов мегронома с ударом шарика о цилиндр.

Сравнивая длины найденных участков, устанавливают, что пути, проходимые шариком за одну, две, три единицы времени, действительно пропорциональны квадратам времени, а пути, проходимые шариком в последовательные, равные промежутки времени (от одного до следующего удара), пропорциональны ряду нечетных чисел.

25. Изучение движения тела по параболе

Оборудование: 1) Линейка измерительная (1). 2) Штатив с муфтами и лапкой (16). 3) Шарик (20). 4) Лоток и конус для пуска и ловли шарика (21). 5) Доска фанерная (22). 6) Крючок проволочный с кольцом (69). 7) Бумага (73). 8) Кнопки (74). 9) Фильтровальная бумага (77) (рис. 97).

Устанавливают фанерную доску (экран) при помощи штатива в наклонном положении под углом около 30° к плоскости крышки стола. Для этого верхний левый угол экрана зажимают в лапку штатива, прихватив одновременно и выступ лотка, причем загнутый конец лотка должен быть направлен горизонтально. Располагают всю установку так, чтобы нижний край экрана совпадал с краем стола. Экран покрывают листом чистой бумаги, который прикалывают кнопками.

Собранныю таким образом установку нужно иметь в качестве образца на демонстрационном столе в начале занятия; она поможет учащимся быстрее собрать свои установки.

Работу проводят в такой последовательности. Ученик, сидящий слева, пускает шарик с некоторой высоты по склону. Сидящий справа ловит скатившийся по экрану шарик в картонный колпачок. В результате короткой

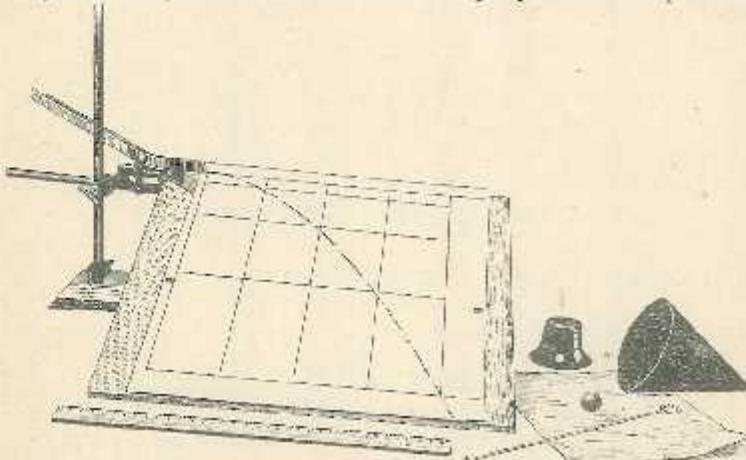


Рис. 97. Оборудование к работе № 25

тренировки подбирается такая высота, при которой шарик пробегает по экрану через нижний левый угол листа бумаги и попадает в подставленный колпачок.

После этого шарик опускается в чернильницу и, смоченный чернилами, пускается по лотку с подобранный высоты¹.

Теперь он прочерчивает на бумаге траекторию своего движения и попадает в колпачок. Сейчас же после опыта один из работающих вытирает фильтровальной бумагой проволочное кольцо, другой — шарик².

¹ Из чернильницы шарик вынимается с помощью проволочного крючка, у которого для этой цели на противоположном конце имеется кольцо по размеру шарика.

² При наличии слегка присохшей бумаги можно избежать применения чернил. В этом случае шарик смачивают водой. Скатившись по бумаге, он оставляет тёмный след, который прочерчивают карандашом, пока он ещё не просох.

Полученная кривая, которая является результатом сложения двух движений — равномерного по горизонтали и равноускоренного по вертикали, — подвергается исследованию. С этой целью из начальной точки траектории (конец лотка) при помощи линейки прочерчивают горизонтальную прямую и прямую, перпендикулярную ей. Параллельно этим двум прямым проводятся еще две прямые линии из нижней точки траектории. Один из полученных таким образом горизонтальных отрезков делят на несколько равных частей, например на четыре части (движение равномерное); тогда перпендикулярный ему отрезок делят на 16 равных частей и отмечают отрезки в 1, 3, 5 и 7 таких частей (движение равноускоренное). Из точек деления восстанавливают перпендикуляры и убеждаются в совпадении точек пересечения перпендикуляров с записанной пишком траекторией.

26. Сложение двух сил, действующих под углом друг к другу

Оборудование. 1) Линейка измерительная (1). 2) Угольник (2). 3) Динамометр (8). 4) Набор грузов (9). 5) Штатив с муфтами и лапкой (16). 6) Доска фанерная (22). 7) Бумага (73). 8) Кнопки (74). 9) Булавки с крупной головкой — набор из 4 шт. (75). 10) Нить с пятью петлями (76) (рис. 98).

Результатом работы должен быть вывод правила параллелограмма для нахождения равнодействующей двух сил, направленных под углом друг к другу. Приборы и учащиеся собирают по образцу установки, которую в начале урока преподаватель показывает на демонстрационном столе. На этой установке объясняется предварительно весь ход работы, который заключается в следующем.

1) На нижнем краю листа бумаги отмечают карандашом: направление нити с грузами, положение узелка, который будет рассматриваться как точка приложения сил и направление нитей, надетых на булавки. По этим отметкам потом можно будет начертить векторы сил.

2) При помощи динамометра измеряют силы натяжения двух нитей, направленных под углом. Для этого одну из свободно висящих петель надевают на крючок динамометра и оттягивают динамометром, пока петля на булавке не ослабнет. После этого вынимают булавку и,

прижимая динамометр к экрану, располагают его так, чтобы узелок остался против своей отмечки, а направление штифта (оно отмечено на бумаге) не изменилось (рис. 99). При этом надо следить, чтобы в динамометре не было касания подвижных частей с основанием. Затем записывают показание динамометра и, воткнув булавку

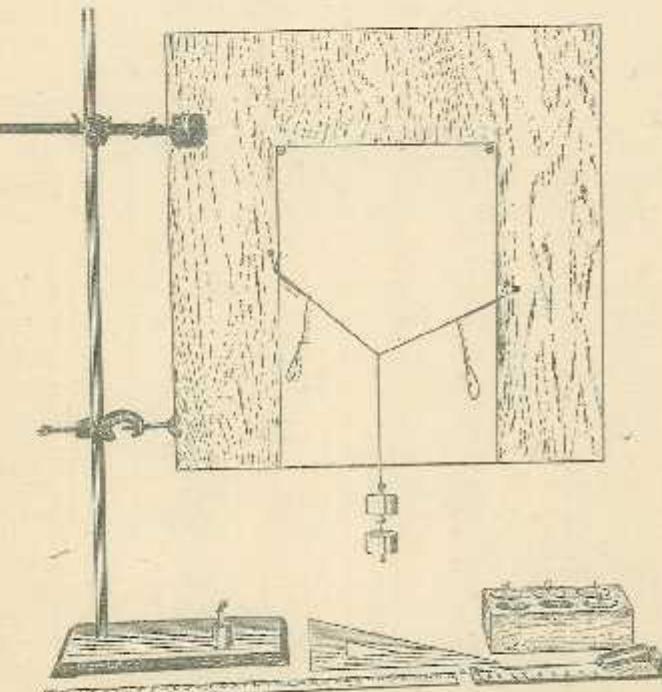


Рис. 98. Оборудование к работе № 26

в прежний прокол, проделывают те же операции со второй нитью.

3) Разбирают установку: снимают нить с грузами, вынимают булавки, снимают доску с листом бумаги со штатива и кладут на стол. При помощи линейки проводят карандашом прямые линии из точки приложения сил по направлениям трёх нитей. По этим прямым в произвольном масштабе строят векторы соответствующим показаниям динамометра и весу грузов.

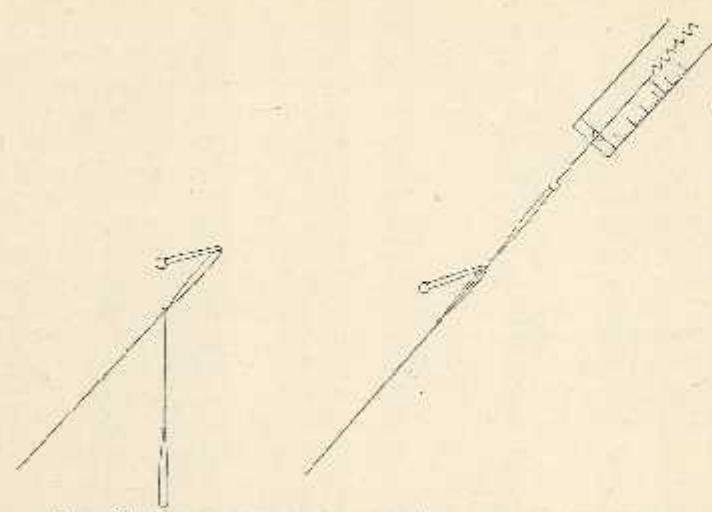


Рис. 99. Измерение составляющей силы динамометром

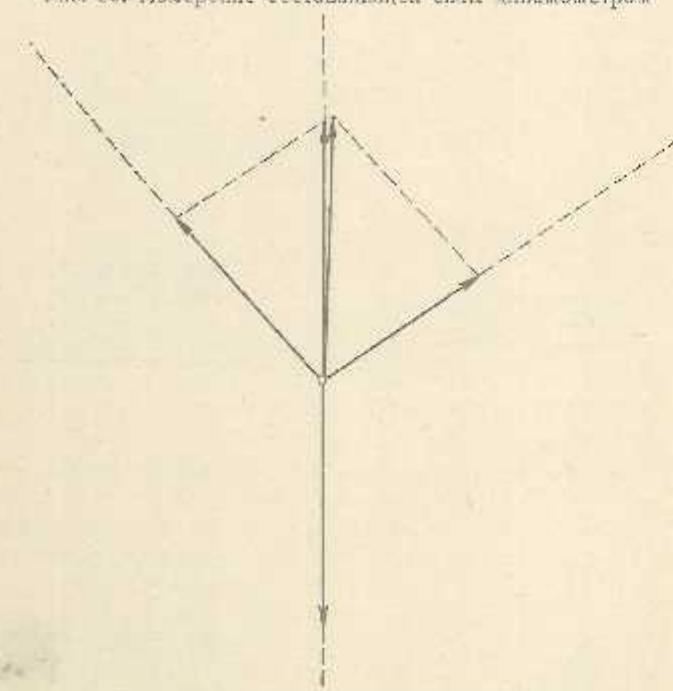


Рис. 100. Построение параллелограмма сил

Результатом действия сил натяжения двух нитей, направленных под углом, является уравновешивание силы тяжести грузов. Очевидно, такой же результат (равновесие) можно получить при действии одной силы, равной весу грузов и направленной вертикально вверх. Эта сила и будет искомой равнодействующей; ее износит на перетёх в виде вектора в выбранном ранее масштабе. Затем, при помощи линейки и угольника, проводят из концов векторов составляющих сил призмы параллельные этим векторам. В получившемся таким образом параллелограмме проводят диагональ (рис. 100). При тщательном выполнении работы вектор равнодействующей силы и диагональ будут достаточно близки по величине и направлению для того, чтобы считать их совпадающими и на этом основании сделать вывод правила параллелограмма сил.

27. Сложение параллельных сил

Оборудование. 1) Линейка измерительная (1). 2) Динамометр (2 шт.) (8). 3) Набор грузов (9). 4) Штатив с муфтами и лапкой (2 шт.) (16). 5) Рычаг (18) (рис. 101).

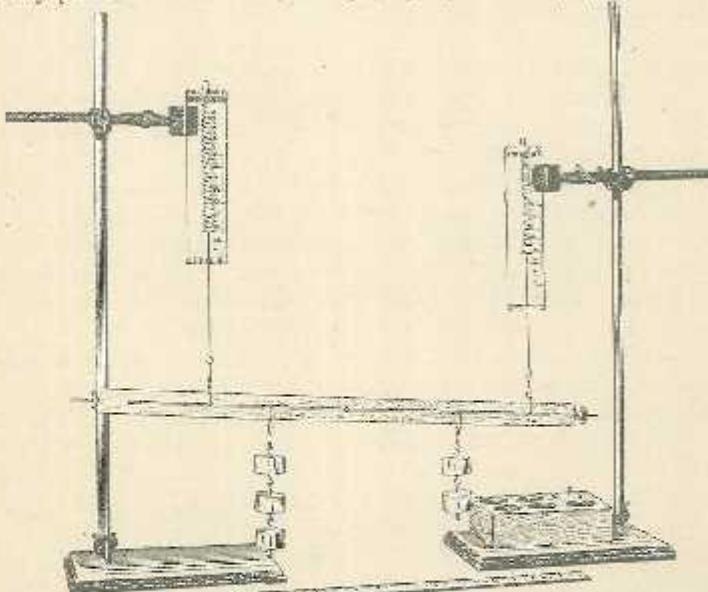


Рис. 101. Оборудование к работе № 27

Для выполнения работы нужны два динамометра и два штатива. В списке оборудования они имеются в количестве 15 шт., поэтому для проведения этой работы с целым классом приходится объединять каждые два звена учащихся вместе.

Цель работы состоит в том, чтобы на основании проведённого эксперимента сделать вывод правила сложения параллельных сил, направленных в одну сторону.

Сборка установки и выполнение опыта сводятся к следующему.

В лапках двух штативов зажимают в вертикальном положении два динамометра и к их крючкам при помощи серёжек подвешивают горизонтально или слегка наклонно рычаг (рис. 101). В любых двух местах к рычагу подвешивают на серёжках грузы и замечают показания динамометров. Деформация пружин динамометров рассматривается здесь как результат действия двух направленных вниз параллельных сил, равнодействующую которых требуется найти. Для нахождения равнодействующей заменяют две силы одной, которая производила бы такое же действие. Иначе говоря, снимают грузы и затем подвешивают их снова в таком одном месте, чтобы деформации пружин оказались прежними.

Необходимо помнить учащимся, что динамометры в этой работе не служат для измерения сил, они являются только индикаторами, по которым судят о действии сил. Поэтому при замене двух сил одной важно добиться лишь прежнего положения указателей динамометров.

Очевидно, теперь вес подвешенных в новом месте грузов можно считать равнодействующей силой, что позволит сделать вполне определенный вывод о её величине, направлении и точке приложения.

Проводить отдельно лабораторную работу для вывода правила сложения параллельных сил, направленных в противоположные стороны, нет необходимости, так как технически она мало отличалась бы от описанной выше работы.

28. Проверка правила моментов сил

Оборудование. 1) Угольник (2). 2) Динамометр (8). 3) Набор грузов (9). 4) Штатив с муфтами и лапкой (16). 5) Рычаг (18). 6) Диск с осью (24). 7) Бу-

лавки с крупной головкой (75). 8) Нить с двумя петлями (3. шт.) (76) (рис. 102).

Основной деталью установки для проведения работы является фланцевый диск со втулкой. Он насаживается на ось, которая зажимается в муфте штатива. Над диском укрепляется при помощи лапки рычаг с серёжками.

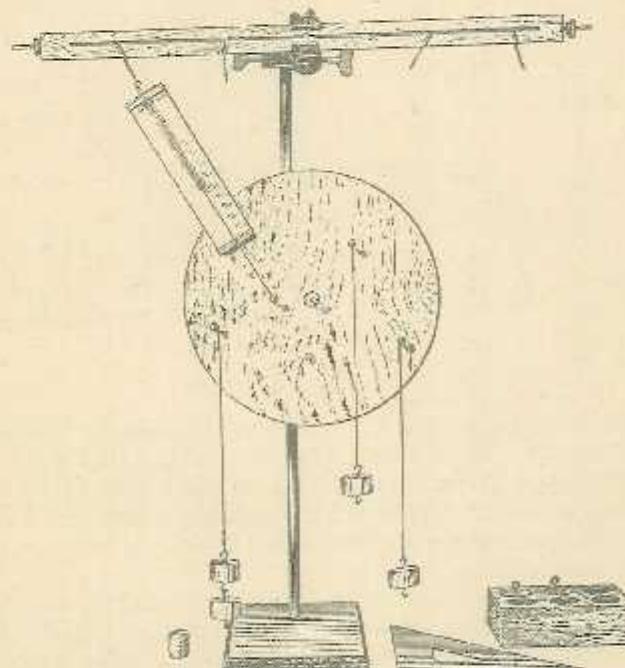


Рис. 102. Оборудование к работе № 28

В произвольно выбранных местах диска вкручивают четыре булавки и на трёх из них подвешивают с помощью нитей грузы. Четвёртая булавка служит для динамометра, который верхним своим концом зацепляется за серёжку рычага. Тогда диск представляет собой тело, имеющее ось вращения и находящееся в равновесии под действием четырёх сил. Один из вариантов см. на рис. 102.

После сборки установки учащиеся измеряют угольником плечи сил (линия перпендикуляра, опущенного из точки опоры на прямую, по которой действует сила).

Затем, зная величины сил, вычисляют момент сил. Результаты записывают в таблицу, как показано ниже, где приведён один из возможных вариантов.

Таблица результатов измерений

Сила	Плечо силы	Момент силы
По часовой стрелке	100 Г	37 мм
	200 Г	99 мм
	190 Г	55 мм
Сумма . . .		33 950 ≈ 34 000
Против часовой стрелки	300 Г	115 мм
		34 500 ≈ 34 000

На основании правил действий с приближёнными числами в двух полученных результатах должны быть после округления сохранены две значащие цифры. При этом первая является вполне надёжной, а вторая сомнительна, поэтому расхождение во вторых знаках вполне допустимо.

Полученные результаты подтверждают правило: если тело находится в равновесии, то сумма моментов сил, врачающих тело по часовой стрелке, равна сумме моментов сил, врачающих его против часовой стрелки.

29. Определение коэффициента трения

Оборудование. 1) Угольники (2). 2) Лента измерительная (3). 3) Динамометр (8). 4) Набор грузов (9). 5) Штатив с муфтами и лапкой (16). 6) Трибометр (17) (рис. 79).

Задача сводится к определению коэффициента трения дерева по дереву двумя способами, описанными ниже.

1) Кладут деревянный брускок на горизонтально расположенную линейку и, нагрузив его сначала одним, потом двумя и тремя грузами, тянут динамометром, по воз-

можности равномерно, вдоль линейки. Таким образом измеряют силу тяги (равную силе трения). Затем, взвесив брускок и грузы на динамометре (силы нормального давления), находят коэффициент трения f , т. е. отношение силы трения F к силе нормального давления P .

Ниже приведены примерные результаты работы.

Таблица результатов измерения

Вес тела	Сила трения	$f = \frac{F}{P}$
140 Г	30 Г	$\frac{30}{140} \approx 0,21$
240 Г	55 Г	$\frac{55}{240} \approx 0,23$
340 Г	72 Г	$\frac{72}{340} \approx 0,21$

Здесь вес тела определяется как сумма весов грузов и бруска, причём взвешивать динамометром надо бруском вместе с грузами. Таким образом, погрешность при определении веса тела можно принять равной 5 Г. Такой же величине может достигнуть погрешность при измерении силы тяги. Отсюда максимальная относительная погрешность при определении коэффициента трения, которая выражается уравнением

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta F}{F} + \frac{\Delta P}{P},$$

будет равна

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{5}{30} + \frac{5}{140} = 0,17 + 0,035 \approx 0,2,$$

а абсолютная погрешность

$$\Delta f = 0,21 \cdot 0,2 \approx 0,04.$$

Шкала динамометра разделена по 10 Г, но между двумя соседними делениями достаточное расстояние, что позволяет свободно склонять потоньшат делений, т. е. 5 Г.

Следовательно, величина полученного коэффициента трения в первом опыте, указанном в таблице результатов измерений, может быть записана следующим образом: 0.21 ± 0.04 .

2) Второй способ определения коэффициента трения не требует испытательного измерения сил. В этом случае сначала за линейку трибометра кладут бруск с грузами, а затем постепенно приподнимают один из её концов до тех пор, пока при небольшом толчке бруск начнёт более или менее равномерно скользить вниз. Тогда движущая сила F_1 , являющаяся составляющей силы тяжести, будет по величине равна силе трения F (рис. 103).

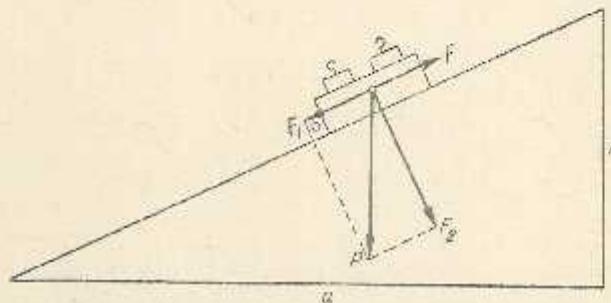


Рис. 103. Разложение сил на наклонной плоскости

Коэффициент же трения будет равен отношению двух составляющих силы тяжести: движущей силы F_1 и силы нормального давления F_2 ,

$$f = \frac{F_1}{F_2}, \text{ но } \frac{F_1}{F_2} = \frac{h}{a} \text{ (рис. 103),}$$

следовательно,

$$f = \frac{h}{a}.$$

Отсюда видно, что нет надобности в измерении сил: достаточно измерить высоту и основание наклонной плоскости и вычислить их отношение, которое является тангенсом угла наклона линейки и в то же время выражает собою коэффициент трения.

Основание наклонной плоскости измеряют сантиметровой лентой с точностью до 0,5 см, а высоту — уголь-

ником с точностью до 1 мм. В нашем примере $h = 11$ см, $a = 49$ см, тогда

$$f = \frac{11}{49} \approx 0.224.$$

Последний способ даёт лучший результат, что видно из расчёта погрешностей:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta a}{a}; \quad \frac{\Delta f}{f} = \frac{0,1}{11} + \frac{0,5}{49} \approx 0,02;$$

$$\Delta f = 0,22 \cdot 0,02 \approx 0,004,$$

следовательно,

$$f = 0,224 \pm 0,004.$$

Данная работа, простая по эксперименту, может служить удобным поводом для ознакомления учащихся с элементарным анализом погрешностей измерений, которые они должны будут применять во всех последующих работах, кроме работ качественного характера.

30. Определение коэффициента полезного действия полиспаста¹

Оборудование. 1) Лента измерительная (3). 2) Динамометр (8). 3) Набор грузов (9). 4) Штатив с муфтами и лапкой (16). 5) Полиспаст (23). 6) Нить длиною 2 м с двумя истями (76) (рис. 104).

На краю стола устанавливают штатив с лапкой, закреплённой у верхнего конца. В лапке вжимают обойму полиспаста. К нижнему крючку этой обоймы прикрепляют конец нити и продевают её последовательно через все шесть блоков полиспаста; последним блоком, через который проходит нить, должен быть блок верхней обоймы.

К крючку нижней обоймы подвешивают все надобные грузы, а к концу нити приставляют динамометр. При помощи динамометра измеряют силу тяги, приложенную к нити полиспаста при равномерном движении вниз, а с помощью ленты — высоту поднятия грузов и расстояние, пройденное концем нити.

¹ Эта работа доступна для учащихся VI класса и может быть перенесена в список работ для семилетней школы.

Полезной работой считают работу поднятия грузов, а к бесполезной относят работу по преодолению трения и работу поднятия нижней обоймы с блоками.

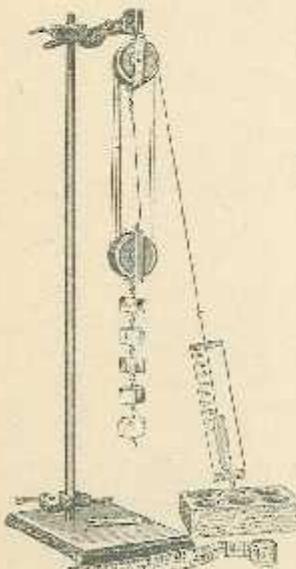


Рис. 104. Оборудование к работе № 30

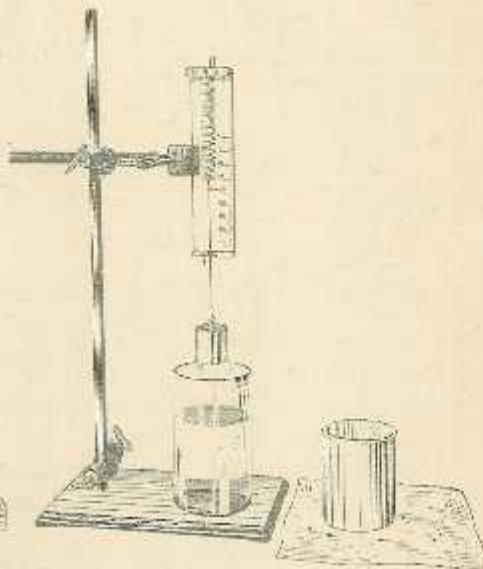


Рис. 105. Оборудование к работе № 31

Примерные результаты опыта

Вес поднятых грузов	600 Г
Высота поднятия грузов	20 см
Сила тяги	125 Г
Расстояние, пройденное канцом инти	20 см

Отсюда полезная работа $A_1 = 600 \cdot 20 = 12000 \text{ Г} \cdot \text{см}$, а произведенная работа $A_s = 125 \cdot 120 = 15000 \text{ Г} \cdot \text{см}$. Следовательно, коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{A_1}{A_s} = \frac{12000}{15000} = 0.8,$$

т. е. 80%.

31. Определение плотности твёрдых тел и жидкостей гидростатическим взвешиванием

Оборудование. 1) Динамометр (8). 2) Штатив с муфтами и лапкой (16). 3) Внутренний стакан от калориметра с керосином (28, 79). 4) Цилиндр металлический с крючком (29). 5) Стакан батарейный (62). 6) Фильтровальная бумага (77) (рис. 105).

Вместо чувствительных рычажных весов, которые обычно употребляются при гидростатическом извещении, в данной работе применён довольно грубый динамометр на 400 Г с целой делениями по 10 Г. Это уменьшает точность результата, но значительно упрощает эксперимент и позволяет выделить на первый план физическую сущность метода гидростатического извещивания.

Установку собирают, как показано на рисунке, и извещивают металлический цилиндр при помощи динамометра сперва в воздухе, затем при полном погружении его в воду. При извещении отчитывают на глаз десятые доли деления, поэтому можно полагать, что величина ошибки не превышает 1 Г. Результаты измерения будут примерно такими:

Вещество	Вес в воздухе	Вес в воде	Выталкивающая сила воды
Латунь	165 Г ± 1 Г	165 Г ± 1 Г	20 Г ± 2 Г
Алюминий	58 Г ± 1 Г	37 Г ± 1 Г	21 Г ± 2 Г
Железо	167 Г ± 1 Г	145 Г ± 1 Г	22 Г ± 2 Г

Как известно, плотность $D = \frac{P}{gV}$, где P — вес тела в воздухе, измеренный динамометром; V — объём тела, который можно определить, если выталкивающую силу жидкости P_1 разделить на g и на плотность этой жидкости D_1 :

$$V = \frac{P_1}{gD_1}.$$

Тогда плотность испытуемого металла выражается так:

$$D = \frac{P \cdot D_1}{P_1}.$$

Если в данном случае можно считать $D_1 = 1 \frac{\text{см}^3}{\text{г}}$, то измеряемая плотность получится в $\frac{\text{см}^3}{\text{г}}$ и будет численно равна отношению веса тела в воздухе к выталкивающей силе при погружении в воду.

Например, для латуни вычисления дадут

$$D = \frac{185}{30} \approx 9,3 \frac{\text{см}^3}{\text{г}}.$$

Относительная погрешность будет:

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{\Delta P}{P} - \frac{\Delta P_1}{P_1} \quad \text{или} \quad \frac{\Delta D}{D} = \frac{1}{185} + \frac{1}{30} \approx 0,1,$$

т. е. около 10%.

Максимальная абсолютная погрешность:

$$\Delta D = 9,3 \cdot 0,1 \approx 0,9 \frac{\text{см}^3}{\text{г}}.$$

Таким образом, в окончательном результате можно записать:

$$D = 9,3 \frac{\text{см}^3}{\text{г}} \pm 0,9 \frac{\text{см}^3}{\text{г}}.$$

Подобные вычисления для алюминия и железа соответственно дадут:

$$D = 2,7 \frac{\text{см}^3}{\text{г}} \pm 0,3 \frac{\text{см}^3}{\text{г}} \quad \text{и} \quad D = 7,6 \frac{\text{см}^3}{\text{г}} \pm 0,9 \frac{\text{см}^3}{\text{г}}.$$

Учащиеся одного звена определяют плотность только одного из указанных выше металлов, а затем в качестве упражнения определяют плотность какой-либо жидкости, например керосина. Для этого производят еще одно взвешивание тела, погруженного в испытуемую жидкость, и вычисляют её плотность как отношение выталкивающих сил данной жидкости и воды.

По своему характеру эта лабораторная работа очень подходит для постановки её в форме контрольной работы, в которой учащиеся должны показать умение правильно пропустить эксперимент и оценить полученные результаты с точки зрения их точности.

32. Определение плотности жидкости гидрометром

Оборудование. 1) Линейка измерительная (1).
2) Штатив с муфтами и лапкой (16). 3) Гидрометр (25).
4) Кран стеклянный с наконечником (68). 5) Стаканы

химические на 50 см³ или кристаллизаторы 2 шт. (64).
6) Спирт (78). 7) Раствор медного купороса (80) (рис. 106).

Закрепляют в лапке штатива гидрометр и его трубки нижними концами погружают в стаканчики с жидкостями — водой и спиртом. К верхнему патрубку гидрометра присоединяют стеклянный кран с наконечником. Стеклянный наконечник предварительно дезинфицируют погружением в спирт.

Открыв кран, осторожно высасывают через наконечник воздух и, когда столб спирта дойдет почти до изгиба гидрометра, края запирают. Убедившись, что кран не пропускает воздуха и жидкости в трубках не опускаются, измеряют линейкой высоты столбов жидкостей от их уровня в стаканчике до верхнего уровня. Затем чуть-чуть приоткрывают края на короткое время, чтобы уровни немного опустились, и снова производят измерения. Таким образом проводят опыт несколько раз. Высота столбов жидкостей в трубках гидрометра, как известно, обратно пропорциональна их плотностям:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{D_2}{D_1}.$$

Считая плотность воды равной $1 \frac{\text{см}^3}{\text{г}}$, определяют из этой пропорции плотность испытуемой жидкости.

Для упражнения берут вместо спирта раствор медного купороса и таким же способом определяют его

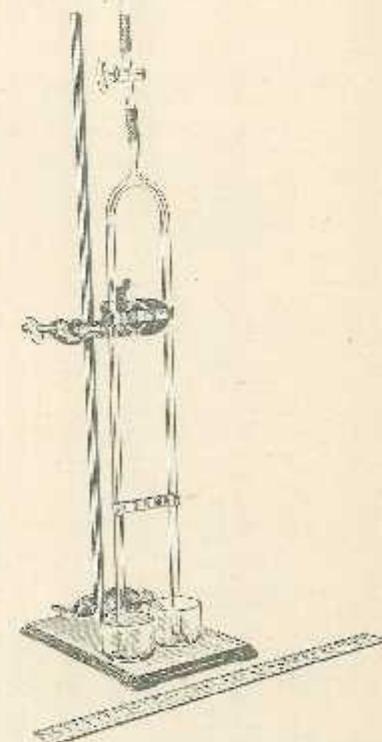


Рис. 106. Оборудование к работе № 32

плотность. Опыт даёт примерно следующие результаты:

Таблица 1

Высота столбов		Плотность спирта
воды	спирта	
299 мм	353 мм	$\frac{299}{353} \approx 0,847 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$
271 мм	330 мм	$\frac{271}{330} \approx 0,847 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$
263 мм	310 мм	$\frac{263}{310} \approx 0,848 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$

Таблица 2

Высота столбов		Плотность раствора меди купороса
воды	меди купороса	
337 мм	317 мм	$\frac{337}{317} \approx 1,125 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$
352 мм	312 мм	$\frac{352}{312} \approx 1,128 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$
340 мм	303 мм	$\frac{340}{303} \approx 1,122 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$

Максимальная погрешность при измерениях высот столбов жидкости линейкой можно принять равной 1 мм; тогда относительная погрешность результата, согласно данным первой строки таблицы 1, будет:

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{1}{299} + \frac{1}{353} \approx 0,006, \text{ т. е. } 0,6\%$$

отсюда абсолютная погрешность

$$\Delta D = 0,847 \cdot 0,006 \approx 0,005 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

следовательно, плотность спирта

$$D = 0,847 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \pm 0,005 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Подобным образом для раствора медного купороса получают

$$D = 1,125 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \pm 0,007 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

33. Проверка формулы центробежной силы

Оборудование. 1) Лента измерительная (3). 2) Весы (6). 3) Разновес (7). 4) Часы с секундной стрелкой (13). 5) Штатив с муфтами и кольцом (16). 6) Шарик (20). 7) Нить с узелком из конца и колышком (76) (рис. 107).

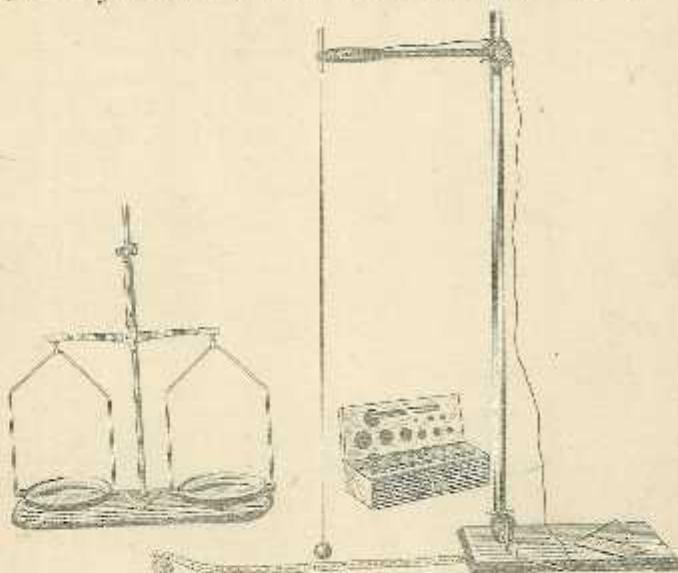


Рис. 107. Оборудование к работе № 33

Величина центробежной силы

$$F = \frac{4\pi^2 K m}{T^2}$$

может быть довольно просто определена из опыта с коническим маятником. Перед опытом подвешивают на нити к кольцу штатива шарик, предварительно взвешенный

на весах. Для этого на нижнем конце нити, которая продевается через отверстие в шарике, завязывают узелок, задерживающий шарик, а верхний конец продевают в отверстие, просверленное в кольце штатива, и заклинивают заостренной сизью. Полученный таким образом маятник (рис. 108) врачают в горизонтальной плоскости, взвинувшись двумя пальцами за нить у точки подвеса. Радиус вращения должен быть несколько меньше расстояния от оси вращения до основания штатива; радиус измеряют лентой.

Чтобы определить период вращения маятника, пользуются общими для всего класса демонстрационными часами с секундной стрелкой большого размера. Во время работы один из учащихся следит за секундной стрелкой, второй — вращает маятник и в такт с его оборотами повторяет: «ноль, ноль, ноль...». Уловив по стрелке часов удобный момент для начала отсчета, первый тоже произносит: «ноль!», после чего второй вслух продолжает счет оборотов. Через

одну или две минуты по сигналу первого из учащихся, который все время следит за часами, счет оборотов прекращают. Зная время и число оборотов, вычисляют период.

Подставляют полученные данные (R , t и T) в приведенную выше формулу и находят величину центробежной силы.

При вращении конического маятника центробежной силой является горизонтальная составляющая F веса шарика P (рис. 108). Следовательно, центробежную силу можно определить другим способом, исходя из пропорции

$$\frac{F}{t} = \frac{R}{h}, \quad \text{или} \quad F = \frac{PR}{h}. \quad (1)$$

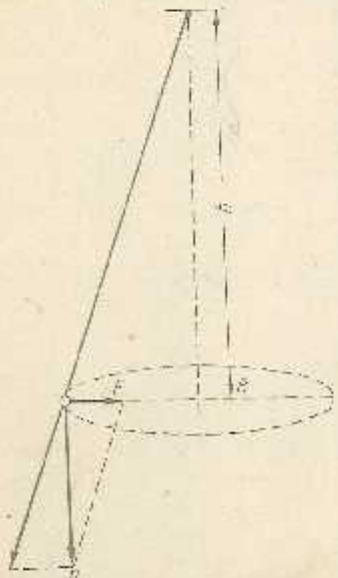


Рис. 108. Равнение силы тяжести маятника, отклоненного от положения равновесия.

Здесь P и R уже известны из предыдущего опыта и чтобы определить F , надо еще измерить h . Для этого оттягивают шарик в предыдущей установке на расстояние, равное радиусу вращения, и измеряют лентой расстояние по вертикали от центра шарика до уровня точки подвеса.

Подставляют известные данные в уравнение (1) и снова находят величину центробежной силы.

Сопоставляют результаты, полученные двумя способами, и убеждаются, что они близки между собой. В этом и заключается цель работы — проверка формулы центробежной силы.

Принимаем конкретные данные одного из опытов:

$$t = 28 \text{ с} \pm 1 \text{ с}, \quad R = 17 \text{ см} \pm 0,5 \text{ см},$$

$$n = 50 \text{ обор., } t = 73 \text{ сек.} \pm 2 \text{ сек.}, \quad h = 52 \text{ см} \pm 0,5 \text{ см.}$$

$$1) F = \frac{4\pi^2 R n}{T^2} = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 17 \cdot 28 \cdot 50}{73^2 \cdot 981} \approx 9,0 \Gamma;$$

$$2) F = \frac{PR}{h} = \frac{28 \cdot 17}{52} \approx 9,1 \Gamma.$$

Проанализируем погрешности для первого и второго способов определения центробежной силы.

$$1) \frac{\Delta F}{F} = \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta T}{T}; \quad \frac{\Delta F}{F} = \frac{0,5}{17} + \frac{1}{28} + \frac{4}{73} \approx 0,12, \text{ или } 12\%;$$

$$\Delta F = 9 \cdot 0,12 = 1,08 \Gamma; \quad F = 9 \Gamma \pm 1 \Gamma.$$

$$2) \frac{\Delta F}{F} = \frac{\Delta P}{P} + \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta h}{h}; \quad \frac{\Delta F}{F} = \frac{1}{28} + \frac{0,5}{17} + \frac{0,5}{52} \approx 0,075, \text{ или } 7,5\%;$$

$$\Delta F = 9,1 \cdot 0,075 \approx 0,7; \quad F \approx 9,1 \Gamma \pm 0,7 \Gamma.$$

Таким образом, максимальное расхождение между двумя результатами, допустимое в этой работе, равно $1 \Gamma - 0,7 \Gamma = 1,7 \Gamma$.

Проведенное исследование погрешностей показывает, что с наибольшей тщательностью следует производить измерение времени. С этой целью полезно отсчитывать по возможности большее число оборотов маятника,

увеличивая тем самым время и уменьшая относительную погрешность при определении периода. Наоборот, добиваться взвешивания шарика с точностью, которую могут дать лабораторные весы, здесь является излишним. Вполне достаточно производить взвешивание с точностью до 1 г.

34. Определение величины земного ускорения

Оборудование. 1) Лента измерительная (3). 2) Часы с секундной стрелкой (13). 3) Штатив с муфтами и кольцом (16). 4) Шарик (20). 5) Нить с узелком и кольшником (76).

Для выполнения работы устанавливают на краю стола штатив с кольцом, зажатым у верхнего конца штатива. Сквозь отверстие шарика пролекают нить и пропускают шарик до узелка. Полученный таким образом маятник подвешивают к кольцу штатива, для чего продевают нить снизу сквозь отверстие, просверленное в кольце, и заклинивают её сверху колышком из заострённой спички. Шарик должен падать на расстоянии 1—2 см от пола.

Для определения периода колебания применяют способ, описанный в предыдущей работе, в которой находился экспериментально период вращения конического маятника. При этом надо следить, чтобы амплитуда колебания маятника была не более 5—8 см.

Заметив время по часам и подсчитав число колебаний маятника за это время, измеряют длину маятника лентой с точностью до 0,5 см.

Примерные результаты опыта могут быть такими:

$$\text{количество колебаний } n = 29,$$

$$\text{время } t = 69 \text{ сек} \pm 2 \text{ сек},$$

$$\text{длина маятника } l = 139 \text{ см} \pm 0,5 \text{ см}.$$

Ускорение находится из формулы:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \quad \text{т. е.}$$

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}, \quad \text{или}$$

$$g = \frac{4\pi^2 l}{t^2}.$$

Подставив числовые данные, получим:

$$g = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 139 \cdot 29^2}{69^2} \approx 970 \frac{\text{см}}{\text{сек}^2}.$$

Найдём наибольшую относительную погрешность результата:

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta l}{l} + \frac{2\Delta t}{t}; \quad \frac{\Delta g}{g} = \frac{0,5}{139} + \frac{4}{69} \approx 0,06, \quad \text{или } 6\%.$$

Наибольшая абсолютная погрешность будет:

$$\Delta g = 970 \cdot 0,06 = 58,2 \frac{\text{см}}{\text{сек}^2}.$$

Таким образом, окончательный результат следует записать так:

$$g = 970 \frac{\text{см}}{\text{сек}^2} \pm 60 \frac{\text{см}}{\text{сек}^2}.$$

Здесь, как и в предыдущей работе, погрешность результата происходит главным образом за счёт измерения времени. Чтобы уменьшить эту погрешность, нужно промежуток времени брать по возможности больший, иначе говоря, увеличить число колебаний.

35. Определение удельной теплоёмкости вещества

Оборудование. 1) Весы (6). 2) Разновес (7). 3) Термометр (10). 4) Калориметр (28). 5) Цилиндр металлический (29). 6) Чайник (60). 7) Крючок (69). 8) Фильтровальная бумага (77) (рис. 109).

Работу выполняют в такой последовательности. Взвешивают внутренний сосуд калориметра, наливают в него воды немного меньше половины и снова взвешивают, чтобы определить массу воды. Собрав калориметр, измеряют начальную температуру воды.

Из общего чайника с кипящей водой достают проволочным крючком металлический цилиндр. Быстро переносят его в калориметр, слегка размешивают термометром воду в калориметре и следят за повышением её температуры. Когда температура достигнет максимальной величины и перестанет повышаться, записывают её величину, вынимают цилиндр и, осушив его фильтровальной бумагой, взвешивают.

Примерные результаты работы:

масса алюминиевого сосуда $m_1 = 44,5 \text{ г} \pm 0,1 \text{ г}$,
масса воды $m_2 = 172,0 \text{ г} - 44,5 \text{ г} = 127,5 \text{ г} \pm 0,2 \text{ г}$,
температура воды начальная $t_1 = 25,5^\circ \pm 0,5^\circ$,
масса цилиндрика (латунь) $m = 191,0 \text{ г} \pm 0,1 \text{ г}$,
температура цилиндрика $t_2 = 100^\circ \pm 0,5^\circ$,
температура общая $\Theta = 33,5^\circ \pm 0,6^\circ$.

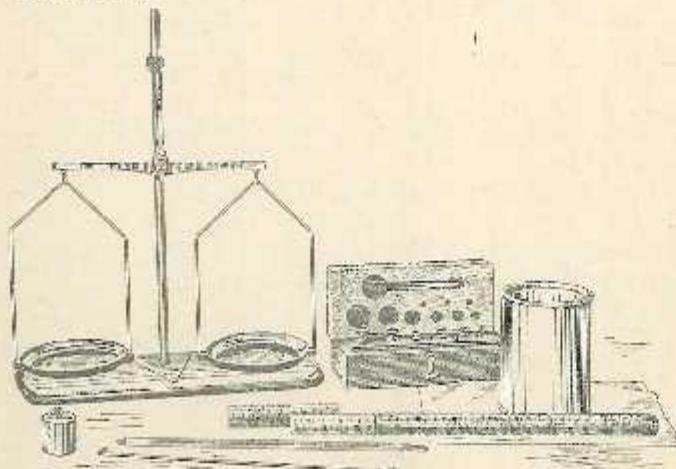


Рис. 109. Оборудование к работе № 35

Из уравнения теплового баланса

$$m_1 c_1 (\Theta - t_1) + m_2 c_2 (\Theta - t_1) = mc(t_2 - \Theta)$$

находит удельную теплоёмкость вещества цилиндрика

$$c = \frac{(\Theta - t_1)(m_1 c_1 + m_2 c_2)}{m(t_2 - \Theta)}$$

$$c = \frac{8 \cdot (145 \cdot 0,21 + 127,5)}{191 \cdot 66,5} \approx 0,086 \frac{\text{кал}}{\text{г} \cdot \text{град}}$$

В полученному результате можно сохранить только одну из значащих цифр, что легко установить из анализа погрешностей.

В самом деле, наибольшую относительную погрешность в этом опыте даёт определение разности температуры при нагревании воды. Поэтому, преиспредая сравни-

тельно малыми погрешностями остальных измерений, будем считать, что

$$\frac{\Delta c}{c} = \frac{\lambda(\Theta - t_1)}{\Theta - t_1};$$

тогда

$$\frac{\Delta c}{c} = \frac{1}{3} \approx 0,125$$

и

$$\Delta c = 0,086 \cdot 0,125 \approx 0,0108 \frac{\text{кал}}{\text{г} \cdot \text{град}}$$

Значит,

$$c = 0,09 \frac{\text{кал}}{\text{г} \cdot \text{град}} \pm 0,01 \frac{\text{кал}}{\text{г} \cdot \text{град}}$$

Из приведённых рассуждений видно, что чем меньше воды наливать в калориметр, тем больше будет погрешение её температуры при погружении нагретого тела, и погрешность результата будет значительно меньше. Однако минимальное количество воды в калориметре должно быть такое, чтобы цилиндрик погружался в воду полностью. Именно этому случаю и соответствуют приведённые выше примерные числовые результаты работы.

36. Определение удельной теплоты плавления льда

Оборудование. 1) Весы (6). 2) Разновес (7). 3) Термометр (10). 4) Калориметр (28). 5) Чайник (60). 6) Фильтровальная бумага (77). 7) Куски льда в кювете.

Работу проходят в такой последовательности: взвешивают на весах внутренний сосуд калориметра и, налив в него воды, взвешивают вторично с водой; внутренний сосуд с водойставляют во внешний и измеряют температуру воды.

Затем опускают в воду кусок льда, осушив его предварительно фильтровальной бумагой.

Номешивая воду термометром, отмечают самую низкую температуру, которая при этом будет достигнута в калориметре. Вновь взвешивают калориметр и определяют массу опущенного в воду льда.

Удельную теплоту плавления льда определяют из уравнения теплового баланса:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4$$

где Q_1 — теплота, отданная стаканом калориметра, Q_2 — теплота, отданная водой, Q_3 — теплота, затраченная на плавление льда, и Q_4 — теплота, затраченная на нагревание воды, полученной из льда.

Анализ погрешностей, подобный приведшему в предыдущих работах, здесь не имеет смысла; он не может дать более или менее правильной оценки точности результата, так как имеются значительные погрешности, не поддающиеся учёту. Для определения количества знущих цифр в окончательном результате ученики могут ограничиться правилами приближенных вычислений и величину максимальной абсолютной погрешности не оценивать.

Для уменьшения погрешностей, связанных с тепловыми потерями, следует создать наиболее благоприятные условия, при которых эти погрешности будут наименьшими.

Если пользоваться таким калориметром, какой указан в списке оборудования, то воды в калориметр следует налить около 150 г. Кусок льда надо взять массой около 30 г. Вода должна быть подогрета в общем для всего класса чайнике до 35°.

При этих данных тепловые потери в начале опыта будут до некоторой степени компенсированы притоком тепла изюма в конце опыта, когда температура после плавления льда станет ниже комнатной.

Эту работу обычно проводят в зимнее время, когда лёд может быть получен без затруднений. Однако готовый лёд брать не рекомендуется, так как он в большинстве случаев бывает пористым и перед погружением в воду его трудно хорошо осушить. Лучше накануне проведения работы выставить на мороз кипятку или противень с хорошо прокипяченной водой — лёд получится плотный, без пузырьков.

37. Проверка закона Бойля—Мариотта

Оборудование. 1) Угольник (2), 2) Барометр (14), 3) Трубка со столбиком ртути (26) (рис. 110).

Чтобы проверить закон Бойля—Мариотта, пользуются стеклянной трубкой с введённым в неё столбиком ртути, укреплённой на линейке с миллиметровыми делениями.

Сначала измеряют объём заключённого в трубке воздуха по делениям линейки и производимое из него дав-

ление при различных положениях трубки. Для этого необходимо знать атмосферное давление и давление ртут-

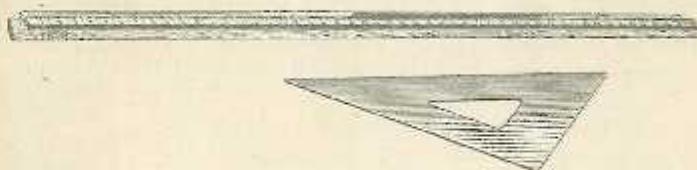


Рис. 110. Оборудование к работе № 37

ного столбика в трубке. Атмосферное давление измеряют при помощи ртутного барометра или анероида (один на весь класс), а высоту ртутного столбика — по делениям линейки.

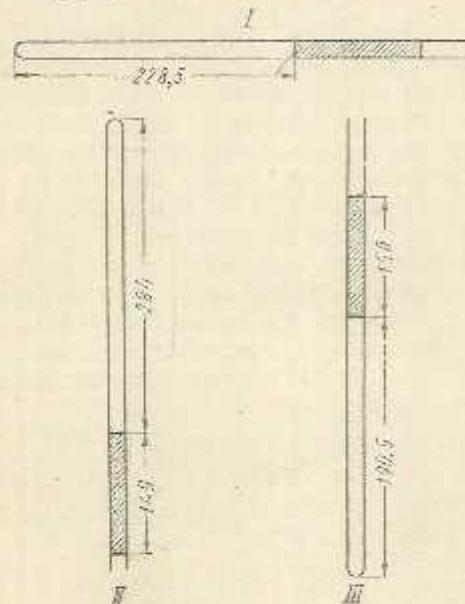


Рис. 111. Трубки со столбиком ртути в горизонтальном и вертикальном положениях

Затем сравнивают между собой произведения объёмов на соответствующие им давления. При этом предполагается, что температура во время опыта остается постоянной.

За единицу для измерения объёма берут объём воздушного столбика, длиною в 1 мм, а за единицу давления — давление ртутного столба высотой 1 мм.

Ниже в таблице приведены записи результатов измерений для трёх положений такой трубы (рис. 111), при давлении по барометру 754,5 мм ртутного столба.

Таблица результатов измерения

Положение трубы	Давление p	Объём V	$C = pV$
I	751,5 мм рт. ст.	228,5 см. ³	172 403
II	754,5 — 149 = 605,5 мм рт. ст.	284 см. ³	171 962
III	754,5 + 150 = 904,5 мм рт. ст. ¹	190,5 см. ³	172 397

На основании правил действия с приближёнными числами каждое из полученных произведений следует округлить, сохранив в них по три значащие цифры. Таким образом, произведение из объёма воздуха на его давление во всех трёх опытах будет равно 172 000, что и подтверждает закон Бойля—Мариотта.

Произведём анализ погрешностей измерения.

Максимальной возможной погрешностью при измерении объёма и давления будем считать 0,5 мм, которые на приборе и по барометру легко отсчитываются на глаз.

Из уравнения $C = pV$ подсчитаем максимальную относительную погрешность:

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta p}{p} + \frac{\Delta V}{V}.$$

Наибольшую погрешность произведения даст измерение объёма при положении III трубы; этот случай и возьмём в качестве примера.

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{1}{904,5} + \frac{0,5}{190,5} = 0,0011 + 0,0026 \approx 0,0037, \text{ или } 0,4\%,$$

следовательно,

$$\Delta C = 172 000 \cdot 0,004 \approx 700.$$

¹ Разница в длине ртутного столбика (149 мм и 150 мм) при II и III положении прибора вызвана неодинакостью сечений кранов трубы.

Отсюда можем записать окончательный результат:

$$C = 172 300 \pm 700.$$

Кроме погрешностей, которые здесь были учтены, в работе неизбежны погрешности, не поддающиеся учёту в условиях данной работы. Они вызываются изменениями температуры воздушного столбика, неодинакостью сечения кранов трубы и т. д. Как видно из приведённой выше таблицы, расхождение результатов не выходит за пределы вычисленной выше максимальной погрешности, следовательно, эти неучтённые погрешности невелики и существенного значения не имеют.

Полезно, если позволяет время, кроме трёх опытов, описанных выше, провести четвёртый опыт, расположив трубку в наклонном положении. В этом случае объём воздуха определяется, как и раньше, но высота ртутного столба должна быть измерена с помощью угольника не вдоль трубы, а по вертикальному направлению (рис. 112). Результат и в этом опыте будет близок к полученным ранее.

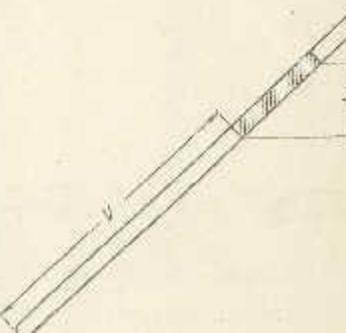


Рис. 112. Трубка со столбиком ртути в наклонном положении

Для более плавного движения ртутного столбика при изменении положения трубы, а также для предохранения ртути от выливания трубка должна быть заткнута заострённой спичкой с извёрнутым на неё кончиком сломанной. Эта пробка не вынимается и во время проведения лабораторной работы, о чём учащиеся должны быть обязательно заранее предупреждены.

38. Проверка формулы газового состояния

Оборудование. 1) Термометр (10). 2) Барометр (14). 3) Ртутный манометр (30). 4) Чайник (60). 5) Стакан батарейный (62). 6) Стакан химический 500 см³ (63) (рис. 113).

Прибор, изображенный отдельно на рис. 114, погружают сначала в холодную воду, налитую в батарейный стакан. Измеряют температуру воды T (берут её по стакан). Измеряют температуру воды T (берут её по стакан), объём воздуха в закрытом колене трубы V и разность уровня ртути h . Результаты измерений записывают в виде таблицы (см. ниже). Затем в химический стакан наливают заранее подготовленную в чайнике горячую воду, и прибор из холодной воды переносят в

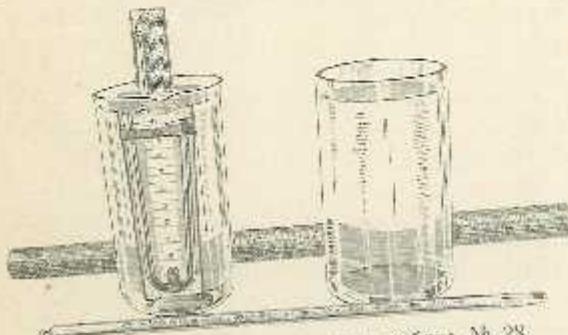


Рис. 113. Оборудование к работе № 38

стакан с горячей водой (рис. 113). Вновь производят те же измерения и результаты записывают во вторую строку таблицы. Для определения давления воздуха в трубке необходимо измерить атмосферное давление. В опыте, результаты которого приведены ниже, давление воздуха по барометру равно 757 мм оттого столба

Таблица результатов измерений

Температура	Объём V	Разность уровня ртути h	Давление $p = H - h$
23°	41 см ³	36 мм	757 - 23 = 731 мм рт. ст.
33°	51 см ³	5 мм	757 - 5 = 752 мм рт. ст.

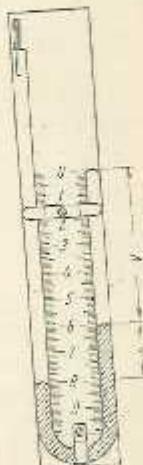


Рис. 114. Укороченный ртутный манометр

Пользуясь данными таблицы, вычисляют по уравнению $C = \frac{pV}{T}$ постоянную C в первом и во втором опыте:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{731 \cdot 41}{233} \approx 106; \frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{752.51}{337} \approx 105.$$

Сравнивая полученные результаты, находят, что они близки между собой, т. е. убеждаются, что произведение объёма на давление, делённое на абсолютную температуру, есть величина постоянная для данной массы газа.

Вычисляют максимальную относительную погрешность по уравнению

$$\begin{aligned} \frac{\Delta C}{C} &= \frac{\Delta p}{p} + \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta T}{T}, \text{ т. е.} \\ \frac{\Delta C}{C} &= \frac{1}{731} + \frac{0.5}{41} - \frac{0.5}{233} \approx 0.001 + 0.012 + \\ &+ 0.002 \approx 0.015 \text{ мм, или } 1.5\%, \\ \Delta C &= 106 \cdot 0.015 = 1.59 \approx 2; C = 106 \pm 2. \end{aligned}$$

Примечание. Во время выполнения опыта в стаканы надо налить столько воды, чтобы она полностью покрывала запаянный конец трубы манометра. Так же, как и в предыдущей работе, незапаянный конец трубы должен быть все время заткнут заострённой спичкой с навёрнутой на неё витой.

39. Определение поверхностного натяжения жидкости

Оборудование. 1) Линейка измерительная (1). 2) Весы (6). 3) Разводка (7). 4) Штатив с муфтами и лапкой (16). 5) Колба коническая (61). 6) Стакан химический 50 см³ (64). 7) Воронка (67). 8) Кран стеклянный с наконечником (68) (рис. 115).

Установка, изображённая на рисунке, служит для определения постоянной поверхностного натяжения жидкости методом капель. В качестве исследуемой жидкости удобнее всего взять дистиллированную воду. Работы проводятся в такой последовательности:

1) При помощи масштабной линейки измеряют диаметр канала стеклянной трубы, причём на глаз отчитывают десятые доли миллиметра. В таком случае погрешность измерения не будет превышать 0,2 мм.

2) Взвешивают химический стаканчик для сбирания капель с точностью до сотых долей грамма.

3) Закрывают кран и надывают из колбы в воронку дистиллированную воду. Подставляют под трубку колбу и, приоткрывая кран, добиваются, чтобы капли падали достаточно медленно (30—40 капель в минуту). Тогда

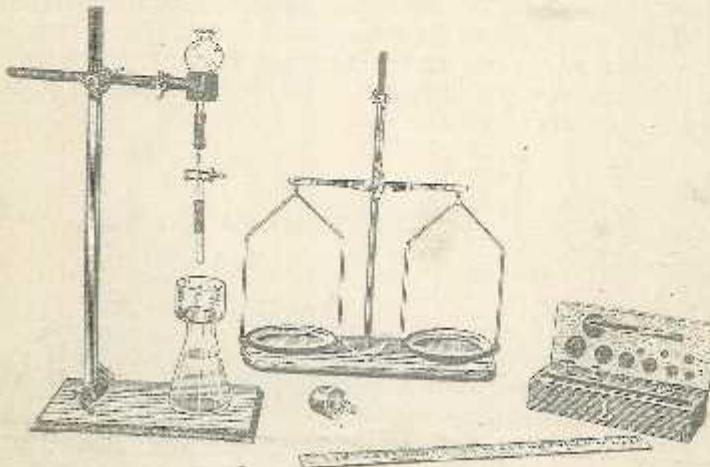


Рис. 115. Оборудование к работе № 39

можно считать, что отрывание капель происходит только под действием веса.

После этого под трубку подставляют стаканчик (ставят его на горлышко колбы) и отсчитывают в него несколько десятков капель.

4) Вторично производят взвешивание стаканчика и находят массу воды.

Чтобы получить постоянную поверхностного напряжения, пользуются уравнением

$$\alpha = \frac{Mg}{\pi n D^2}$$

где M — масса воды, n — число капель, D — диаметр канала трубки, g — ускорение силы тяжести.

Приводим примерные результаты, полученные из опыта:

масса пустого стаканчика $M_1 = 22,62 \text{ г} \pm 0,01 \text{ г}$,

масса стаканчика с водой $M_2 = 30,97 \text{ г} \pm 0,01 \text{ г}$,

масса воды $M = 8,35 \text{ г} \pm 0,02 \text{ г}$,

количество капель $n = 100$,

диаметр отверстия трубы $D = 0,35 \text{ см} \pm 0,02 \text{ см}$.

Тогда

$$\alpha = \frac{8,35 \cdot 981}{100 \cdot 3,14 \cdot 0,35} \approx 74 \frac{\text{дн}}{\text{см}^2}$$

Количество капель как результат счёта есть точное число. Если взять $\pi = 3,14$ и $g = 981 \frac{\text{см}}{\text{сек}^2}$, то относительные погрешности этих величин так же, как и для массы капли, будут слишком малы по сравнению с относительной погрешностью измерения диаметра канала трубы, чтобы заметным образом повлиять на величину относительной погрешности результата. Поэтому можно принять

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta D}{D}$$

следовательно,

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{0,02}{0,35} \approx 0,057, \text{ или приблизительно } 6\%.$$

Таким образом,

$$\Delta \alpha = 74 \cdot 0,06 \approx 4,4 \frac{\text{дн}}{\text{см}^2} \text{ и}$$

$$\alpha = 74 \frac{\text{дн}}{\text{см}^2} \pm 4 \frac{\text{дн}}{\text{см}^2}$$

40. Изучение распределения напряжения на последовательных участках цепи

Оборудование. 1) Вольтметр (12). 2) Батарея аккумуляторов (31). 3) Набор из трёх проволочных спирок (33). 4) Ресистат (34). 5) Ключ (35). 6) Провода соединительные (большой набор) (40) (рис. 116).

Все перечисленные приборы, кроме вольтметра, соединяют в цепь последовательно. К зажимам вольтметра присоединяют два проводника, оставляя их вторые концы свободными. Замыкают цепь и измеряют напряжение на каждой спирале в отдельности и на концах всей

группы. Для этого прикасаются никовечниками проводов, идущих от вольтметра, к концам проволочных сопротивлений.

Чтобы было удобнее вести отсчет по шкале вольтметра, устанавливают при первом измерении ползушку реостата в такое положение, при котором вольтметр

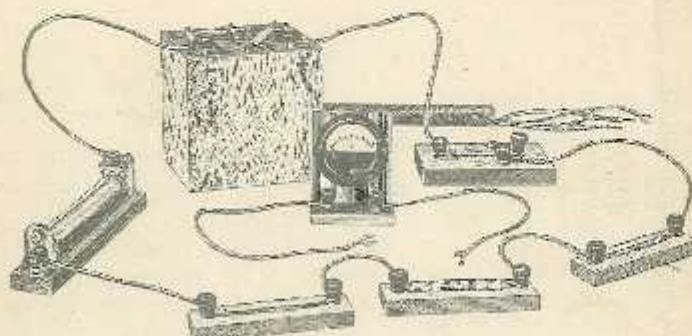


Рис. 116. Оборудование к работе № 40

показывал бы целое число десятых долей вольта. Результаты записывают в таблицу.

Сопротивление участка	1 ом	4 ома	2 ома	7 ом
Напряжение на концах участка	0,4 в	1,6 в	0,8 в	2,8 в

Делают выводы:

1) Напряжение на концах группы последовательно соединенных проводников равно сумме напряжений на концах каждого из них:

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

2) Напряжения на последовательных участках распределяются пропорционально их сопротивлениям:

$$V_1 : V_2 : V_3 = r_1 : r_2 : r_3 \text{ или } \frac{V_1}{r_1} = \frac{V_2}{r_2} = \frac{V_3}{r_3} = I$$

41. Исследование параллельного соединения проводников

Оборудование. 1) Амперметр (11). 2) Вольтметр (12). 3) Батарея аккумуляторов (31). 4) Набор из

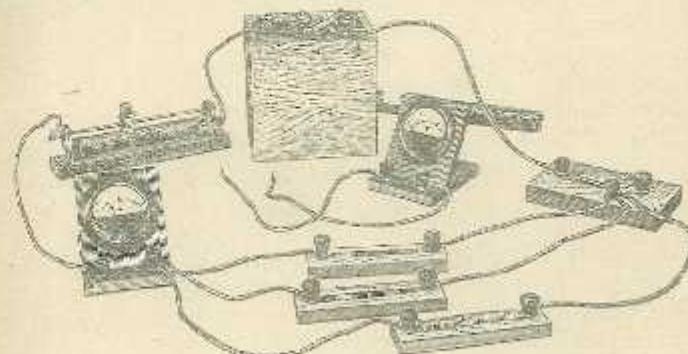


Рис. 117. Оборудование к работе № 41

трёх проволочных сопротивлений (33). 5) Реостат (34). 6) Ключ (35). 7) Провода соединительные (большой и малый наборы) (10, 41) (рис. 117).

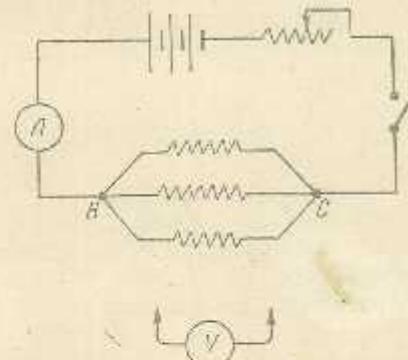


Рис. 118. Схема параллельного соединения сопротивлений

Составляют электрическую цепь из перечисленных приборов: последовательно соединяют амперметр, батарею аккумуляторов, реостат, ключ и группу из трёх параллельно соединённых между собой спиралей. К зажи-

мам вольтметра присоединяют два проводника, оставив их вторые концы свободными (рис. 118).

При помощи реостата устанавливают в цепи определенную силу тока (при выбранных сопротивлениях удобно взять ток силой 1,75 а). Затем переключают амперметр из магистрали в ту или другую ветвь и измеряют токи в каждой из ветвей. Результаты измерений записывают в тетради.

Сила тока в магистрали $I = 1,75$ а.

Сила тока в ветвях $i_1 = 1$ а; $i_2 = 0,5$ а; $i_3 = 0,25$ а.

Сложив величины силы тока в ветвях, делают вывод, что ток в магистрали равен сумме токов в ветвях.

$$I = i_1 + i_2 + i_3.$$

Измеряют вольтметром напряжение между точками В и С (рис. 118) (оно равно в нашем примере 1 в) и по закону Ома определяют сопротивление всей группы параллельно соединенных проводников,

$$R = \frac{1}{1,75} \approx 0,57 \text{ ома.}$$

Затем, пользуясь формулой

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3},$$

вычисляют сопротивление этой же группы проводников, для чего подставляют в формулу значение известных сопротивлений r_1 , r_2 , r_3 :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} = \frac{4+2+1}{4} = \frac{7}{4};$$

$$R = \frac{4}{7} \approx 0,57 \text{ ома.}$$

Полученный вычислением результат сравнивают с результатом, найденным ранее непосредственно из опыта, и убеждаются, что они близки между собой или совпадают.

42. Определение э.д.с. и внутреннего сопротивления источника тока

Оборудование. 1) Амперметр (11). 2) Вольтметр (12). 3) Батарея аккумуляторов (31). 4) Реостат (34). 5) Ключ (35). 6) Провода соединительные (большой набор) (40) (рис. 119).

Для выполнения работы соединяют последовательно: батарею аккумуляторов, амперметр, реостат и ключ. Непосредственно к зажимам батареи присоединяют вольтметр. С помощью реостата устанавливают в цепи ток, например, разный 1,89 а. При этом падение напряжения во внешней части цепи, как показывает вольтметр, будет равно 3,49 в. При размыкании цепи показание вольтметра увеличивается до 3,74 в, — это будет электродвижущая

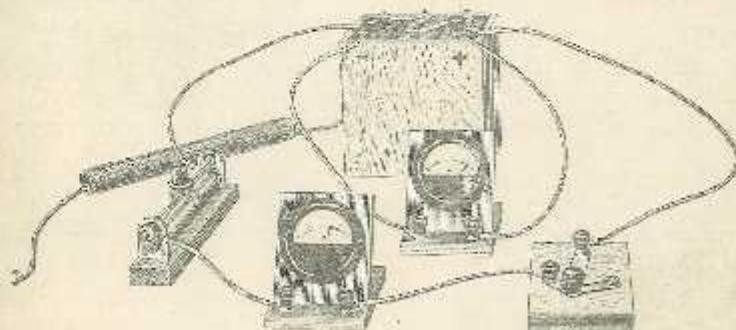


Рис. 119. Оборудование к работе № 42

сила батареи. Отсюда находят потерю напряжения внутри источника тока:

$$V = 3,74 \text{ в} - 3,49 \text{ в} \approx 0,25 \text{ в.}$$

Следовательно, внутреннее сопротивление всей батареи из трёх элементов равно $R = \frac{0,25}{1,89} = 0,139$ ома, а сопротивление одного элемента $r = \frac{0,139}{3} = 0,046$ ома.

Будем считать, что при измерениях силы тока и напряжения максимальные абсолютные погрешности равны 0,025 а и 0,025 в (четверть деления шкалы прибора). Тогда максимальная относительная погрешность результата

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{0,05}{0,25} + \frac{0,025}{1,89} \approx 0,2, \text{ или } 20\%.$$

следовательно, максимальная абсолютная погрешность

$$\Delta r = 0,046 \cdot 0,2 \approx 0,01 \text{ ома};$$

тогда

$$r = 0,046 \text{ ома} \pm 0,01 \text{ ома}.$$

Всё это показывает, что в этой работе в качестве объекта для измерения внутреннего сопротивления выгоднее взять, вместо щелочного аккумулятора, батарейку для карманных фонарей. Она имеет значительно большее внутреннее сопротивление, вследствие чего относительная погрешность результата будет гораздо меньше.

43. Определение теплового эквивалента джоуля

Оборудование. 1) Весы (5). 2) Разновес (7). 3) Термометр (10). 4) Амперметр (11). 5) Вольтметр (12). 6) Часы демонстрационные с секундной стрелкой (13). 7) Калориметр (28). 8) Батарея аккумуляторов (31). 9) Ключ (35). 10) Спираль для нагревания (38). 11) Приводы соединительные (большой набор) (40). 12) Керосин (79) (рис. 120).

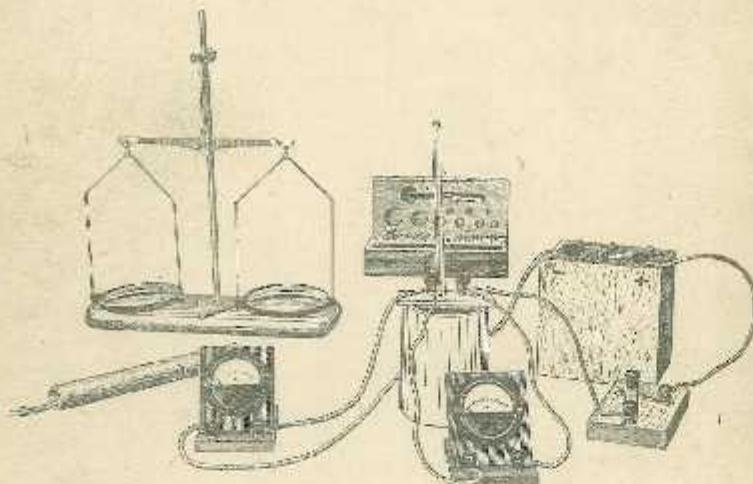


Рис. 120. Оборудование к работе № 43

ров (31) 9) Ключ (35). 10) Спираль для нагревания (38). 11) Приводы соединительные (большой набор) (40). 12) Керосин (79) (рис. 120).

Составляют электрическую цепь из аккумулятора, реостата, амперметра, проволочной спирали и ключа. Все эти приборы соединяются последовательно. Параллельно спирали, к её клеммам присоединяют вольтметр. Затем спираль, к её клеммам присоединяют калориметр. Налив з взвешивают внутренний сосуд, калориметра; налив з него немного больше половины керосина, взвешивают снова с керосином и определяют массу керосина. Со-

бирают калориметр, погружают спираль в керосин и, измерив температуру керосина, включают ток. Момент включения тока замечают по часам. По амперметру и вольтметру измеряют силу тока и напряжение. Минут через 10–15, в течение которых несколько раз перемещивают керосин термометром, ток выключают. Вторично измеряют температуру керосина и приступают к обработке результатов измерения.

Примерные результаты

масса внутреннего сосуда калориметра	$41 \text{ г} \pm 0,5 \text{ г}$
масса керосина	$167 - 4 = 123 \text{ г} \pm 1 \text{ г}$
сила тока в спирали	$1,27 \text{ а} \pm 0,05 \text{ а}$
напряжение	$3,00 \text{ в} \pm 0,05 \text{ в}$
начальная температура керосина	$27,0^{\circ} \pm 0,2^{\circ}$
время нагревания	$600 \text{ сек} \pm 1 \text{ сек}$
повышение температуры	$34,2 - 27 = 7,2^{\circ} \pm 0,4^{\circ}$

Электрическую энергию, затраченную за нагревание, вычисляют по формуле:

$$W = IVt; W = 1,27 \cdot 3 \cdot 600 \text{ дж} \approx 2280 \text{ дж.}$$

А количество тепла, полученное керосином и внутренним стаканом калориметра, — по формуле:

$$Q = (m_1 c_1 + m_2 c_2) \cdot (t_2 - t_1);$$

$$Q = (44 \cdot 0,21 + 123 \cdot 0,51) \cdot 7,2 \text{ кал} \approx 517 \text{ кал.}$$

Отсюда

$$q = \frac{Q}{W}; q = \frac{517 \text{ кал}}{2280 \text{ дж}} \approx 0,23 \frac{\text{кал}}{\text{дж}}.$$

Подробный расчёт и анализ погрешностей показывает, что максимальная относительная погрешность найденной величины составляет приблизительно 9%, следовательно, окончательный результат будет

$$q = 0,23 \frac{\text{кал}}{\text{дж}} \pm 0,02 \frac{\text{кал}}{\text{дж}}.$$

Причём относительная погрешность прироста температуры составляет почти 5%, в то время как погрешность при определении теплоёмкости керосина вместе с сосудом составляет около 3%, относительная погрешность при определении работы тока 1%.

Отсюда вытекает, что с наибольшей точностью в данной работе следует измерять температуру керосина. Увеличивать продолжительность опыта сверх

10 мин. нецелесообразно, так как это не улучшит результата: с увеличением температуры будут быстро возрастать потери тепла в окружающую среду.

44. Определение электрохимического эквивалента меди

Оборудование. 1) Весы (6). 2) Разновес (7). 3) Амперметр (11). 4) Часы демонстрационные с секундной стрелкой (13). 5) Спиртожка (27), или плитка

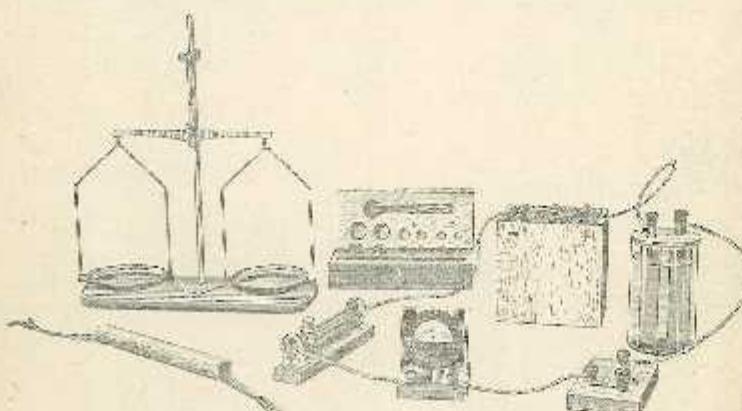


Рис. 121. Оборудование к работе № 44

электрическая, или вентилятор (для сушки электродов). 6) Батарея аккумуляторов (31). 7) Резистат (31). 8) Ключ (35). 9) Электроды медные со вставкой (39). 10) Провода соединительные (большой набор) (40). 11) Стакан батарейный (62). 12) Раствор медного купороса (80) (рис. 121).

В начале работы взвешивают одну из медных пластин, которая будет служить катодом, с максимально возможной точностью, заметив при этом номер электрода, чтобы не спутать его потом с анодом. После этого собирают электрическую цепь, соединяя последовательно: батарею аккумуляторов, амперметр, резистат, медный вольтметр и ключ. Затем, заметив время, замыкают цепь и быстро устанавливают резистатом силу тока около 1,5 ампера.

Через 10–15 минут ток выключают, вынимают пластину, служившую в опыте катодом и, не касаясь руками отложившегося слоя меди, осторожно ополаскивают её водой и высушивают над пламенем спиртожки, над электрической плиткой или перед вентилятором. Снова тщательно взвешивают пластину и определяют массу выделившейся меди. После этого вычисляют величину электрохимического эквивалента по формуле $K = \frac{m}{It}$.

Примерные результаты, полученные из опыта:

масса катода до опыта	28 300 мг ± 5 мг
сила тока	1,80 а ± 0,05 а
время	900 сек ± 2 сек
масса катода после опыта	29 870 мг ± 5 мг
масса выделившейся меди	510 мг ± 10 мг

Следовательно, электрохимический эквивалент меди

$$K = \frac{510}{1,80 \cdot 900} \approx 0,32 \frac{\text{мг}}{\text{кул}}.$$

Относительная погрешность результата будет равна:

$$\frac{\Delta K}{K} = \frac{10}{510} + \frac{0,05}{1,8} + \frac{2}{900} \approx 0,05, \text{ или } 5\%.$$

Максимальная абсолютная погрешность

$$\Delta K = 0,32 \cdot 0,05 = 0,016 \frac{\text{мг}}{\text{кул}}.$$

Тогда

$$K = 0,32 \frac{\text{мг}}{\text{кул}} \pm 0,02 \frac{\text{мг}}{\text{кул}}.$$

45. Наблюдение взаимодействия магнита и тока

Оборудование. 1) Штатив с муфтами и лапкой (16). 2) Батарея аккумуляторов (31). 3) Ключ (35). 4) Провода соединительные (малый набор) (41). 5) Магнит дугообразный (43). 6) Моток проволочныи (47) (рис. 122).

Эта работа имеет качественный характер и представляет собой ряд практических упражнений на применение правил для определения направления движения проводника с током в магнитном поле при различных условиях.

Перед проведением опыта проволочный моток подвешивают к лапке штатива, как показано на рисунке, и

через ключ присоединяют к батареи аккумуляторов. К мотку подносят дугообразный магнит; сначала располагают его произвольно. Включают ток и наблюдают то или иное движение мотка. Затем из многих возможных вариантов относительного расположения мотка и магнита выбирают четыре положения, изображенные на рис. 123. Для каждого из указанных случаев в отдельности решают вопрос о том, куда будет двигаться моток при том или ином направлении тока.

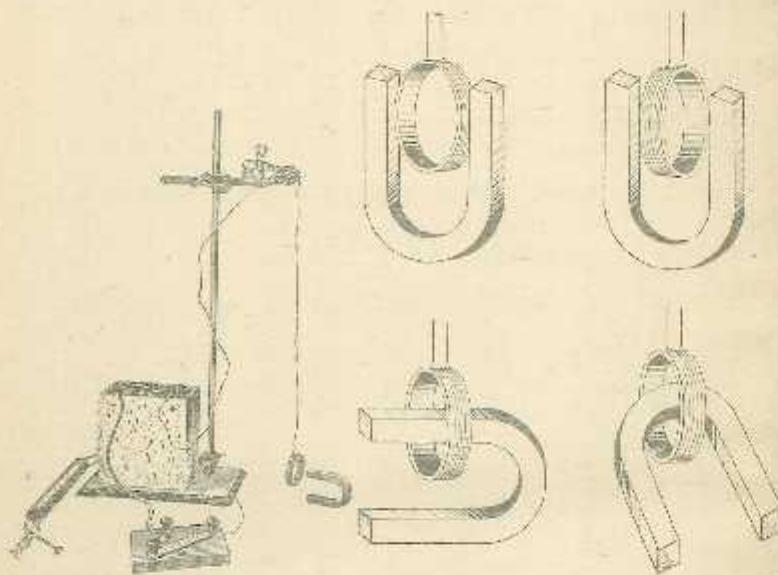


Рис. 122. Оборудование к работе № 45

Рис. 123. Расположение катушки с током в дугообразном магните

Направление силовых линий магнитного поля магнита учащиеся легко находят по обозначениям полюсов (магнитные спектры были изучены на лабораторных занятиях в VII классе). Направление тока в проволочном мотке устанавливают по обозначениям + и — на клеммах батареи.

Зная направление магнитного поля магнита в том месте, где расположен моток, и направление тока в мотке, заранее определяют по различным известным правилам направление в характер движению мотка. Затем

включают ток и каждый раз проверяют правильность своего определения из опыта.

На рисунках, которые учащиеся делают во время выполнения работы в своих тетрадях, должны быть показаны направления магнитного поля, направления тока и движения мотка. Верхне важно, чтобы учащиеся заметили следующие стадии в движении мотка: его поворот, притяжение к одному из полюсов, нанизывание на магнит и, наконец, проливание к нейтрали (середине магнита), где никакого движения мотка не обнаруживается.

Общий вывод из приведенных наблюдений можно сформулировать в заключительной беседе так: проволочный моток с током при своем движении в магнитном поле всегда располагается так, чтобы окватить наибольшее число силовых линий.

46. Изучение электромагнитной индукции

Оборудование. 1) Батарея аккумуляторов (31).
2) Ключ (35). 3) Катушки с сердечниками (2 шт.) (36).

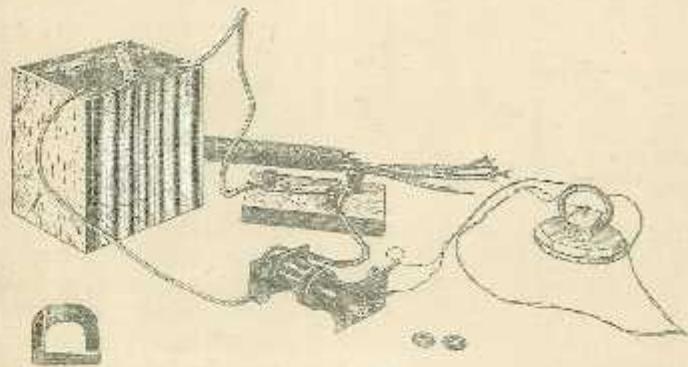


Рис. 124. Оборудование к работе № 46

4) Магнит дугообразный (43). 5) Провода соединительные (малый набор) (41). 6) Стрелка магнитная на подставке (45). 7) Моток проволочный (17) (рис. 124).

Работа вносит качественный характер и состоит из следующих отдельных опытов:

1) Получение индукционного тока при перемещении катушки в поле постоянного магнита.

2) Получение индукционного тока при замыкании и размыкании тока в первичной цепи катушки.

Индикатором для обнаружения индукционного тока служит простейший гальваноскоп, собранный из проволочного мотка и магнитной стрелки на подставке и показанный на рисунке справа.

Для проведения первого опыта катушки с железным сердечником присоединяют к якорю катушки с железным сердечником и устанавливают гальваноскоп так, чтобы его стрелка расположилась в плоскости проволочного мотка (вдоль магнитного меридиана).

Сердечник вынимают из катушки и, приставив его к одному из полюсов дугового магнита, снова вдвигают внутрь катушки (рис. 125); при этом стрелка гальваноскопа заметно отклоняется.

Применяв правило винта или правило левой руки, определяют по отклонению стрелки направление индукционного тока в мотке гальваноскопа, а затем и в витках присоединённой к нему катушки. По направлению индукционного тока определяют направление силовых линий его магнитного поля и убеждаются в том, что это поле противоположно направлению нарастающего в катушке поля магнита, чем подтверждается правило Ленца.

Аналогично исследуется второй случай, когда индукционный ток возникает при вынимании магнита из катушки. Для проведения второго опыта катушку, соединённую с гальваноскопом, кладут набок и рядом с ней кладут вторую такую же катушку так, чтобы их оси совпадали (рис. 124). Вставляют в обе катушки железные

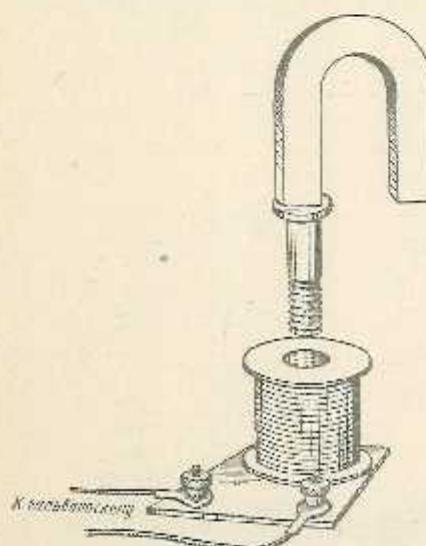


Рис. 125. Расположение катушки, железного сердечника и магнита в опыте по электромагнитной индукции

сердечники и соединяют вторую катушку последовательно с аккумуляторной батареей и ключом. Замыкая и размыкая ток в первичной цепи, получают индукционный ток во вторичной цепи, о чём свидетельствует отклонение стрелки гальваноскопа. Определяют направление индукционного тока и то же от аккумулятора и проворачивают правило Ленца для случаев получения индукционного тока при замыкании и размыкании цепи.

Примечание. Во всех опытах гальваноскоп надо располагать подальше от магнита, так как влияние магнита может исказить результаты.

47. Построение изображения в плоском зеркале

Оборудование. 1) Линейка измерительная (1).
2) Угольник (2). 3) Зеркало плоское (50). 4) Лист кар-

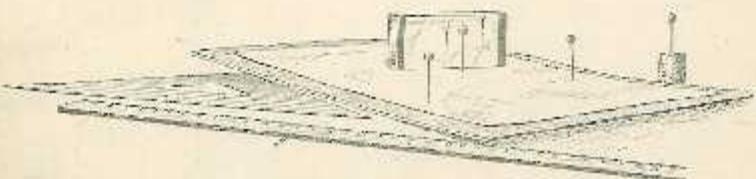


Рис. 126. Оборудование к работе № 47

тона (72). 5) Бумага писчая (73). 6) Булавки с крупной головкой (4 шт.) (75) (рис. 126).

Задача, которую решают учащиеся при выполнении данной работы, заключается в том, чтобы построить мнимое изображение точки в плоском зеркале и проверить на опыте симметричное расположение мнимого изображения относительно плоскости зеркала.

На лист бумаги, положенный на картон, ставят бруск с зеркальцем, как показано на рис. 126, и в бумагу вкалывают вертикально булавку *A* так, чтобы в зеркале было видно её изображение (рис. 127). Затем в другом месте, по недалеко от зеркала, вкалывают булавку *B* и на возможно большем расстоянии — булавку *C*. Последние две булавки и изображение булавки *A* должны быть расположены по одной прямой линии.

Чтобы сделать достаточно точную установку булавок вдоль прямой, надо расположить глаз на уровне бумаги

и, наблюдая одним глазом, добиться такого положения булавок, при котором они будут закрывать друг друга.

Для проверки правильности установки полезно немножко сместить глаз вправо, затем влево; в том и в

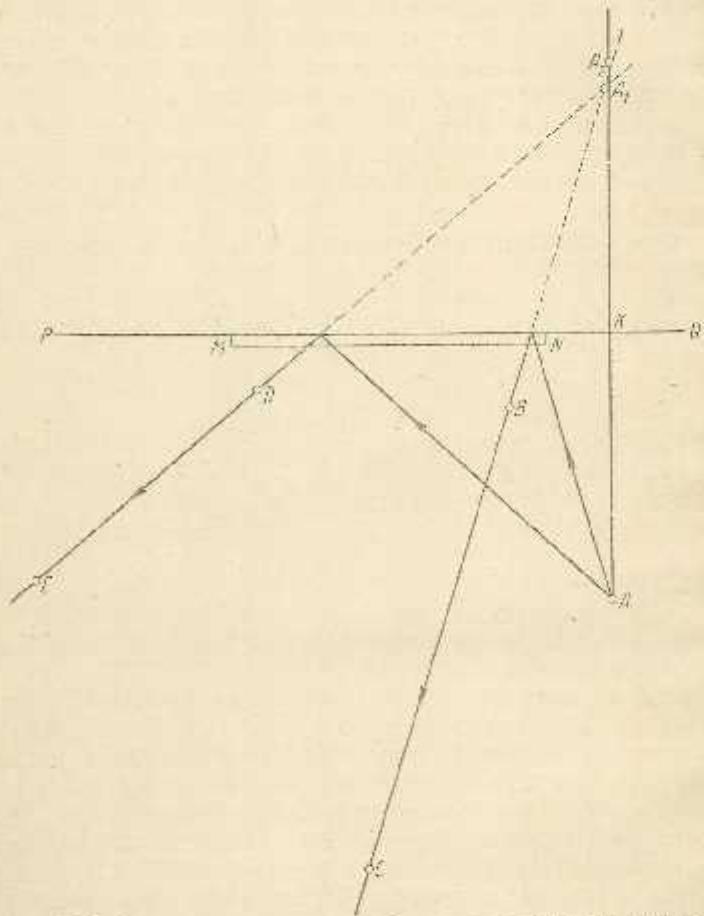


Рис. 127. Построение минимого изображения в плоском зеркале

другом случае расположение двух булавок и изображения по одной прямой должно казаться одинаково правильным.

После этого две последних булавки вынимают, отмечают карандашом образовавшиеся от них проколы и

опыт повторяют, чтобы таким же способом получить вторую пару точек D и E (рис. 127). Проводят вдоль зеркала остро очищенным карандашом прямую линию MN и, сняв зеркало с бумаги, приступают к построению изображения.

Ограждающей поверхностью является задняя поверхность зеркала, поэтому измеряют линейкой толщину стекла и на этом расстоянии с помощью угольника и линейки чертят прямую PQ , параллельную MN . Затем проводят прямые BC и DE через соответствующие точки, продолжив их пунктиром за линию зеркала до пересечения между собой. Точка пересечения этих двух прямых A_1 и будет иным изображением точки A .

Изображение точки в плоском зеркале и сама точка должны расположиться относительно плоскости зеркала симметрично. Чтобы проверить это положение, из точки A опускают перпендикульр на линию PQ и на его продолжении откладывают отрезок KA_2 , равный KA . Полученная точка A_2 должна быть изображением точки A и, следовательно, должна совпадать с точкой A_1 . На практике же неизбежно будет наблюдаваться некоторое расхождение этих точек, как это и показано на рис. 127; расхождение является следствием неточностей в расположении булавок, несовершенства чертежных инструментов, кривизны зеркала и неопытности экспериментатора. Однако расхождение настолько незначительно, что изображение вполне можно признать расположенным симметрично предмету.

48. Определение показателя преломления стекла

Оборудование. 1) Линейка измерительная (1). 2) Угольник (2). 3) Пластика стеклянная (51). 4) Лист картона (72). 5) Бумага писчая (73). 6) Булавки с крупной головкой (4 шт.) (75) (рис. 128).

Для выполнения работы на середину листа бумаги с подложенным под ним картоном кладут стеклянную пластинку (контуры которой имеют форму трапеции) и за ее вертикально вкалывают булавку. Располагают глаз на уровне стола и, следя за булавкой сквозь толщу стекла, поворачивают пластинку. При этом наблюдается относительное смещение верхней части булавки, выступающей над пластинкой, и нижней, рассматриваемой сквозь стекло.

Когда наблюдаемая картина будет примерно такой, как представлено на рис. 129, где изображена булавка *A*, как она видна над пластиной и сквозь стекло, вкладывают булавку *B*, затем *C* и *D* (рис. 130), причем осно-

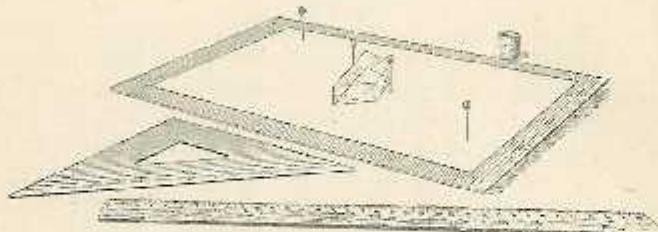


Рис. 128. Оборудование к работе № 48

вания всех этих четырех булавок должны казаться наблюдателю расположеннымными на одной прямой.

Вынув булавки, отмечают пружками места проколов и очерчивают хорошо очищенным карандашом контуры пластиинки. После этого пластиинку снимают с бумаги и приступают к обработке результатов опыта. Через точки

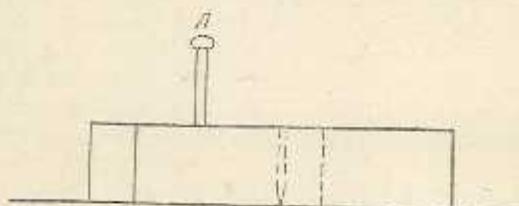


Рис. 129. Расположение стеклянной пластины и булавок для наблюдения преломления света в стекле

A и *B*, затем *C* и *D* проводят прямые линии до их пересечения с соответствующими основаниями трапеции, изображающими собою преломляющие грани пластиинки. Точки пересечения *K* и *K'* соединяют прямой и продолжают её пунктиром до края листа. Через точку *K* проводят пунктиром прямую, перпендикулярную к грани пластиинки, и на ней от точки *K* откладывают произвольной, но одинаковой длины отрезки *KM* и *KP*. Из точек *M* и *P* опускают перпендикуляры на линии *KB* и *K'D*. Измерив

при помощи линейки величины полученных отрезков *MN* и *PQ*, находят коэффициент преломления стекла

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin i},$$

где $\sin \alpha = \frac{MN}{KM}$, а $\sin i = \frac{PQ}{KP}$.

Тогда

$$n = \frac{MN \cdot KP}{KM \cdot PQ}.$$

Но $KM = KP$, следовательно,

$$n = \frac{MN}{PQ}.$$

Допустим, что в результате измерения длин линий синусов получены следующие величины: $MN = 112$ мм и $PQ = 73$ мм; тогда

$$n = \frac{112}{73} \approx 1,53.$$

Данная работа, как и некоторые другие работы, имеет ту особенность, что погрешность в окончательном результате обусловлена из столько погрешностями измерений, сколько неточностями при установке булавок и выполнении чертежа. В таких работах максимальную абсолютную погрешность находят следующим способом.

Путём повторных опытов определяют искомую величину (в данном случае показатель преломления) несколько раз и находят её среднее значение. Определяют абсолютные погрешности каждого отдельного результата, а потом — среднюю абсолютную погрешность, которая и служит для оценки получено о результата¹.

Описанным способом найдено, что относительная погрешность при определении показателя преломления стекла может достигать 10%. Следовательно, окончательный результат в нашем примере надо ограничить вторым знаком, т. е.

$$n = 1,5 \pm 0,1.$$

Вместо построения линий синусов и их измерения, можно измерить углы транспортиром и, найдя по таб-

¹ См. пример в следующей работе.

лицам синусы этих углов, определить их отношение. Следует, однако, иметь в виду, что этот способ даёт худшие результаты.

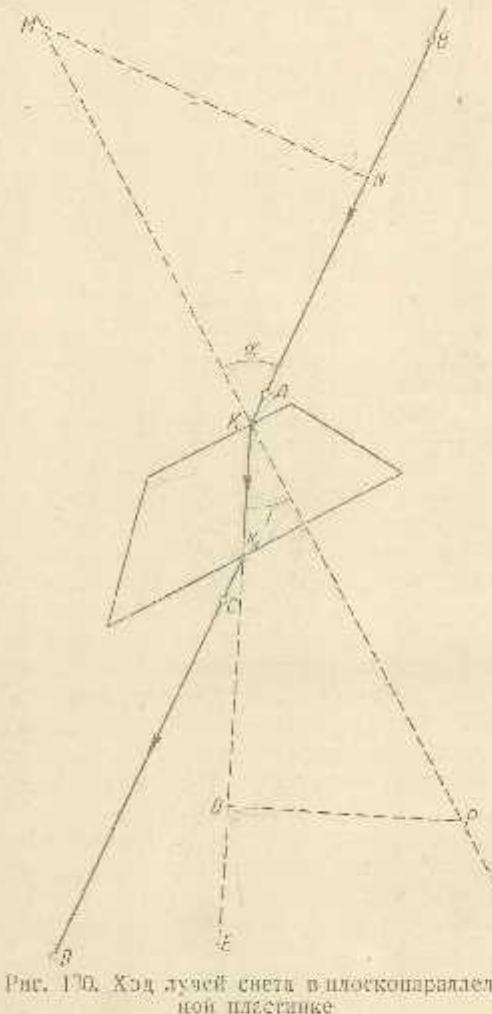


Рис. 170. Код лучей света в плоско-параллельной пластинке

Лист бумаги с полученным на нём чертежом (рис. 130) полезно дать учащимся на дом, где они смогут самостоятельно сделать аналогичное построение, воспользовав-

шись второй грани пластинки в точке K_1 , и найти второй раз коэффициент преломления. Сравнение двух найденных величин даст более правильную оценку результата выполненной работы.

49. Определение фокусного расстояния вогнутого зеркала

Оборудование: 1) Лента измерительная (3). 2) Батарея аккумуляторов (31). 3) Лампочка на подставке с колпачком (32). 4) Ключ (35). 5) Провода соединительные (малый набор) (41). 6) Зеркало вогнутое (56). 7) Матовое стекло (57) (рис. 131).

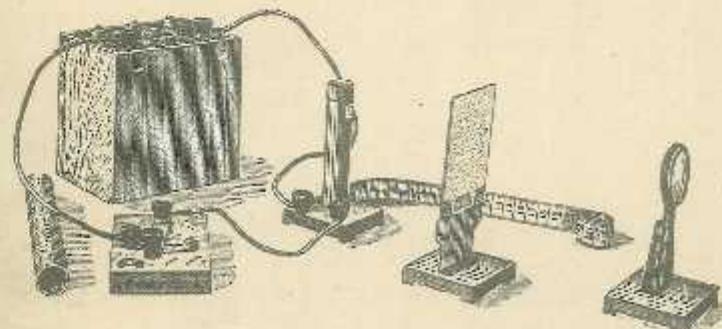


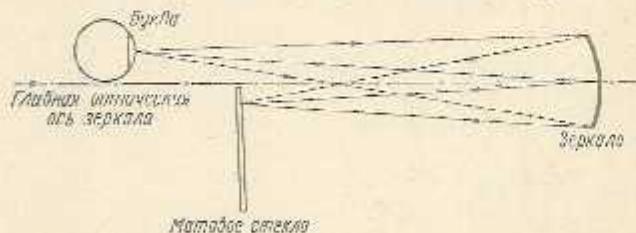
Рис. 131. Оборудование к работе № 49

Работа проводится при полном освещении класса. Сначала составляют электрическую цепь из лампочки, аккумуляторной батареи и ключа; на лампочку надевают колпачок буквой вверх и включают ток. Освещённая буква будет служить «предметом» для получения его изображения.

Затем перед буквой ставят на расстоянии 20—30 см вогнутое зеркало, а между буквой и зеркалом — матовое стекло, которое служит экраном. Передвигают экран и добиваются получения на нём резкого изображения буквы.

Матовое стекло не должно загораживать бунту от зеркала, поэтому зеркало располагают так, чтобы его главная оптическая ось проходила между буквой и краем матового стекла, как это представлено на рис. 132 (вид установки сверху).

Для получения достаточной резкости при изображение буквы на матовом стекле удобнее рассматривать в проходящем свете; с этой целью глаз располагают против матового стекла, то со стороны, противоположной зеркалу. Получив резкое изображение, измеряют расстояние d — от буквы до зеркала и f — от зеркала до изображения. Затем повторяют опыт несколько раз и результаты измерений записывают в таблицу¹.



[Рис. 132. Расположение источника света, вогнутого зеркала и экрана для получения действительного изображения]

Воспользовавшись формулой

$$F = \frac{d \cdot f}{d + f},$$

находит ряд значений для главного фокусного расстояния (см. табл. на стр. 171).

Чтобы получить окончательный результат, находят среднее арифметическое из полученных значений фокусного расстояния и среднее арифметическое из абсолютных величин отклонений отдельных результатов от среднего:

$$F_{ср} = \frac{6,9 + 7,0 + 7,2 + 7,3 + 6,8}{5} \approx 7,0 \text{ см.}$$

$$\Delta F = \frac{0,1 + 0,2 + 0,3 + 0,2}{5} \approx 0,16 \text{ см.}$$

Таким образом,

$$F = 7,0 \text{ см} \pm 0,2 \text{ см.}$$

¹ Результаты последнего опыта дают возможность без вычислений определить довольно точно величину F . Для этого опыта надо снять с лампочки колпачок и установить зеркало так, чтобы получить изображение или лампочки на стене класса. Если расстояние до стены достаточно велико (в нашем примере 3,5 м), то лампочка от зеркала находится на расстоянии, почти равном главному фокусному расстоянию.

Таблица результатов измерений

№ опыта	d	f	$F = \frac{d \cdot f}{d + f}$	$\Delta F = F_{ср} - F$
1	50 см	8 см	$\frac{50 \cdot 8}{58} \approx 6,9 \text{ см}$	0,1 см
2	41 см	8,5 см	$\frac{41 \cdot 8,5}{49,5} \approx 7,0 \text{ см}$	0 см
3	11 см	21 см	$\frac{11 \cdot 21}{32} \approx 7,2 \text{ см}$	0,2 см
4	14,5 см	14,5 см	$\frac{14,5 \cdot 14,5}{29} \approx 7,3 \text{ см}$	0,3 см
5	350 см	7 см	$\frac{350 \cdot 7}{357} \approx 6,8 \text{ см}$	0,2 см

50. Определение фокусного расстояния собирающей линзы

Оборудование. 1) Лента измерительная (3). 2) Жолоб (19). 3) Батарея аккумуляторов (31). 4) Лампочка на подставке с колпачком (32). 5) Ключ (35). 6) Провода соединительные (малый набор) (41). 7) Линза двояковыпуклая (53). 8) Матовое стекло (57). 9) Сетка миллиметровая на стекле (58) (рис. 133).

В этой работе ставится две задачи: 1) Определение главного фокусного расстояния собирающей линзы. 2) Определение положения действительного изображения предмета методом параллакса.

В первой своей части эта работа мало отличается от определения фокусного расстояния вогнутого зеркала, но проподается с большим удобством, так как здесь имеется возможность использовать из комплекта оборудования жолоб для работы по механике в качестве направляющей линейки. Вдоль этого жолоба, вплотную к нему, ставят лампочку с колпачком, линзу и матовое стекло. Получают резкое изображение буквы на матовом стекле, измерив расстояния, вычисляют главное фокусное

расстояние подобно тому, как это было сделано в про-
дыущей работе. Опыт проводится при полном освеще-
нии класса.

Во второй части работы учащиеся должны научиться
отличать действительные и мнимые изображения и оты-
скывать место, где образуются действительные изобра-
жения, не прибегая к непрозрачному экрану. С этой целью
учащиеся должны перейти от матового стекла, служащего
для нахождения места действительного изображения,
к прозрачной миллиметровой сстке, которая удобна для

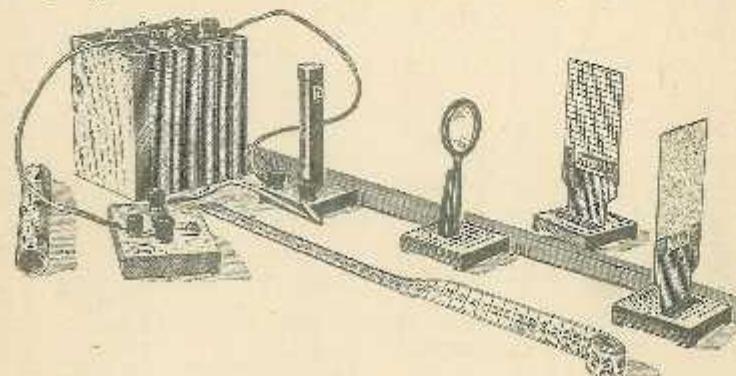


Рис. 133. Оборудование к работе № 50

отыскания действительных изображений по способу па-
раллакса.

Этот способ заслуживает особого внимания, так как он оказывается единственным возможным способом для определения места действительного изображения в незави-
симом помещении, когда предмет не является сам источником света¹. Кроме того, следует иметь в виду, что в большинстве случаев действительные изображения в оптических приборах рассматриваются без матового стекла или экрана (телескоп, микроскоп, видоискатель фотоаппарата, стереотруба, прицельные приспособления, спектроскоп и т. п.).

Сущность способа заключается в следующем. При наблюдении одним глазом двух различно удаленных от

¹ При обычной постановке работ по оптике у учащихся со-
здаётся впечатление, что изображения получаются только от источ-
ников света и обязательно на экране.

глаза предметов происходит кажущееся смешение (па-
раллакс) этих двух предметов относительно друг друга,

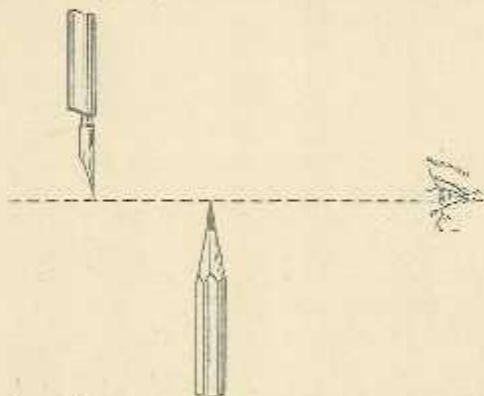


Рис. 134. Расположение пера, карандаши и
глаза на одной прямой линии

если немного перемещать глаз. Поясним это примером. Рис. 134 изображает размещение пера, карандаша и глаза наблюдателя. Наблюдатель может поместить глаз сначала в таком месте, что перо будет ему представляться расположенным точно над остриём карандаша (рис. 135). Переместив затем глаз вправо, наблюдатель увидит, что перо и карандаш сместились относительно друг друга (рис. 136), причём более удалённый предмет (перо) сместился в ту же сторону, в которую переместился и глаз.

Картина, изображённая на рис. 135, не даёт представления о том, какой из предметов расположен ближе к глазу, поскольку только сдвинуть глаз, и вопрос быстро решается: если взаимного перемещения не происходит, значит, оба предмета находятся на одинаковом расстоянии от глаза.

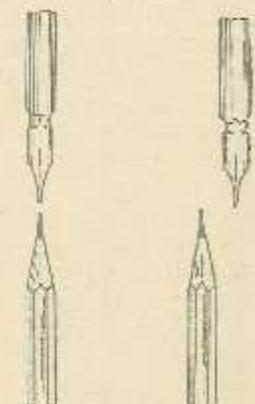


Рис. 135. Ка-
рандаш и перо со-
впадают

Рис. 136. Ка-
рандаш и перо рас-
ходятся вслед-
ствие парал-
лакса

дятся на разных расстояниях; если предметы смещаются, то дальше находятся тот предмет, который смещается относительно другого в ту же сторону, что и глаз.

Чтобы применить способ параллакса в данной работе, пользуются установкой приборов, сохранившейся от предыдущего опыта, но матовое стекло, на котором было получено резкое изображение буквы, заменяют прозрачной сеткой. Убеждаются, что теперь изображение можно увидеть только в том случае, если глаз расположить на глашной оптической оси за сеткой. Изображение видно только на фоне линзы, и при перемещении глаза наблюдателя оно не смещается относительно сетки — признак того, что сетка и изображение буквы точно совпадают.

Отдвигают сетку дальше от линзы и слегка перемещают глаз вверх или вниз. Замечают, что теперь сетка и изображение смещаются относительно друг друга. Снова добиваются такого положения сетки, когда параллакса не наблюдается, — это даёт право считать, что место изображения ошты найдено точно.

Когда способ нахождения изображения по параллаксу учащимися усвоен, надо применить его для определения места изображения какого-либо несамосвящающегося предмета в классе, а ещё лучше той же буквы на колпачке, но с погашенной лампочкой, чтобы затем можно было проверить полученные результаты по матовому экрану.

Важно помнить, что линза даёт небольшое искажение, вследствие того, что изображение получается не на плоскости, а на некоторой кривой поверхности. Это вынуждает находить место не всего изображения, а какой-либо его части, удобнее всего средней. Таким образом, применяя способ параллакса, надо следить за серединой изображения, допуская небольшие перемещения глаза вверх, вниз или в стороны.

51. Определение фокусного расстояния рассеивающей линзы

Оборудование. 1) Лента измерительная (3). 2) Жолоб (19). 3) Батарея аккумуляторов (31). 4) Лампочка на подставке с колпачком (32). 5) Ключ (35). 6) Провода соединительные (малый набор) (41). 7) Экран

белый (52). 8) Линза двояковыпуклая короткофокусная (54). 9) Линза двояковогнутая (55) (рис. 137).

Вследствие того, что рассеивающая линза образует только мнимые изображения, положение которых нельзя определить непосредственно при помощи экрана, целесообразно прибегнуть к косвенному методу при определении её главного фокусного расстояния, применив собирающую линзу.

Для этого вдоль жолоба, между горящей лампочкой и экраном, устанавливают рассеивающую линзу, а между

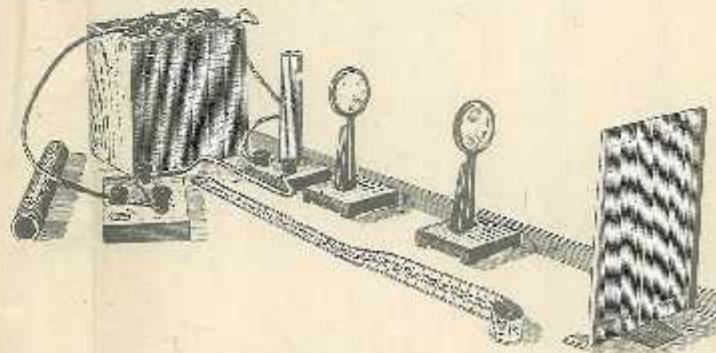


Рис. 137. Оборудование к работе № 51

нею и экраном — короткофокусную собирающую линзу. Передвигая собирающую линзу и экран, добиваются получения на экране резкого изображения нити лампочки в виде светлой точки или полоски. Схема установки и ход лучей показаны на рис. 138. После этого укладывают на жолоб измерительную ленту и измеряют расстояние d от рассеивающей линзы до лампочки. Затем убирают рассеивающую линзу; изображение на экране исчезает. Придвигают лампочку по направлению к собирающей линзе, пока из экране вновь не появится резкое изображение нити. Это, отведято, будет в том случае, когда лампочка попадёт в точку S_1 , т. е. на место мнимого изображения, полученного в рассеивающей линзе.

Измеряют расстояние f от места, где была рассеивающая линза, до лампочки и определяют главное фокусное расстояние по общей формуле линзы:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f'}$$

Расстояние f надо считать здесь отрицательным, как расстояние мнимого изображения от линзы.

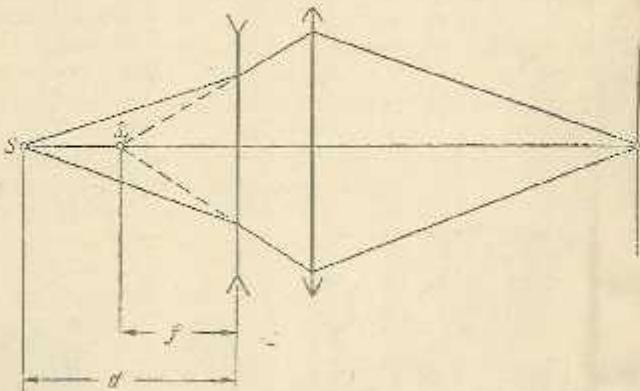


Рис. 138. Схема расположения линз, источника света и экрана при определении главного фокусного расстояния рассеивающей линзы

Если $d = 20$ см, $f = -6$ см, то

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{20} - \frac{1}{6}; \quad F = \frac{6 \cdot 20}{6 - 20} \approx -8,6 \text{ см.}$$

Найдём максимальную относительную погрешность измерения, положив Δd и Δf разными 0,25 см,

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta f}{f} + \frac{\Delta f - \Delta d}{f - d},$$

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{0,25}{20} + \frac{0,25}{6} + \frac{0,5}{14} \approx 0,09, \text{ или } 9\%.$$

Отсюда

$$\Delta F = -8,6 \cdot 0,09 \text{ см} \approx -0,8 \text{ см.}$$

следовательно,

$$F = -8,6 \text{ см} \pm 0,8 \text{ см.}$$

Эту работу, как и предыдущие, можно проводить в незатемнённом помещении, располагая установки приборов так, чтобы экран по возможности был защищён от прямого света из окон.

57. Сборка моделей трубы Кеплера, микроскопа и трубы Галилея

Оборудование. 1) Лампочка на подставке с колпачком (32). 2) Жолоб (19). 3) Линза двояковыпуклая длиннофокусная (53). 4) Линза двояковыпуклая короткофокусная (54). 5) Линза двояковогнутая (55). 6) Сетка миллиметровая на стекле (58) (рис. 139).

1) Труба Кеплера. У конца жолоба устанавливают подставку от лампочки с колпачком, надетым вверх

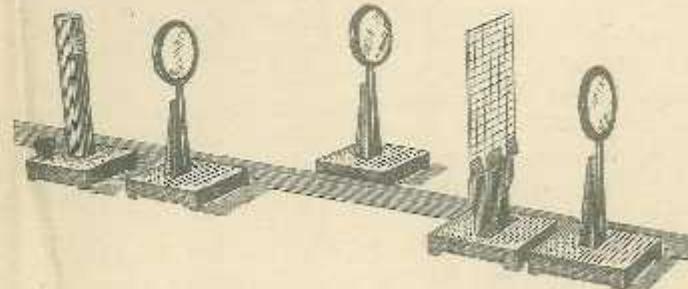


Рис. 139. Оборудование к работе № 52

буквой (буква освещается не лампочкой, а непосредственно от окна класса). На возможном большем расстоянии от буквы устанавливают длиннофокусную линзу и отыскивают действительное, уменьшённое и обратное изображение буквы при помощи сетки по способу паралакса (см. работу № 50). Затем ставят за сеткой, близко к ней, короткофокусную линзу. Глядя сквозь эту линзу, как через лупу, на сетку, отодвигают постепенно линзу до тех пор, пока сетка, и с нею и изображение буквы, не станут отчётливо видны. Убирают теперь сетку и опытным путём находят наилучшее положение для глаза, когда поле зрения будет наибольшим.

Если смотреть сразу двумя глазами, одним сквозь линзу, а другим — мимо неё, непосредственно на букву, то можно сравнить величину буквы с её изображением и приблизительно определить полученное увеличение.

2) Микроскоп. Объективом в модели микроскопа служит короткофокусная линза, а окуляром — длиннофокусная; главное фокусное расстояние обеих линз должно

быть известно ученикам перед работой. Устанавливают объектив около хорошо освещённой буквы на расстоянии, немного большем фокусного расстояния, чтобы видеть её действительное, увеличенное, обратное изображение. Это изображение отыскивают при помощи скаки методом параллакса и рассматривают затем через окуляр, как через лупу. Чем ближе находится буква к глазному фокусу объектива, тем больше будет увеличение, вместе с тем становятся всё заметнее искажения, поэтому чрезмерно большого увеличения добиваться не следует.

3) Труба Галилея. Труба Галилея отличается от ряда других оптических инструментов тем, что промежуточного действительного изображения рассматриваемого предмета в ней нет, так как пучки сходящихся лучей, идущих из объектива, до своего пересечения встречают рассеивающую линзу, которая служит окуляром. Таким образом, труба Галилеи сразу даёт мнимое и прямое изображение, что делает её значительно короче трубы Кеплера.

Для получения модели трубы Галилея нет надобности собираять установку на столе. Достаточно взять в руки (за подставки) сложенные вместе рассеивающую и длиннофокусную собирающую линзы и, приставив рассеивающую линзу к глазу, постепенно отодвигать собирающую линзу вдоль оптической оси, пока удалённый предмет, на который направлена оптическая ось системы линз, не станет отчаянно видимым.

С линзами, указанными в списке оборудования, увеличение получается равным около 1,5. В этом нетрудно убедиться, если смотреть одновременно вторым глазом непосредственно на предмет и сравнивать его величину с величиной изображения.

53. Сборка модели проекционного фонаря

Оборудование. 1) Лента измерительная (3). 2) Жгут (19). 3) Батарея аккумуляторов (31). 4) Лампочка на подставке с колпачком (32). 5) Ключ (35). 6) Провода соединительные (малый набор) (41). 7) Экран белый (52). 8) Линза двояковыпуклая короткофокусная (53). 9) Линза двояковыпуклая длиннофокусная (54). 10) Держатель для диапозитива (59) с диапозитивом 45 мм × 60 мм (рис. 140).

Основными частями установки являются источник света, конденсор, диапозитив, объектив с диафрагмой и экран¹. В качестве конденсора берётся короткофокусная линза. Применение конденсора устраняет необходимость

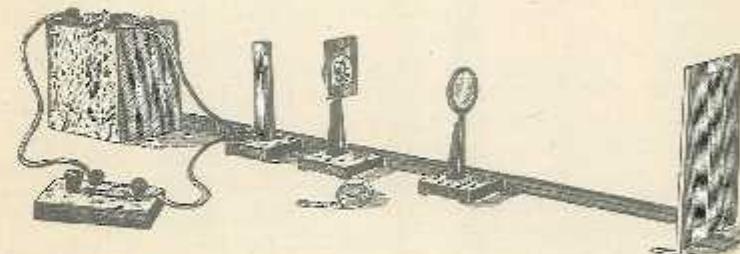


Рис. 140. Оборудование к работе № 53

иметь объектив с большой светосилой, поэтому для улучшения качества изображения объектив обычно диафрагмируют. В нашей установке объективом будет служить длиннофокусная линза, на которую надо надеть листок непрозрачной бумаги с вырезанным в нём круглым отверстием диаметром около 10 мм.

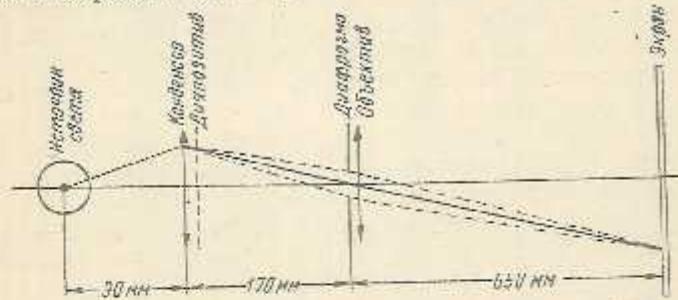


Рис. 141. Схема расположения приборов для сборки проекционного фонаря

Для сборки установки вдоль жолоба располагают лампочку с нацеленным на неё колпачком (щелью вверх), короткофокусную линзу с диапозитивом, насыженным с помощью жестяной скобочки, длиннофокусную линзу с диафрагмой и экран.

¹ Иногда для лучшего использования источника света применяют ещё рефлектор.

На рис. 141 изображена схема установки; на ней указаны приблизительно расстояния между отдельными деталями. Главные фокусные расстояния линз равны 70 мм и 135 мм.

Присоединяют лампочку, через ключ к батарее аккумуляторов и замыкают цепь. Чтобы изображение на экране получилось резким, объектив передвигают вдоль жголба в ту или другую сторону.

Полученное таким образом на экране изображение диапозитива может оказаться освещённым неравномерно. Тогда передвигают немного конденсор и источник света и добиваются наиболее яркого и равномерно освещённого поля изображения. Это будет в том случае, когда действительное изображение нити, полученное при помощи конденсора, попадает в отверстие диафрагмы.

В своём отчёте учащиеся должны дать схему собранной установки, показать на ней ход лучей и расстояния между деталями.

Заключение

Широкое применение в нашей средней школе фронтальных лабораторных работ по физике в настоящее время является необходимостью. Оно должно привести, согласно современным методическим взглядам, проверенным практикой, к значительному и резкому повышению качества обучения физике; оно будет служить серьёзной опорой для борьбы не на словах, а на деле с «меловым» методом преподавания физики, насаждающим формализм в знаниях учащихся, т. е. отсутствие глубокого понимания самой сущности многих физических явлений. На фронтальных занятиях учащимся прививаются правильные начальные практические навыки, которые в дальнейшем могут нормально развиваться и совершенствоваться.

Всё оборудование, перечисленное в главе I, весьма простое по конструкции, в настоящее время уже освоено и выпускается промышленностью. Обращено серьёзное внимание на усовершенствование технологии и техники изготовления простейших лабораторных приборов и принадлежностей, на накопление в этом отношении практического опыта. Принимаются все меры к тому, чтобы каждая изготовленная деталь была предельно дешева при достаточно высоком качестве и чтобы каждая семилетняя

и средняя школа могла сначала приобрести комплект оборудования для фронтальных работ I очереди, а в следующие 2–3 года — оборудование II и III очередей, не растягивая организационный период на большие сроки.

При закупке в торговой сети выпущенного промышленностью фронтального оборудования на практике могут встретиться несколько случаев.

В одном из них семилетняя или средняя школа, а также педагогические и учительские институты, институты усовершенствования учителей могут сразу заказать полный комплект оборудования. В другом — оборудование только I очереди, а затем II и III, или двух первых очередей и затем III. В третьем случае, который, вероятно, будет встречаться чаще других, преподаватели физики будут подбирать комплект лабораторного оборудования для школы самостоятельно по отдельным деталям, сообразуясь с наличием приборов уже имеющихся в физическом кабинете.

Однако выпущенные промышленностью и закупленные школой учебные лабораторные приборы могут принести максимальную пользу лишь при известной подготовленности учителей физики по методике и технике проведения фронтальных лабораторных занятий.

Молодые начинающие преподаватели легко могут получить такую подготовку в педагогических и учительских институтах, где каждая лаборатория методики физики должна располагать полным комплектом описанного выше оборудования. Это даст возможность оканчивающим студентам — будущим преподавателям — сначала поупражняться в сборке всех установок лабораторных работ в институте (на занятиях по методике и технике физического эксперимента), а затем познакомиться с проведением фронтальных работ с этим оборудованием непосредственно в школьных условиях.

Следует заметить, что весь комплект оборудования, описанного в первой главе, очень портативен. Приборы и принадлежности для проведения одной или двух работ без затруднения можно перенести в случае необходимости из института в школу, где студенты-практиканты дают уроки.

Таким образом, педагогическая практика по постановке лабораторных работ может проходить нормально даже в тех школах, где такого оборудования пока ещё нет.

Преподаватели же, имеющие стаж, но не проводившие лабораторных занятий по физике на один фронт, могут практически познакомиться с комплексом оборудования через институты усовершенствования учителей, прежде чем приступить к подбору оборудования в своих школьных физических кабинетах.

Имея полный комплект лабораторного оборудования в институте усовершенствования, можно организовать самостоятельное знакомство с ним учителей Физики в течение целого года или устроить специальные краткосрочные курсы по методике и технике лабораторного физического эксперимента.

Предварительное практическое знакомство с комплексом оборудования даёт возможность преподавателям, во-первых, подобрать в своей школе все необходимое для фронтальных занятий значительно практичнее, т. е. с использованием уже имеющихся приборов и физическом кабинете, во-вторых, вести фронтальные занятия с самого начала с максимальным возможным успехом.

При правильной постановке дела большую помощь преподавателям физики в практическом знакомстве с описанным комплексом фронтального оборудования могут оказать и районные педагогические кабинеты через своих методистов.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие к 4-му изданию	2
Введение	3
Глава I. Оборудование для фронтальных лабораторных занятий	10
Глава II. Система хранения оборудования и организация фронтальных занятий	53
Глава III. Методика проведения фронтальных лабораторных занятий	62
Глава IV. Описание лабораторных работ	69
Работы для VI и VII классов	70
Измерение и вычисление	70
1. Измерение длины, определение площади и объема	76
2. Измерение мезуркой ёмкости сосуда и объема твердого тела	77
3. Взвешивание на рячажных весах	79
4. Градуирование пружины и измерение силы динамометром	81
5. Определение удельного веса гибких и жестких тел	83
6. Выяснение условия плавания тела в жидкости	85
7. Измерение силы тяжести и сравнение её с весом тела	86
8. Выяснение условий равновесия сил на рычаге	87
9. Определение к.п.д. при подъёме тела по наклонной плоскости	89
10. Проверка теплового баланса при смешении воды различной температуры	90
11. Определение к.п.д. нагревателя	92
12. Наблюдение за нагреванием и плавлением парафина и построение графика температуры	93
13. Наблюдение за нагреванием и кипением воды и построение графика температуры	97
14. Сборка электрической цепи	99
15. Проверка закона Ома для участка цепи	101
16. Определение сопротивления при помощи амперметра и вольтметра	103
17. Определение мощности, потребляемой электродвигателем или электрической лампочкой	105
18. Наблюдение магнитных явлений	106
19. Изучение магнитных свойств катушки с током	108
20. Сборка и применение электромагнита	109
21. Изучение отражения света от плоского зеркала	111
22. Изучение преломления света в плоскопараллельной пластинке и призме	113
23. Получение действительных изображений при помощи линзы	114
Работы для VIII—X классов	115
Элементарный анализ погрешностей	115
24. Изучение закона равноускоренного движения по наклонной плоскости	119

Стр.

25. Изучение движения тела по параболе	120
26. Сложение двух сил, действующих под углом друг к другу	122
27. Сложение параллельных сил	125
28. Проверка правила момента сил	126
29. Определение коэффициента трения	128
30. Определение к. п. д. полиспаста	131
31. Определение плотности твёрдых тел и жидкостей гидростатическим взвешиванием	133
32. Определение плотности жидкости гидрометром	134
33. Проверка формулы центростремительной силы	(37)
34. Определение величины земного ускорения	140
35. Определение удельной теплоёмкости вещества	141
36. Определение удельной теплоты плавления льда	143
37. Проверка закона Бойля—Мариотта	144
38. Проверка формулы газового состояния	147
39. Определение поверхностного натяжения жидкости	149
40. Изучение распределения напряжений на последовательных участках цепи	151
41. Исследование параллельного соединения проводников	153
42. Определение в.д.с. и внутреннего сопротивления источника тока	154
43. Определение теплового эквивалента циркуля	158
44. Определение электрохимического окислительно-воздействия меди	158
45. Наблюдение взаимодействия магнита и тока	159
46. Изучение электромагнитной индукции	161
47. Построение изображения в плоском зеркале	163
48. Определение показателя преломления стекла	165
49. Определение фокусного расстояния выпуклого зеркала	169
50. Определение фокусного расстояния собирающей линзы	171
51. Определение фокусного расстояния рассеивающей линзы	174
52. Сборка моделей трубы Кеплера, микроскопа и трубы Галилея	177
53. Сборка модели проекционного фонаря	178
Заключение	180

А. А. Покровский и Б. С. Зворыкин,
Фронтальные лабораторные занятия по физике в средней школе

Редактор Г. П. Малышев, Обложка художника В. Н. Гуревича,
Художественный редактор И. А. Волович. Технический редактор М. Д. Петрова.

Сдано в набор 14/1 1964 г. Подписано к печати 7/IV 1964 г. 34×103^{1/2} Н.П. № 15943
Уч.-зак. л. 8,72. Тираж 25 тыс. экз. А-02226.

Ученик: Московский, Чистые пруды, 8.

Зак. № 1051.

З-б типография „Печатный Двор”, им. А. М. Горького. Союзполиграфпрогресс
Издательство Министерства культуры СССР. Ленинград, Гатчинская, 26.

Цена без переплета 2 р. 35 к., переплёт 50 к.