

93
Ф 255
Д. Д. ГАЛАНИН Е. Н. ГОРЯЧКИН
С. Н. ЖАРКОВ Д. И. САХАРОВ
А. В. ПАВША

**ФИЗИЧЕСКИЙ
ЭКСПЕРИМЕНТ
В ШКОЛЕ**

ТОМ
VI

УЧПЕДГИЗ

1941

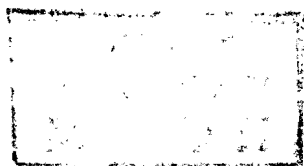
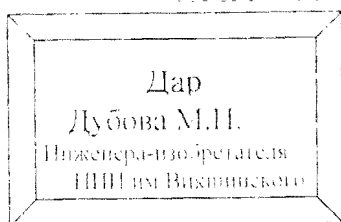
Д. Д. ГАЛАНИН, Е. Н. ГОРЯЧКИН, С. Н. ЖАРКОВ,
А. В. ПАВША, Д. И. САХАРОВ

ФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ШКОЛЕ

ТОМ VI

АКУСТИКА. ОПТИКА

Под редакцией
Д. Д. ГАЛАНИНА
и С. Н. ЖАРКОВА



ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УЧЕБНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
НАРКОМПРОСА РСФСР

МОСКВА * 1941

ПРЕДИСЛОВИЕ.

VI том содержит описание опытов по акустике, по оптике, по фотоэффекту, по телевидению.

Каждый том подразделяется на главы, обнимающие целые самостоятельные разделы курса физики. Каждая глава разбивается на параграфы, содержащие описание нескольких опытов на одну определенную тему; среди этих опытов имеются варианты, требующие более сложной аппаратуры, и варианты упрощенного типа; опыты, которые могут быть использованы в качестве лабораторных работ, выполняемых самими учащимися, отмечены звездочкой (*), поставленной после номера опыта. Нумерация и заглавия опытов набраны **жирным шрифтом**.

После заглавия опыта приведен (мелким шрифтом) перечень приборов и принадлежностей, необходимых для осуществления описываемого опыта. Если среди приборов повторяются указанные ранее в одном из предыдущих опытов, то после номера таких приборов идет ссылка на соответствующий опыт, например: (1—5) см. опыт 4.

Некоторые опыты, в свою очередь, разбиты на несколько случаев; заглавия этих случаев набраны **разрядкой**.

Каждый том имеет свою сквозную нумерацию параграфов, поэтому при ссылках на какой-нибудь опыт указывается: номер тома (римской цифрой), номер параграфа (**жирным шрифтом**) и номер опыта, например: см. том IV, § 24, 6.

Если ссылка дается в пределах одного и того же тома, то номер тома не указывается. При ссылках в пределах одного параграфа может быть пропущен и номер параграфа, например: „см. опыт 2“ или „в опыте 3...“

В VI томе написали: главы 1—3—Д. И. Сахаров, главы 4, 16, 17 и § 74—Е. Н. Горячкин, главы 5 (§ 16 и 19), 11, 14 и § 75—А. В. Павша, главы 5 (§ 20), 6, 7, 8, 9, 10 и 13 (§ 53, 55 и 56)—С. Н. Жарков, § 1 опыты 5 и 6, § 2 опыт 8, § 7 опыты 4, 5, 6, главы 12, 13 (§ 53), 15—Д. Д. Галанин.

Буквенные обозначения, встречающиеся в книге:

l — длина,	V — объем,
b — ширина,	c — скорость света,
h — толщина, высота,	F — фокусное расстояние,
r — радиус,	$гц$ — герц,
d — диаметр,	$мгн$ — миллигенри.

19 октября 1938 г.

Составители

АКУСТИКА

ИСТОЧНИКИ И ПРИЕМНИКИ ЗВУКА.

§ 1. Источники звука.

1. Введение. В настоящем параграфе сперва (1—10) идет речь об источниках звука, служащих для описанных ниже опытов по акустике. Далее (11—15) описаны источники звука, интересные с точки зрения процессов, вызывающих звук.

Предварительно даются краткие сведения об обозначениях музыкальной акустики.

1) Названия интервалов и соответствующие им отношения частот:

Унисон	1:1	Малая терция	6:5
Октава	2:1	Секста	5:3
Квинта	3:2	Дуодецима	3:1
Кварта	4:3	Тон (секунда)	9:8 или 10:9
Большая терция	5:4	Полутон	16:15.

2) Названия и обозначения нот, составляющих музыкальную гамму:

- 1) *do* или *ut* *c*
- 2) *re* *d*
- 3) *mi* *e*
- 4) *fa* *f*
- 5) *sol* *g*
- 6) *la* *a*
- 7) *si* *h*



Рис. 1. Клавиатура рояля и название октав.

Ноты, на полтона более высокие, обозначаются прибавкой *is* (например нота на полтона выше *f* обозначается *fis*); ноты, на полтона более низкие, обозначаются прибавкой *es* (например *des*).

3) Названия и обозначения октав. На рисунке 1 показана клавиатура рояля с указанием названий октав. Мы будем употреблять следующие способы обозначения нот различных октав:

Контроктава	$C_1, D_1, E_1, F_1, G_1, A_1, H_1.$
Большая октава	$C, D, E, F, G, A, H.$
Малая октава	$c, d, e, f, g, a, h.$
Первая октава	$c_1, d_1, e_1, f_1, g_1, a_1, h_1.$
Вторая октава	$c_2, d_2, e_2, f_2, g_2, a_2, h_2.$
Третья октава	$c_3, d_3, e_3, f_3, g_3, a_3, h_3.$

На рисунке 2 показаны обозначения нот A_1, A, a, a_1, a_2 .

4) Физический и музыкальный строй гаммы.

В физическом строе различным нотам соответствуют следующие частоты:



C_1-32	$гц$	g_1-384	$гц$
$C-64$	"	$a_1-426\frac{2}{3}$	"
$c-128$	"	c_2-512	"
$g-192$	"	e_2-640	"
c_1-256	"	g_2-768	"
e_1-320	"	c_3-1024	"
$f_1-341\frac{1}{3}$	"	c_4-2048	"

Приборы по музыкальной акустике (камертоны, резонаторы Гельмгольца и т. п.) строятся обычно на частоты физического строя.

Рис. 2. Обозначения нот A_1, A, a, a_1 и a_2 .

В музыкальном строе основной нотой считается a_1 (la первой октавы). Согласно стандарту ОСТ 7710, частота, соответствующая ноте a_1 , должна равняться 440 гц. Камертоны, дающие a_1 и служащие для настройки, должны давать эту частоту при 20° С. Отметим, что до введения этого стандарта камертоны a_1 строились на частоту 435 гц. Приводим таблицу частот, соответствующих различным нотам рояля или пианино (так называемая темперированная гамма) при настройке a_1 , на частоту 435 гц и 440 гц (числа округлены до 1 гц):

1) $C - 65$ гц	2) $C - 65$ гц
$c - 129$ "	$c - 131$ "
$g - 194$ "	$g - 196$ "
$c_1 - 259$ "	$c_1 - 262$ "
$e_1 - 326$ "	$e_1 - 330$ "
$f_1 - 345$ "	$f_1 - 349$ "
$g_1 - 388$ "	$g_1 - 392$ "
$a_1 - 435$ "	$a_1 - 440$ "
$c_2 - 512$ "	$c_2 - 523$ "
$e_2 - 652$ "	$e_2 - 659$ "
$g_2 - 775$ "	$g_2 - 784$ "
$c_3 - 1035$ "	$c_3 - 1046$ "
$c_4 - 2069$ "	$c_4 - 2093$ "



Рис. 3. Камертон для настройки.

2. Камертон. В физическом кабинете надо иметь пару простых камертонов, употребляемых для настройки музыкальных инструментов: la первой октавы (a_1) и do второй октавы (c_2) (рис. 3).

Для демонстрации и для практических работ такие камертоны мало пригодны вследствие малой мощности и быстрого затухания. Для этих целей нужны камертоны более массивные (масса 100—300 г). Обычно они монтируются на так называемых резонансных ящиках (рис. 4). Резонансные ящики бывают открытые с одной стороны (рис. 4, *a*) или с двух сторон (рис. 4, *b*). В первом случае длина внутренней полости ящика камертона приблизительно равна четверти

длины звуковой волны в воздухе для данного камертона. Во втором случае она приблизительно равна половине длины волны.

Резонансные ящики обычно снабжаются войлочными или резиновыми подставками (с целью избежать передачи звука столу, на котором они помещены).

Значение резонансного ящика у камертона можно показать, возбуждая камертон, снятый с резонансного ящика, или закрывая отверстие ящика рукой. В этих случаях звук заметно слабеет. Кроме усиления звука, резонирующая полость действует подобно рупору, направляя воздушные волны преимущественно в одну сторону.

Передача колебаний от камертона к резонансному ящику совершается посредством ножки камертона. Дело в том, что при колебаниях камертона ветви его то сближаются, то удаляются (рис. 5). При этом ножка камертона то поднимается, то опускается и вследствие этого заставляет дрожать верхнюю стенку резонансного ящика. Вследствие большой массивности ножки амплитуда ее колебаний значительно меньше, чем амплитуда концов ветвей камертона.

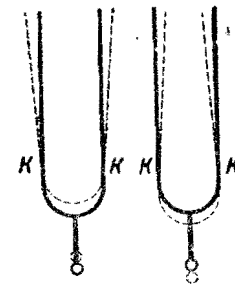
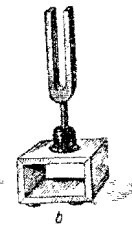
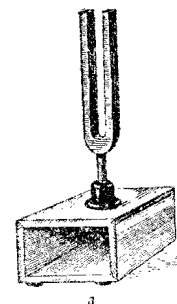


Рис. 4. Камертоны на резонансных ящиках: *a* — для низких тонов; *b* — для высоких тонов.

Рис. 5. Схема колебаний камертона (основной тон); *KK* — узлы.

Камертона ветви его то сближаются, то удаляются (рис. 5). При этом ножка камертона то поднимается, то опускается и вследствие этого заставляет дрожать верхнюю стенку резонансного ящика. Вследствие большой массивности ножки амплитуда ее колебаний значительно меньше, чем амплитуда концов ветвей камертона.

В физический кабинет следует прежде всего приобрести пару камертонов на ящиках, настроенных в унисон на тон a_1 или c_2 . К ним прилагаются обычно грузики (рис. 6), которые при помощи винта могут быть закреплены на любой высоте на одной из ветвей камертона (в случае отсутствия грузика его можно заменить коротким отрезком толстостенной резиновой трубки, с таким внутренним диаметром, чтобы он с некоторым трудом надевался и передвигался по ветви камертона).

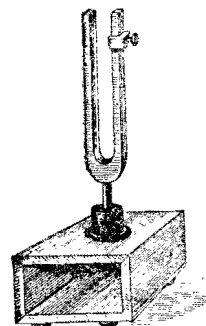


Рис. 6. Камертон с грузиком.

Кроме двух камертонов, настроенных в унисон, желательно иметь несколько камертонов различной высоты (c_2, d_2 и т. д.) для опытов с резонансами Гельмгольца и др.

Возбуждать колебания камертона можно ударом билки (§ 1, 3) или посредством смычка (§ 1, 4). Камертоны с тонкими ветвями, употребляемые для записывания колебаний, можно возбуждать, сближая их ветви (пальцами) и отпуская их. Недопустимо ударять камертоны о твердые, в особенности о металлические предметы. При длительном бездействии полезно с целью предохранения от ржавления смазывать камертоны вазелином.

Возбуждать колебания камертона можно ударом билки (§ 1, 3) или посредством смычка (§ 1, 4). Камертоны с тонкими ветвями, употребляемые для записывания колебаний, можно возбуждать, сближая их ветви (пальцами) и отпуская их. Недопустимо ударять камертоны о твердые, в особенности о металлические предметы. При длительном бездействии полезно с целью предохранения от ржавления смазывать камертоны вазелином.

Маленькие камертоны для настройки музыкальных инструментов возбуждают, ударяя их о колено.

Рис. 7.
Билки.

3. Билка. Билка служит для возбуждения колебаний камертона ударом. Ее можно устроить из резиновой пробки (или из куска резиновой велосипедной педали), насадив пробку на деревянный или металлический стержень или, лучше, на спицу с рукояткой (рис. 7). Чтобы возбудить камертон, ударяют билкой по верхнему концу одной из ветвей камертона. Сильно бить по камертону на резонансном ящике не надо — можно выломать камертон из ящика.

4. Смычок. Чтобы приводить в колебание камертоны и струны, очень удобно пользоваться смычком. Для этого употребляется контрабасный смычок (его, а также и канифоль для натирания смычка, можно купить в магазинах музыкальных инструментов). Перед употреблением смычок натирают несколько раз о кусок канифоли. Возбуждение камертонов производится так (рис. 8): прижав смычок к обеим ветвям камертона, поставленного на резонансный ящик, ведут смычок от себя сначала медленно, стараясь возбудить слабый основной

тон камертона. Как только это достигнуто, следует ускорить движение смычка и, получив сильный звук, по возможности быстро отвести смычок в сторону. Подобным же образом производится возбуждение струн.

Самодельный смычок (по Дубровскому) изготавливается из тонкой деревянной линейки ($l = 50$ см), к которой приклеиваются наискось срезаемые кусочки дерева с пропилами, служащими для закрепления пучка конских волос (рис. 9).

5. Сирена Оппелта. Простая сирена представляет собой металлический диск толщиной в 2—3 мм, диаметром в 25—40 см, с несколькими рядами отверстий. В изготовляющихся сейчас сиренах имеется 4 ряда с числом отверстий 24, 30, 36, 48 (рис. 10).

Диск должен иметь по середине отверстие для надевания на ось; ось сирены должна подходить к центробежной машине. Можно вместо оси к диску сирены сделать муфту с отверстием, подходящим к оси электрического мотора с изменяющимся числом оборотов

(мотор со щетками, мощность $\frac{1}{10} - \frac{1}{5}$ квт, число оборотов в минуту до 3000). Муфта должна иметь винт для закрепления сирены на оси. Муфту к диску можно припаять (рис. 11). Звук от сирены Оппелта получается, если диск своими отверстиями пересекает струю воздуха. Струя воздуха получается продуванием ртом или мехом (акустический мех или мех от стеклодувной лампы — мех Флетчера) (§ 1, 10) через трубку.

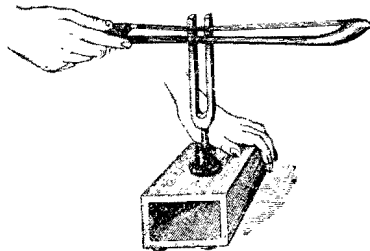


Рис. 8. Возбуждение камертона смычком.



Рис. 9. Самодельный смычок.

К сирене обычно прилагается трубка, разветвляющаяся на четыре сопла (рис. 10, справа). Расстояние между соплами соответствует расстоянию между рядами отверстий. Удобнее получать звук, продувая воздух через стеклянную трубку, которая изготавливается следующим образом. Отрезают кусок трубки ($d = 8$ мм) с довольно толстыми стенками длиной в 30 см. Посредине трубку растягивают, нагревая при непрерывном вращении в пламени газовой горелки или бензиновой лампы. Диаметр узкой части доводят до 3 мм снаружи. Затем трубку охлаждают и разрезают посредине узкую часть. Внешние концы, которые нужно брать в рот, оплавливают; тонкие концы оставляют неоплавленными или оплавливают настолько осторожно, чтобы в конце не получилось сужения отверстия.

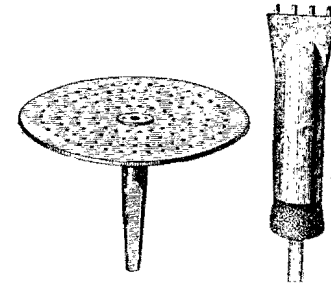


Рис. 10. Сирена Оппелта и трубка с 4 соплами.

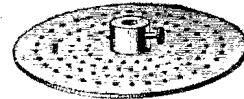


Рис. 11. Сирена с муфтой.

На стеклянную трубку удобно надеть кусок ($l = 50$ см) резиновой трубки.

6. Сирена Каньяр-Ла-Тура (рис. 12). Диск сирены Каньяр-Ла-Тура приводится в движение струей воздуха, продуваемого через сирену. Отверстия диска имеют значительную толщину (5—6 мм), делаются наклонно к плоскости диска (рис. 13); диск примыкает к ровной поверхности основания цилиндра, тоже имеющего отверстия, просверленные также наклонно. Число отверстий подвижного диска и неподвижного одинаково. При продувании воздуха диск приходит во вращение, причем все отверстия сразу открываются и закрываются. Поэтому данная сирена дает гораздо более громкий звук и требует значительно большего количества воздуха, чем простая сирена Оппелта. Сирена Каньяр-Ла-Тура требует для получения звука хорошего меха или нагнетающего насоса. Можно приводить в действие сирену от баллона со сжатым газом. Без меха можно получить звук от сирены, если ее раскрутить, проводя пальцами по оси, а затем подуть в нее ртом.

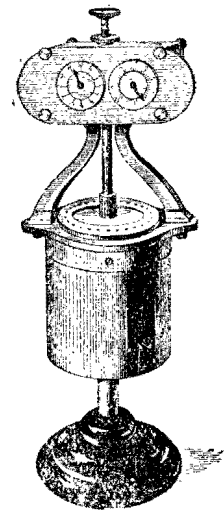


Рис. 12. Сирена Каньяр-Ла-Тура.



Рис. 13. Устройство отверстий в дисках сирены Каньяр-Ла-Тура.

Громкость звука зависит, главным образом, от различной чувствительности уха. Сирена является источником звука с непрерывно меняющимся числом колебаний, и эта ее особенность очень характерно воспринимается нашим ухом при резком увеличении или уменьшении числа оборотов диска (числа колебаний).

Сирена Каньяр-Ла-Тура весьма часто снабжается счетчиком оборотов диска (рис. 14); без счетчика она не имеет особых преимуществ перед сиреной Оппелта.

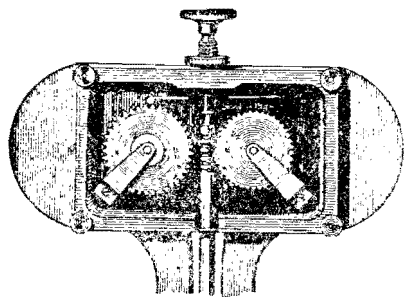


Рис. 14. Устройство счетного механизма сирены Каньяр-Ла-Тура.

Счетчик имеет приспособление для включения и выключения во время вращения диска. Счетчик представляет собой весьма delicate механизм, поэтому какое-либо его исправление должно быть поручаемо опытному мастеру (часовщику или телефонному механику). Равным образом смазка счетчика должна производиться специальным часовым маслом, а не машинным.

7. Органные трубы. Органные трубы в физических кабинетах бывают

обычно деревянные, квадратного сечения. Они бывают язычковые или со щелью. На рисунке 15 показано устройство язычковой трубы. Воздух входит в полость, отделенную от трубы металлической стенкой. В стенке сделан прорез, закрытый металлическим язычком *К*. При продувании воздуха язычок колеблется, периодически пропуская скопившийся воздух и снова закрывая отверстие. Получающиеся толчки воздуха возбуждают колебания в трубе *С*. Чтобы получился сильный звук, необходим резонанс между колебаниями воздуха в трубе *С* и язычка *К*. Для получения резонанса изменяют период колебания язычка посредством рычажка *Л*, изменяющего длину колеблющейся части язычка.

Обычно одна из стенок камеры делается стеклянной, чтобы можно было видеть ее устройство.

В органичных трубах со щелью продуваемый воздух сперва поступает в полость *А* (рис. 16), затем вырывается из узкой щели *В*. Перед щелью находится узкий деревянный клин *С*. При ударе струи воздуха о клин образуются вихри. Они поочередно отделяются то с внутренней, то с внешней стороны. Внутренние вихри вызывают колебания воздуха в трубе, а эти последние, в свою очередь, регулируют отделение вихрей. Возникающие таким образом стоячие волны в трубе устанавливаются тем легче, чем ближе совпадают периоды первоначально возникающих вихрей с периодом воздушного столба.

Чтобы удобно было рассмотреть устройство щели, иногда в боковой стенке трубы делают дверцу, запирающуюся на крючок (рис. 16).

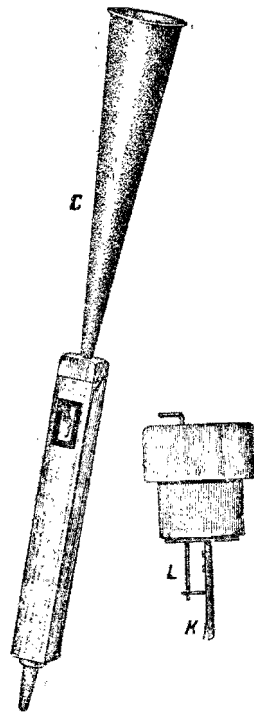


Рис. 15. Язычковая труба. Справа показано внутреннее устройство трубы: *К* — язычок, *Л* — приспособление для регулировки длины язычка.

Органные трубы бывают открытые и закрытые. При одинаковой длине основной тон закрытой трубы приблизительно на октаву ниже основного тона открытой трубы.

8. Свисток. В физическом кабинете надо иметь пару обыкновенных свистков (продаются в охотничьих и спортивных магазинах). Применимы также „манилки“ для птиц. Тройные свистки („рефери“) не нужны.

Самодельные свистки изготавливаются из полой деревянной или металлической трубки ($d = 0,8 - 1 \text{ см}$). Одно из отверстий закрывается пробкой наглухо, другое — пробкой, срезанной, как показано на рисунке 17, *а*. На расстоянии 1 см от этого конца делается вырез (рис. 17, *б*).

Для некоторых опытов источником звука может служить любая металлическая закрытая с одного

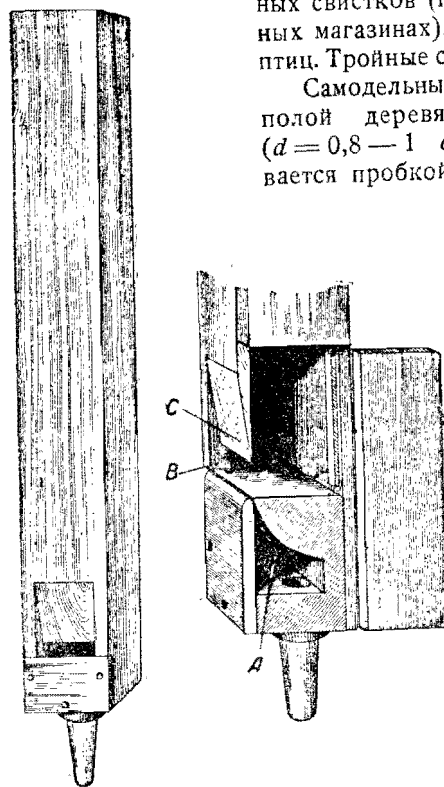


Рис. 16. Органная труба со щелью. Справа показана труба с дверцей, позволяющей показать устройство щели.

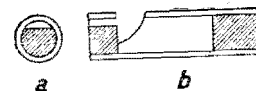


Рис. 17. Самодельный свисток.



Рис. 18. Получение свиста с помощью ключа.

конца трубочка ($d = 3 - 4 \text{ мм}$, $l = 5 - 15 \text{ мм}$), мимо которой с силой продувают воздух. Можно для этой цели воспользоваться ключом (рис. 18).

9. Свисток Гальтона. 1) Свисток Гальтона. 2) Резиновая груша с резиновой трубкой.

Свисток Гальтона (рис. 19 и 20) представляет собой небольшую трубку, внутри которой посредством микрометрического винта передвигается металлический поршень. Против трубки находится сопло в виде кругового отверстия. При продувании воздуха свисток издает тон, частота которого повышается при уменьшении глубины трубки посредством передвигания поршенька.

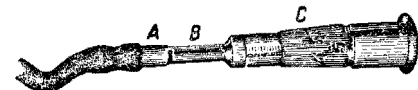


Рис. 19. Свисток Гальтона: *А* — сопло; *В* — полость свистка. Изменение высоты звука производится вращением барабана *С*.

Частоту колебаний при определенном положении поршенька можно грубо определить по длине колеблющегося столба воздуха, которую можно отсчитать по шкале, имеющейся на оправе свистка. Можно принять, что длина l равна четверти длины соответствующей звуковой волны. В таком случае частота

$$f = \frac{c}{4l},$$

где c — скорость звука в воздухе. К более дорогим приборам прилагается таблица, указывающая частоту тонов, получающихся при различных положениях поршенька.

10. Приборы для дутья. Для продувания воздуха сквозь сирены, органные трубы, свистки и т. п. применяются следующие приборы.

1) Резиновая груша для пульверизатора состоит из баллона A из жесткой резины, внутри которого имеются впускной и выпускной резиновые клапаны (рис. 21). Баллон B служит для придания струе воздуха равномерности. Такая груша удобна для продувания воздуха сквозь свистки. Чтобы освободить руки экспериментатора, можно сделать приспособление для приведения груши в действие ног (рис. 22).

2) Резиновая груша медицинская (рис. 23) может быть употреблена для тех же целей. Чтобы облегчить пользование ею, в ее дне делают отверстие ($d = 2$ мм), которое при сжатии груши закрывают пальцем, а при засасывании воздуха открывают.

3) Ножной акустический мех (рис. 24) употребляется для проду-

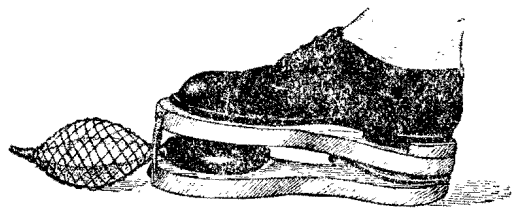


Рис. 22. Приспособление для приведения резиновых груш в действие ног.

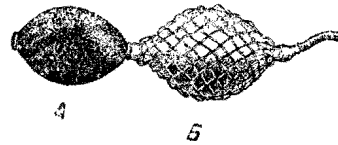


Рис. 21. Резиновые груши для пульверизатора.



Рис. 23. Медицинская груша с отверстием в дне.

вания воздуха сквозь сирены и органные трубы. Он состоит из двух камер: одна со впускным и выпускным клапанами служит для накачивания воздуха во вторую камеру. Клапаны — деревянные, обитые кожей дощечки, прижимаемые к отверстиям пружинами или просто тяжестью. Другая камера служит для накопления воздуха и для равномерной подачи воздуха к соплам. Она представляет собой мех,

сжимаемый помещенной на ее верхнем основании тяжестью (металлическая пластина).

Вместо специального акустического меха можно употреблять мех для газовой горелки (мех Флетчера, рис. 25).

4) Акустический стол. Акустическим столом называется стол, на котором размещены ножной мех, действующий при помощи ножной педали, и несколько сопел для дутья воздуха в сирены и органные трубы (рис. 26). Около каждого сопла расположены рычажки для их переключения.

Для получения более равномерного дутья следует, быстро наполнив воздухом вторую камеру, поддерживать ее полной, делая мелкие частые движения педалью.

Преимущество акустического стола перед простым мехом заключается в возможности дуть сразу в несколько труб.

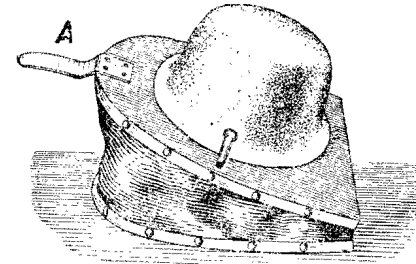


Рис. 24. Ножной акустический мех: А — педаль.

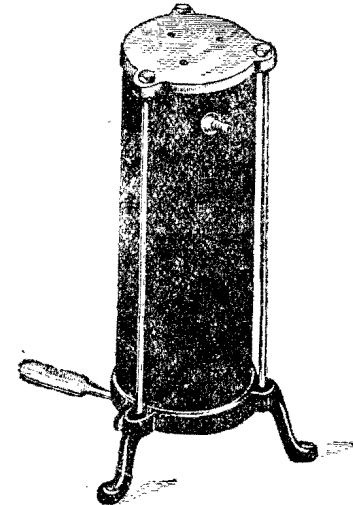


Рис. 25. Мех Флетчера.

5) Баллон со сжатым газом. Очень удобно для дутья в трубы, сирены и т. п. употреблять баллоны со сжатым газом. Баллон для углекислого газа изображен на рисунке 27. Такие баллоны делают из цельнотянутых стальных труб. На баллоне выбиты надписи: емкость в литрах, год пробы и пробное давление. Через пять лет нужно вновь подвергнуть баллон пробному давлению.

Верхняя горловина баллона имеет коническую нарезку A , в которую ввинчивается запорный вентиль B . На рисунке 28 вентиль показан отдельно.

К вентилю по снятии предохранительной гайки иногда присоединяется манодетандер (редукционный вентиль, рис. 29). В манодетандере можно поддерживать постоянное давление в пределах до $1-2 \frac{k\Gamma}{cm^2}$.

Этим избегается опасность пустить в прибор слишком сильный ток газа при неосторожном поворачивании маховичка запорного вентиля. Давление в манодетандере регулируется ручкой K .

При пользовании баллоном надо присоединить кишку к манодетандеру. Сперва присоединяют манодетандер к баллону. Осторожно повернув запорный вентиль баллона, пускают газ в манодетандер. Манометр I показывает давление газа в баллоне. Затем медленно поворачивают рукоятку K до тех пор, пока манометр II не покажет

нужного давления газа (для опытов с органными трубами, сиреной и т. п. требуется давление $\frac{1 \text{ кг}}{2 \text{ см}^2}$). Затем присоединяют резиновую трубку, ведущую к органной трубе, сирене и т. п. Поворачивая маховичок *L*, пускают газ.

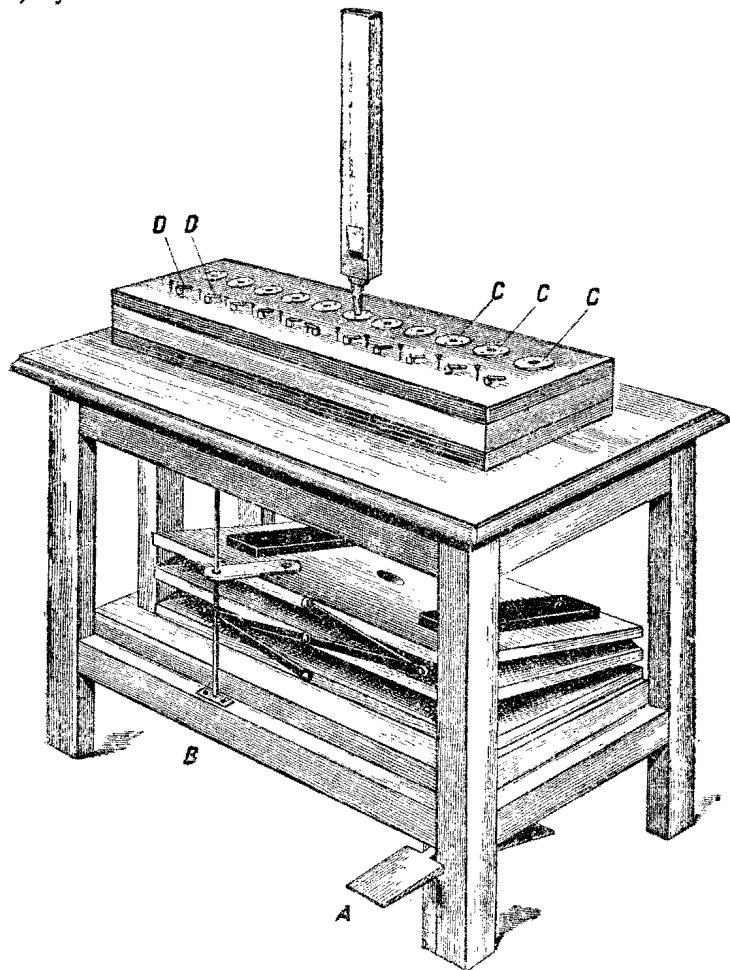


Рис. 26. Акустический стол: *A* — педаль; *B* — мех; *CC* — сопла; *DD* — рычажки для перекрытия сопел.

При отсутствии манодетандера кишку можно присоединить прямо к запорному вентилю.

В случае нужды в двух струях газа (например для двух органных труб) пользуются стеклянными тройниками.

Возможно также пользоваться баллонами для углекислого газа, употребляемыми для газирования фруктовых и минеральных вод.

При опытах с баллонами со сжатыми газами необходимы следующие предосторожности: 1) баллон должен иметь свидетельство о произве-

денном в нужный срок испытании на давление, в 1,5—2 раза большее рабочего давления; 2) никогда не следует ставить баллон близко к источникам тепла, выставлять его под яркие лучи солнца и т. п.; 3) при перевозке и переноске баллонов обязательно снимать манодетандер и надевать колпак, предохранять от толчков, падения и т. п.

11. Звуковой генератор и другие источники звука. Кроме перечисленных источников звука, для некоторых опытов полезно иметь в кабинете:

1) Звуковой генератор (т. V, § 33, 4).

В некоторых случаях этот прибор совершенно незаменим. Для получения сильных звуков звуковой генератор присоединяют к усилителю.

2) Зуммер (т. III, § 11, 9).

3) Духовые музыкальные инструменты (в частности флейта с непрерывно меняющейся высотой звука).

4) Автомобильные гудки и т. д.

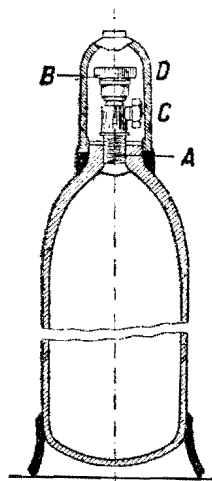


Рис. 27. Баллон для хранения сжатого газа: *A* — винтовая нарезка; *B* — запорный вентиль; *C* — штуцер для привинчивания манодетандера или трубки для присоединения резиновой кишки; *D* — колпак.

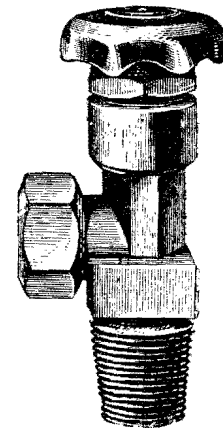


Рис. 28. Вентиль от баллона.

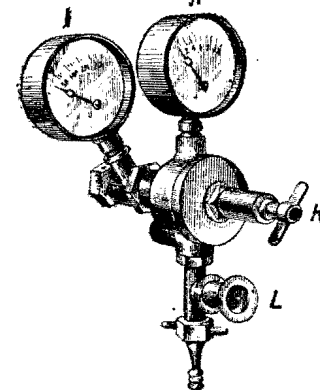


Рис. 29. Внешний вид манодетандера.

12. Гудящее пламя. 1) Газовая горелка. 2) Медная сетка. 3) Железная труба ($d = 10-15 \text{ см}$; $l = 1-1,5 \text{ м}$; годится кусок водосточной трубы или самоварная труба). 4) Штатив с кольцом.

Над газовой горелкой помещают при посредстве штатива с кольцом медную сетку. Пускают газ и зажигают пламя над сеткой. При достаточно сильном токе газа образуется горящее взрывами, а потому шумящее пламя. Если над пламенем поместить трубу (рис. 30), то столб воздуха в трубе, резонируя на определенный тон, усилит соответствующие колебания пламени. Получится довольно сильный рев.

Вместо пламени газа, горящего над сеткой, можно воспользоваться пламенем примуса.

13. Газовая гармоника. 1) Газовая гармоника. 2) Резиновая кишка.

Газовой гармоникой называют прибор, состоящий из 4 стеклянных труб ($d = 3-4 \text{ см}$), внутри которых помещены металлические сопла

для светильного газа (рис. 31). Трубы снабжены крышечками с отверстиями посредине. При горении внутри трубы пламя при некоторых условиях издает довольно чистый музыкальный тон. Объяснение этого явления таково. Высота пламени зависит от движения воздуха внутри трубы. Воздушный столб внутри трубы может начать колебаться. Эти колебания вызовут колебания пламени, что в свою очередь будет влиять на колебания воздушного столба и поддерживать их. Очевидно, что период колебания зависит от длины трубы, а также от того — открыта она или закрыта. Некоторое влияние на высоту тона, издаваемого пламенем, имеет также скорость вытекания газа из сопла. Длины труб в газовой гармонике таковы, что она дает мажорный аккорд (например: 68 см; 54 см; 45 см; 34 см).

Для получения звука следует присоединить прибор к газовому крану и поднять одну из труб, открутить краник *K* у соответствующего сопла, зажечь газ и отрегулировать краник так, чтобы получилась

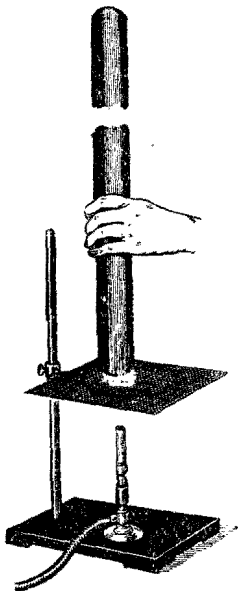


Рис. 30. Гудящее пламя.

длина пламени 1—2 см. Чем труба короче, тем высота пламени должна быть меньше. Затем надо медленно опустить трубу на место. При некотором определенном положении трубы пламя вытянется, получит тупой верхний конец и загудит. В этом положении трубу следует закрепить при помощи имеющейся на сопле подставки с винтом *B*.

Чтобы устроить поющее пламя без покупного прибора, следует взять стеклянное очень тонко оттянутое сопло (диаметр кончика не больше 0,5 мм). Стеклянную трубу ($d = 3—4$ см) можно взять длиной от 40 см и более. Чем длиннее труба, тем легче получается поющее пламя.

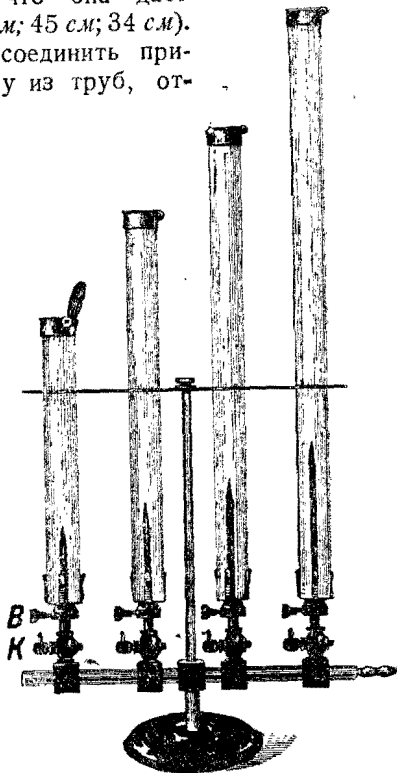


Рис. 31. Газовая гармоника.

14. Звучащая вольтова дуга. 1) Ручной регулятор для вольтовой дуги (т. I, § 73 и т. III, § 27). 2) Угли для вольтовой дуги без фитиля ($d = 7$ мм). 3) Темные дымчатые очки для наблюдения дуги. 4) Реостат на 8—10 ом; 10 а. 5) Дроссель с сопротивлением не больше 1—2 ом. В качестве дросселя может быть взята синяя катушка из трансформатора Неймана (т. V, § 4,5), надетая на сердечник с ярмом. 6) Батарея параллельно включенных телефонных конденсаторов (т. V, § 10,3); число включенных конденсаторов можно менять. 7) Катушка звонкового провода с таким числом витков и размеров, что индуктивность равна 1—3 мГн (может быть взята зеленая катушка от трансформатора Неймана, клеммы 1—2). 8) Железный сердечник к катушке.

Приборы соединяют по схеме рисунка 32. Ставят наибольшую емкость. Дают на установку постоянное напряжение 100—120 в от умформера (мотор-генератор, т. I, § 59) мощностью не меньше 1 киловатта. Замыкают ключ *K*, сближают угли и затем постепенно разводят их. При некотором расстоянии между углями (2—5 мм) дуга начнет издавать звук. Причина его возникновения такова. Горение вольтовой дуги в некоторой области ее режима не является спокойным непрерывным процессом. Сила тока и напряжение дуги все время изменяются. Это вызывает колебания в контуре *LC*. Колебания в контуре *LC* в свою очередь влияют на колебания тока и напряжения в дуге и усиливают их. Роль дросселя *D* состоит в том, чтобы колебания из контура *LC* направлялись в дугу, а не в динамо. Однако опыт может удасться и без дросселя.

Добившись появления звука, уменьшают число включенных конденсаторов; высота тона повышается. Если заменить катушку иной, с большим числом витков, то высота тона, издаваемого дугой, понижается. Введение в катушку железного сердечника еще более понижает тон дуги.

Отметим, что частота колебаний в контуре зависит от режима дуги и потому не является устойчивой.

15. Прибор Тревелияна. 1) Прибор Тревелияна. 2) Свинцовая подставка. 3) Газовая горелка. 4) Таганчик. 5) Тряпка.

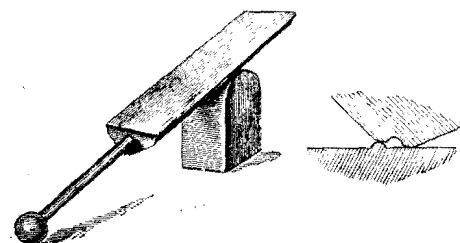


Рис. 33. Прибор Тревелияна. Справа: к объяснению действия прибора.

Прибор Тревелияна представляет собой призматическое тело из латуни или красной меди, с желобком на нижней, более узкой боковой грани. К призме приделан круглый стержень с шариком на конце.

Опыт состоит в следующем. Сперва призму прибора сильно раскалывают пламенем горелки, положив прибор на таганчик. Затем, взяв прибор при помощи тряпки, кладут призму на свинцовую подставку, как показано на рисунке 33. Если прибор слегка качнуть, то он начинает дрожать, издавая при этом ясно слышимый тон. Если нажать на

призму каким-либо острым металлическим предметом, высота тона повышается. Объяснение этого явления состоит в следующем. Когда какой-либо острый край основания призмы (например левый) касается свинцовой подставки, то призма передает подставке некоторое количество тепла, которое благодаря плохой теплопроводности свинца не успевает быстро рассеяться. На этом месте образуется бугорок вследствие расширения свинца (рис. 33, справа). Образование бугорка вызывает отталкивание призмы, которая переваливается на правую сторону. Там происходит то же явление. За это время бугорок на левой стороне исчезает, и все повторяется снова.

Опыт можно показать как пример преобразования энергии. Тепловая энергия превращается в механическую (звуковую).

16. Звучащая струя. 1) Мембрана (отрезок широкой стеклянной трубки, натянутый животным пузырем или тонкой резиной; диаметр трубки не меньше 4—5 см; можно взять детский барабан). 2) Резиновая трубка со стеклянным соплом-трубкой ($d = 8-10$ мм) с оттянутым кончиком (диаметр отверстия в конце кончика 1 мм). 3) Штатив с держателем.

Резиновую кишку надевают на кран водопровода. Другой конец кишки укрепляют в штативе так, чтобы стеклянная трубка находилась на весу в положении, близком к горизонтальному (рис. 34). Пускают

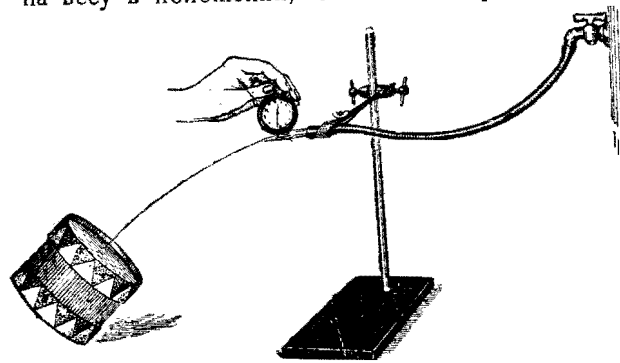


Рис. 34. Звучащая струя.

воду, регулируя ток ее таким образом, чтобы струя разбивалась на капли на расстоянии 20—40 см от сопла. Немного ближе того места, где струя разбивается на капли, помещают мембрану. Этого достигают так: сперва мембрану помещают немного далее — слышен резкий звук, производимый падающими каплями. Затем приближают мембрану до тех пор, пока этот звук не исчезнет. Теперь малейший толчок по соплу вызывает более раннее разбивание струи на капли, вследствие чего слышен резкий звук. Если к соплу приложить карманные часы, их тиканье делается слышным на всю комнату. Приложив к соплу ножку звучащего камертона, заставим струю петь на ту же ноту.

§ 2. Индикаторы звука.

Замечание. Самым простым и наиболее чувствительным способом обнаруживать звук является просто слушание невооруженным ухом или при помощи резиновой трубки, заканчивающейся коротким отрезком стеклянной трубки, вставляемой в ухо. Этим можно пользоваться во многих случаях. Однако это исключено в ряде классных опытов, так как звук слышен только одному наблюдателю. В лабораторных занятиях слушание невооруженным ухом затрудняется неизбежным в лаборатории шумом. Поэтому во многих случаях приходится обращаться к иным индикаторам звука.

1а. Обнаружение звуков посредством микрофона и усилителя.

1) Микрофон (т. V, § 17, 2, 4). 2) Аккумулятор. 3) Две катушки такого размера, чтобы одна входила в другую (пригодны катушки для опытов по индукции, т. IV, § 12, 3). 4) Усилитель с репродуктором или приемник с гнездами для адаптера (т. V, § 39). 5) Длинный шнур (8—10 м).

Соединяют приборы по схеме на рисунке 35. Необходимо микрофон удалить от усилителя (для этого и предназначается длинный шнур). Регулируют усилитель и связь между катушками (приближая или удаляя одну от другой) таким образом, чтобы не было слышно треска. Подносят к микрофону источник звука (например камертон). Репродуктор громко воспроизводит звук.

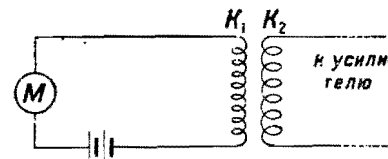


Рис. 35. Схема присоединения микрофона M к усилителю: K_1 и K_2 — индуктивно связанные катушки.

Вместо обычного микрофона можно взять школьный микрофон (т. V, § 17, 1). В этом случае камертон подносят к полости резонатора, на котором укреплен микрофон.

1б. Обнаружение звуков посредством телефона и усилителя.

1) Телефон многоомный. 2) Усилитель или приемник с гнездами для адаптера.

Присоединяют телефон к гнездам для адаптера. Приближают к телефону источник звука (например звучащий камертон). Репродуктор воспроизводит звук.

2. Обнаружение звуков посредством гальванометра. 1) Телефон (многоомный). 2) Гальванометр (чувствительность 10^{-6} — 10^{-7} а). 3) Детектор кристаллический (т. V, § 20).

Составляют цепь из телефона, детектора и гальванометра. Если острие детектора находится на хорошо детектирующей точке, то при произведении каких-либо звуков перед телефоном гальванометр дает отклонение. Дело в том, что колебания мембраны в телефоне вызывают изменения магнитного потока в нем (вследствие изменения магнитного сопротивления). Изменения магнитного потока вызывают ЭДС индукции. Детектор выпрямляет получающиеся токи, и гальванометр дает отклонения, зависящие от силы звука и частоты колебаний.

3. Чувствительное пламя (первый способ). 1) Кислородная медицинская подушка (или резиновая подушка для путешествий). 2) Тройник стеклянный. 3) Резиновая трубка. 4) Штатив с держателем. 5) Два зажима Гофман а. 6) Сопло. 7) Доска. 8) Гирия в 2—5 кг.

Сопло состоит из стеклянной трубки ($d = 8$ мм) с оттянутым кончиком, отверстие на кончике должно иметь диаметр $b = 1-2$ мм. Сопло должно быть вполне круглой формы. Отверстие в сопле должно быть круглым с ровными краями.

Сперва надо испытать, не является ли давление в газовой сети подходящим для получения чувствительного пламени непосредственно от сети. Для этого присоединяют сопло, зажатое в держателе штатива в вертикальном положении прямо к сети. Иногда при этом удается получить чувствительное пламя (см. ниже) посредством регулировки краном. Если это не удастся (давление в газопроводной сети слишком

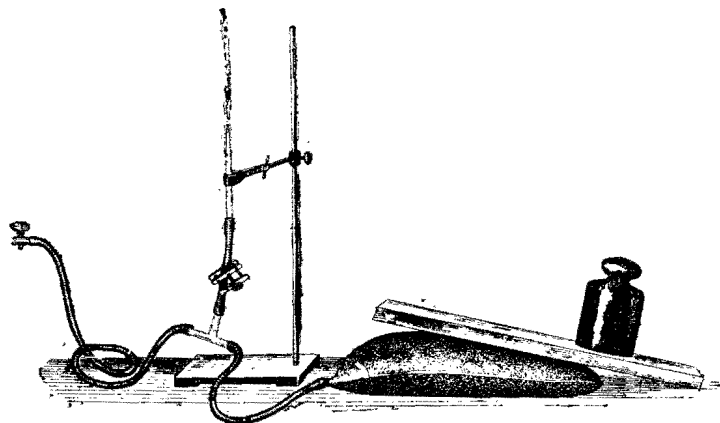


Рис. 36. Установка для получения чувствительного пламени.

низко), прибегают к подушке. Для этого к резиновой трубке, соединенной с краном газовой сети, присоединяют тройник. К одному из концов тройника присоединяют посредством куска резиновой трубки с зажимом сопло (рис. 36).

Зажимают трубку у сопла. Пускают газ в подушку. Когда подушка наполнится, закрывают кран газовой сети. Открыв зажим у сопла, зажигают газ, выходящий из сопла. Регулируют давление газа в подушке, нажимая на нее доской, на которую помещена гири, таким образом, чтобы получилось узкое спокойное, возможно более длинное пламя (30—35 см). При произнесении шипящих букв, при свисте, при постукивании металлических пластинок и тому подобных высоких звуках пламя укорачивается (рис. 37).

Неудача опыта может зависеть только от неудачного устройства сопла. Следует изготовить несколько сопел и выбрать из них наиболее удачное.

По израсходовании газа в подушке следует, прекрыв сопло, вновь наполнить подушку из крана.

4. Чувствительное пламя (второй способ — по Гопкинсу). 1) Медная сетка с числом отверстий не меньше 20 на 1 см (10 см × 10 см). 2) Штатив с кольцом и держателем. 3) Сопло (стеклянная трубка с оттянутым концом; диаметр отверстия на конце 1—1,5 мм). 4) Резиновая трубка к нему.

Зажимают в вертикальном положении сопло в держателе, над ним помещают сетку на кольце (рис. 38). Соединяют сопло с газопроводом и зажигают газ над сеткой. Регулируя расстояние от сопла до сетки и ток газа, добиваются, чтобы верхний кончик пламени был желтым, все остальное пламя синее.

Издают шипящий звук или ударяют ключом о ключ и т. п. Пламя вздрагивает, и светлый язычок на конце его исчезает, вновь появляясь по прекращении шипящего звука.

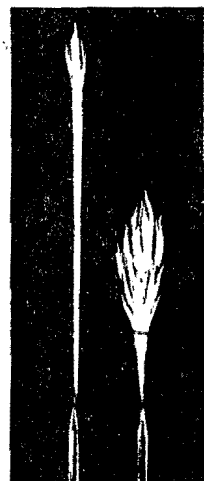


Рис. 37. Изменение формы чувствительного пламени при шипящих звуках.

Если приложить к соплу карманные часы, то их тиканье вызовет периодические вздрагивания пламени. Тиканье часов будет отчетливо слышно.

5. Чувствительное пламя карбурованного воздуха. 1) Прибор для получения карбурованного воздуха. 2) Бензин. 3) Эфир. 4) Стекло-тройник. 5) Резиновая подушка. 6) Воздушный насос. 7) Медная сетка (10 см × 10 см). 8) Штатив с держателем и кольцом. 9) Резиновые трубки. 10) Зажимы.

Прибор для получения карбурованного воздуха изготавливается из двугорлой склянки ($V = 200 - 300 \text{ см}^3$). К ней подбираются две резиновые пробки, сквозь которые пропущены стеклянные трубки (рис. 39). Одна из трубок должна доходить почти до дна склянки. Другая должна являться соплом, т. е. должна иметь оттянутый кончик ($d = 1 \text{ мм}$). Нижний конец сопла должен находиться у верхнего основания склянки. Внутри сопла надо с целью предохранения от взрыва поместить смятую в комок тонкую ($d = 0,1 \text{ мм}$) медную проволоку. В склянку закладывают древесные стружки и наливают немного (1—2 см³) смеси бензина с эфиром (1:1) (это производится вдали от огня). Конец первой трубки не должен быть погружен в смесь.

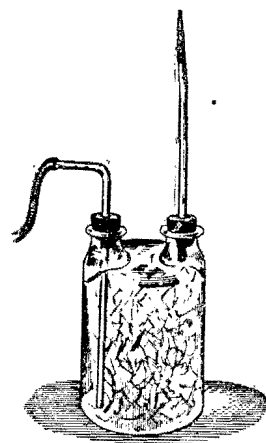


Рис. 39. Прибор для получения карбурованного воздуха.

6. Газопламенный манометр. 1) Газопламенный манометр. 2) Вращающаяся зеркальная призма.

Газопламенный манометр представляет собой небольшую коробку с тремя вделанными в нее трубками (рис. 41). Внутри коробки натянута резиновая перепонка, разделяющая ее полость на две части (рис. 42). Полость А сообщается посредством трубки К с раструбом, перед которым производятся звуки (пение, свист, разговор и т. п.); полость В при помощи трубки L сообщается с краном газовой сети

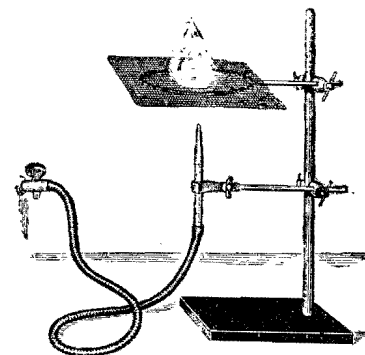


Рис. 38. Чувствительное пламя по Гопкинсу.

или с прибором для получения карбурированного воздуха (§ 2, 5). Выходящий сквозь трубку *M* газ зажигают. В то время как производятся звуки, перепонка *P* колеблется. Это вызывает колебания пламени. Для обнаружения колебаний рассматривают его изображение во вращающемся зеркале. При отсутствии колебаний изображение пламени представляется растянутым в виде прямой полосы. При произведении звуков пламя представляется в виде полосы, зазубренной сверху (рис. 43).

Легко изготовить самодельный газопламенный манометр из двух корковых пробок (или двух кусков дерева) и стеклянных трубок (по Абрагаму, размеры показаны на рисунке 44). Резиновая перепонка может быть заменена тонкой парафинированной бумагой. Вращающаяся зеркальная призма может быть заменена самодельным прибором,

Рис. 40. Установка для получения чувствительного пламени карбурированного воздуха.

изображенном на рисунке 45. Куски зеркала прикрепляются к деревянной доске посредством каучуковых трубок или спиральных пружинок. Полная параллельность зеркал достигается посредством вдвигания узких деревянных клинышков.

Можно заметить колебания пламени и без вращающегося зеркала. Для этого надо быстро провести взгляд мимо пламени.



Рис. 41. Газопламенный манометр.

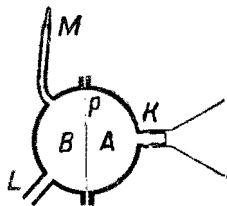


Рис. 42. Устройство газопламенного манометра.

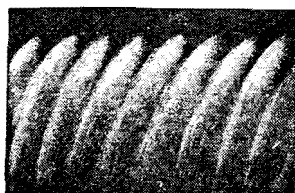


Рис. 43. Вид пламени, рассматриваемого во вращающемся зеркале.

Для демонстрации колебаний пламени большой аудитории надо спроектировать его при помощи объектива и вращающегося зеркала на экран.

7. Акустический манометр. Акустический манометр представляет собой жидкостный (спиртовый) манометр, в котором одно или оба отверстия закрыты легким клапаном (в последнем случае клапаны должны быть обращены один внутрь, другой наружу манометра). При помещении акустического манометра в достаточно сильное звуковое поле он показывает смещение уровня жидкости. Объяснение таково: если, например, клапан выпускает воздух из манометра, то во время разрежения в воздушной волне воздух из колена, закрытого клапаном, выходит, и уровень жидкости поднимается. Во время сгущения клапан закрывается, и уровень не опускается. Таким образом, акустический манометр есть индикатор изменения давления в звуковой волне. Так как избыточное давление в воздухе только при очень сильных звуках достигает значения 10—80 мм Hg, то акустический манометр дает заметные отклонения только при сильных звуках.

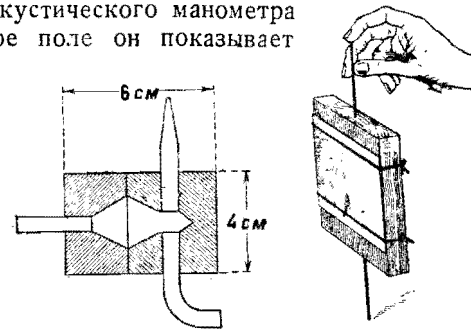


Рис. 44. Самодельный газопламенный манометр.

Рис. 45. Самодельное вращающееся зеркало.

На рисунке 46 изображен акустический манометр Гримзеля с двумя клапанами. Самодельный акустический манометр (по Шиманскому) можно устроить так: латунный цилиндр ($d=5$ мм, $l=10$ мм) просверливается по оси¹⁾. У его верхнего основания приклеивается край кусочка самой тонкой папиросной бумаги такого размера, чтобы он прикрывал отверстие в цилиндре (рис. 47). Перед опытом папиросную бумагу увлажняют ничтожным количеством воды с глицерином (10 частей воды, 1 часть глицерина). Лишнюю влагу с цилиндрика вытирают. На цилиндр надевают отрезок резиновой трубки, соединяющей его с манометром. Клапан можно вставить в воронку, служащую для собирания звуковых волн (рис. 48).

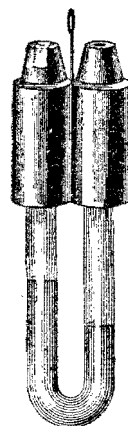


Рис. 46. Акустический манометр по Гримзелю.

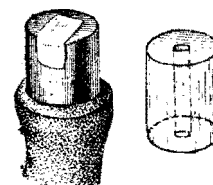


Рис. 47. Клапан Шиманского.

8. Диск Релея. Диск Релея используется для определения энергетической мощности звукового излучения.

Диск Релея (рис. 49) обычно представляет собой круглый легкий диск ($d=15-25$ мм) из тонкой пластинки слюды или круглого покровного стеклышка, подвешенный на тонкой стеклянной или кварцевой нити и поворачивающийся

¹⁾ Подобный цилиндр можно отыскать среди лома осветительной арматуры.

под давлением звука. Направление диска с направлением излучения должно для максимальной чувствительности составлять угол в 45° . Для отсчета угла поворота на диск укрепляется зеркало, а проще всего, если сам диск представляет собой зеркало. При применении покровного

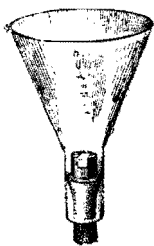


Рис. 48. Воронка с клапаном Шиманского.

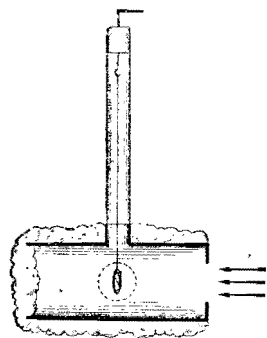


Рис. 49. Разрез трубки с диском Релея.

стекла оно может быть посеребрено, или можно в качестве диска использовать достаточно большое зеркальце от гальванометра. Диск вешается на возможно тонкой (диаметр менее 10μ) стеклянной или кварцевой нити длиной около $30-40 \text{ см}$. Чем тоньше нить, тем прибор чувствительнее.

Диск помещается внутри деревянной или металлической трубки диаметром около $5-6 \text{ см}$, длиной около $10-12 \text{ см}$. Трубка с одной стороны, откуда падает излучение, открыта, а с другой —

закрита куском ваты, которой она вся обернута.

К трубке прикреплена другая, удобнее всего стеклянная, в которой проходит нить. Диаметр этой трубки должен быть не меньше диаметра диска, чтобы диск, укрепленный на нити, можно было опустить через трубу. Нить прикрепляется к проводочке, продетой через корковую пробку, по диаметру подходящую к трубке.

Освещение и получение зайчика делается обычным способом (рис. 50).

При малых отклонениях от 45° между направлением диска и направлением излучения угол поворота диска прямо пропорционален мощности падающего звука.

Предельная чувствительность диска около $0,001 \frac{\text{микроватт}}{\text{см}^2}$ или для звуковых давлений около $1 \frac{\text{дн}}{\text{см}^2}$ (громкий разговор дает мощность около $20-30 \text{ микроватт}$).

Практически на диск, даже с не очень тонкой нитью, действует громкий звук камертона, звуки органной трубы, причем высота звука не имеет значения. Пользуясь диском Релея, легко заметить, что высокие звуки (женского голоса), оглушительные для уха, несут гораздо меньше энергии, чем низкие звуки (мужского голоса), несмотря на их малую громкость. Этот опыт обнаруживает различную чувствительность уха к тонам различной частоты.

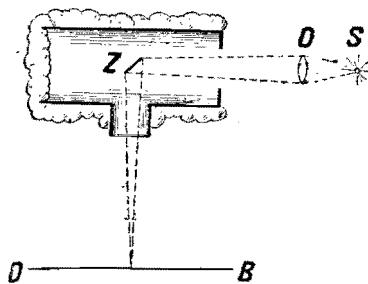


Рис. 50. Схема установки диска Релея: S — источник света; O — объектив; Z — диск Релея; DB — экран.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗВУКА.

§ 3. Излучение и распространение звука.

1. Влияние величины излучающей поверхности на силу и длительность звука. 1) Камертон (лучше массивный). 2) Билка. 3) Фанерные дощечки ($10 \text{ см} \times 10 \text{ см}$ и $40 \text{ см} \times 40 \text{ см}$). 4) Секундомер. 5) Резиновый молоток.

Возбуждают камертон и показывают, что сила звука его увеличивается при приставлении его ножки к фанерным дощечкам (или просто к столу) и притом в тем большей степени, чем больше площадь поверхности дощечки.

Измеряют время звучания камертона в том случае, если его ножка приставлена к большому куску фанеры или к столу. Снова возбуждают камертон столь же сильным ударом и заставляют его звучать в воздухе. Спустя промежуток времени, несколько больший только что измеренного времени звучания, приставляют ножку камертона к фанере. Звук снова слышен.

2. Значение величины поверхности, излучающей звук. 1) Сонометр (§ 8, 3). 2) Струна, натянутая между двумя костылями, вбитыми в стену.

Приводят в колебания струну между костылями. Звук слышен слабо, так как колебания струны почти не передаются стенам и колебания воздуха вызываются только движением струны, имеющей весьма малую поверхность. Приводят в колебание такую же струну на сонометре. Звук слышен громче, так как колебания струны передаются деревянному ящику и от него в воздух.

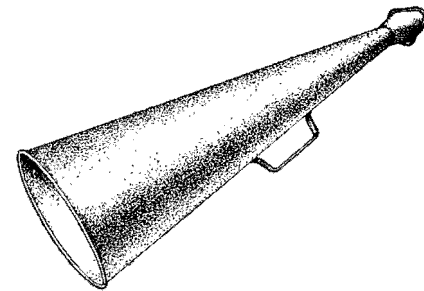


Рис. 51. Рупор.

3. Рупор. 1) Рупор.

Рупор представляет собой коническую металлическую трубу (рис. 51); у узкого конца делается некоторое уширение для прикладывания ко рту. Приложив рупор ко рту, говорят или поют в него. Получается значительное усиление звука, что объясняется увеличением излучающей поверхности (площадь сечения у конца трубы значительно больше площади выходного отверстия рта). Вместе с тем рупор дает излучение, происходящее, главным образом, в направлении оси рупора.

Вместо металлического покупного прибора можно устроить самодельный из картона. Уширения у узкого конца можно и не делать.

4*. Определение скорости звука в воздухе. 1) Секундомер. 2) Рулетка.

Если школа находится недалеко от железнодорожной станции, расположенной на прямолинейном участке пути, то можно организовать экскурсию, во время которой определить скорость звука. Отойдя на расстояние 1—2 км от станции, выжидают момент, когда паровоз на станции дает свисток. Пускают секундомер в момент, когда виден пар из паровозного гудка, и останавливают секундомер в момент, когда слышен гудок. Расстояние от станции до места наблюдения можно определить по километровым или телеграфным столбам (измеряют расстояние между двумя столбами и сосчитывают число пролетов). Деля расстояние на истекшее время, находят скорость звука.

5*. Определение скорости звука в воздухе. 1) Метроном. 2) Молоток. 3) Доска. 4) Рулетка на 10 м.

Опыт производится на открытом воздухе. Наблюдатели удаляются друг от друга на расстояние 200—250 м. Один из наблюдателей устанавливает метроном на 80—90 ударов в минуту и ударяет молотком в доску в такт ударам метронома. Другой наблюдатель, приближаясь и удаляясь, находит такое расстояние, при котором звук от удара молотка и наблюдение этого удара зрением кажутся совпадающими между собой.

Это расстояние измеряют рулеткой. Деля его на промежуток времени, протекающий между ударами метронома, находят скорость звука в воздухе.

6*. Сравнение скорости звука в газах и в твердых телах.

В томе II, § 38, 2 описан опыт Кундта. Этот опыт может служить для сравнения скорости звука в воздухе и в твердых веществах, из которых сделаны стержни. Места, где порошинки сбрасываются, соответствуют пучностям стоячих волн в воздухе. Измеряя расстояние между крайними пучностями и деля его на число промежутков между пучностями, можно определить длину полуволны в воздухе. Длину стержня можно принять за длину полуволны в материале стержня.

Деля второе число на первое, получаем отношение скорости звука в твердом материале к скорости звука в воздухе.

Добавим к описанию § 58, 2, что для возбуждения сильных колебаний в стержне нужно, проведя мокрой материей по стержню, возможно скорей отвести руку от стержня (иначе колебания тухнут).

7. Ослабление передачи звука при разрежении воздуха. 1) Будильник со звонком. 2) Воздушный насос. 3) Тарелка и колокол к нему. 4) Резиновые трубки.

Будильник заводят так, чтобы он зазвонил через несколько (3—5) минут, помещают его под колокол воздушного насоса, подкладывая под него отрезки резиновых трубок для уменьшения звукопередачи через тарелку, и откачивают воздух. Когда будильник зазвонит, прекращают откачку воздуха. Постепенно впускают воздух и наблюдают при этом заметное усиление звука. Насос должен давать разрежение не ниже чем до 1—2 см Hg. Однако и при более полной откачке воздуха звук все же слышен, так как передается по стеклянной тарелке.

Если пространство под колоколом наполнить светильным или углекислым газом, то можно заметить различие в звукопроводности различных газов (при одном и том же давлении). Углекислый газ передает звук лучше, а светильный хуже, чем воздух.

В настоящее время можно найти в продаже тарелки к воздушным насосам, в которых можно осуществить подводку тока к прибору, находящемуся под колоколом (рис. 52). При наличии такой тарелки следует будильник заменить электрическим звонком, приводимым в действие от аккумулятора через ключ. Звонок следует подвесить на узкой резиновой трубке, концы которой надеты на отрезки проволоки, укрепленные в зажимах на тарелке.

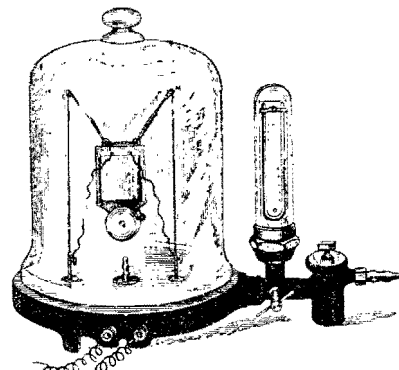


Рис. 52. Опыт, демонстрирующий плохую звукопроводимость разреженного воздуха. Видна тарелка с подводкой тока к звонку, помещенному под колоколом.



Рис. 53. Прибор для доказательства малой звукопроводности паров ничтожной плотности.

8. Ослабление передачи звука при разрежении пара. 1) Круглодонная колба с резиновой пробкой ($V = 1-3$ л). 2) Металлический (лучше свинцовый) стержень ($d = 3$ мм), к концу которого посредством кожного или резинового колечка прикреплен маленький колокольчик или бубенчик. 3) Горелка. 4) Таганчик.

Укрепляют стержень в резиновой пробке так, чтобы при вставлении ее в колбу бубенчик был посредине колбы (рис. 53). Наливают в колбу немного воды. Вскипятив воду, отнимают горелку и тотчас же вставляют резиновую пробку со стержнем и колокольчиком. По мере охлаждения колбы плотность водяных паров сильно уменьшается. При этом звон колокольчика передается во вне очень слабо. Если впустить воздух в колбу, звон слышен сильнее.

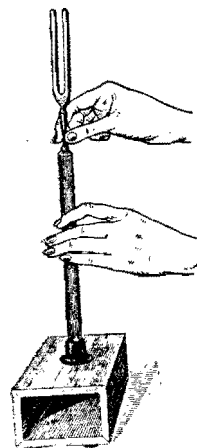


Рис. 54. Исследование звукопроводности стержней.

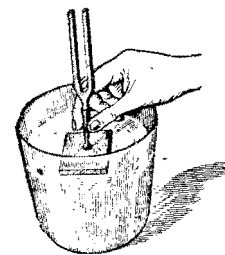


Рис. 55. Исследование звукопроводности воды.

9. Исследование звукопроводности различных веществ. 1) Камертон 400—800 гц. 2) Набор различных стержней (деревянный, железный, стеклянный и т. п.) ($l = 50$ см, $d = 1$ см). 3) Широкий сосуд (таз). 4) Деревянная дощечка 10 см \times 10 см. 5) Билка (§ 1, 3). Показывают, что звук камертона значительно усиливается, если его

приставить ножкой к столу. Ставят на стол в вертикальном положении различные стержни и прижимают к ним ножку возбужденного камертона (рис. 54). Звук усиливается, что указывает на хорошую звукопроводность материалов стержней.

Для показания хорошей звукопроводности воды ножку возбужденного камертона ставят на дощечку, плавающую в тазу (рис. 55). Звук тоже усиливается.



10*. Передача звука натянутой нитью. 1) Металлическое тело (серебряная ложка, камертон, стальной пинцет, железный угольник и т. п.). 2) Нитка. 3) Резиновая нить. 4) Тонкая проволока.

Подвешивают металлическое тело на нитке; другой конец нитки всовывают в ухо, прижимая нитку пальцем (рис. 56). Заставив посредством удара тело дрожать, слышат сильный звук, передаваемый натянутой ниткой. Заменяв нитку проволокой, повторяют опыт. Звук слышен еще лучше. Заменяют проволоку резиновой нитью. Звук слышен плохо.

На хорошей передаче звука натянутой нитью основано устройство детской игрушки—нитяного телефона. Он состоит из двух круглых коробок, у которых вместо дна натянут пергамент или животный пузырь. К серединам пузырей прикреплена возможно более длинная, прочная нитка (рис. 57). Коробки относят на такое расстояние, чтобы нитка была натянута. Говорят в одну из коробок, поднеся ее ко рту. Слушают в другую, поднеся ее к уху.

Если два тонкостенных ящика соединить тонкой натянутой железной проволокой, можно переговариваться на расстоянии нескольких сот шагов (Дрентельн).

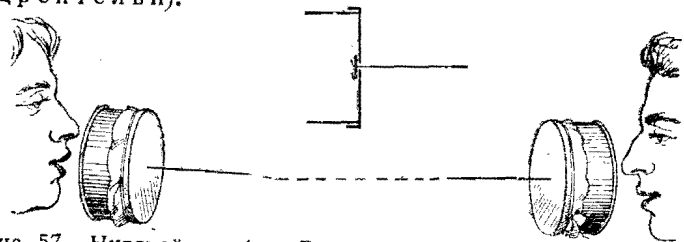


Рис. 57. Нитяной телефон. Вверху способ прикрепления нити.

11. Звукопроводность воды. 1) Свисток. 2) Резиновая трубка. 3) Большой сосуд с водой (ведро). 4) Резиновая груша.

Соединяют посредством резиновой трубки свисток с резиновой грушей. Опускают свисток до середины глубины сосуда. Продувают воздух сквозь свисток. Слышен свист. Он доносится благодаря хорошей звукопроводности воды, так как резина проводит звук плохо (опыт 9).

12. Принцип Доплера. 1) Свисток. 2) Резиновая трубка (длина 2 м).

Вставляют свисток в трубку и прочно привязывают его. Продувают воздух сквозь трубку акустическим мехом или просто ртом (в последнем случае следует дуть в трубку сквозь стеклянную трубку,

предварительно промытую). Добиваются ровного звука. Вращают трубку над головой. При этом наблюдатели слышат звук то более высокий (когда свисток приближается к ним), то более низкий (когда свисток удаляется от них).

Вместо свистка можно вращать телефонную трубку звукового генератора (§ 1, 11).

13*. Экранирование высоких тонов. 1) Свисток Гальтона (или звуковой генератор). 2) Кусок плотного картона.

Заставляют свисток Гальтона (или звуковой генератор) издавать довольно высокий звук. Затыкают одно ухо, а другое заслоняют куском картона. Звук не слышен. Повторяют опыт с возможно низким звуком свистка Гальтона. Экран не мешает слышимости.

В связи с этим можно вспомнить изменение оттенка звука при отражении от леса, забора и т. п. (например звук ударов копыт лошади о камни). Более низкие составляющие звука проходят беспрепятственно, и отражаются только высокие звуки.

§ 4. Отражение звука.

1. Отражение звука плоским зеркалом. 1) Часы. 2) Железная труба $l = 60 - 70$ см, $d = 10$ см. 3) Войлок или вата. 4) Металлический лист (30 см \times 30 см).

Заведенные часы кладут на войлок. Ставят трубу вертикально так, чтобы часы оказались внутри ее. Звук часов направляется к потолку, и наблюдатели кругом ничего не слышат. Если же над трубой расположить металлический или картонный лист под углом 45° к направлению оси трубы (рис. 58), то наблюдатели, расположенные в плоскости, проходящей через ось трубы и через нормаль к плоскости листа, явственно слышат тикание часов.

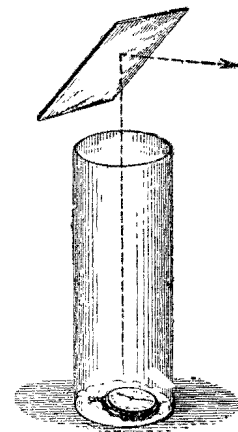


Рис. 58. Отражение звука.

2. Отражение звука вогнутым зеркалом. 1) Зеркало Пикте (рис. 59). 2) Карманные часы.

Зеркалами Пикте называют вогнутые сферические металлические зеркала, снабженные штативом. Их высоту и наклон можно менять посредством зажимов A и B ; C —зажим для подставок предметов, помещаемых перед зеркалом.

Часы помещают в фокусе зеркала Пикте. Фокус находится на расстоянии $0,5$ радиуса от середины зеркала. Можно проверить правильность найденного положения фокуса, поместив туда пламя свечи

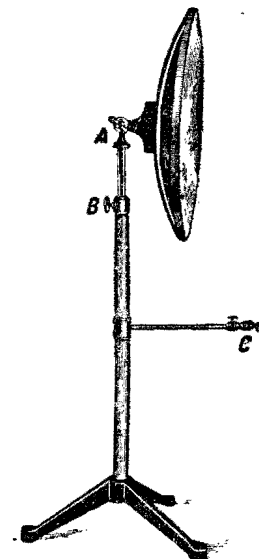


Рис. 59. Зеркало Пикте.

или лампочку от карманного фонаря. Если пламя свечи помещено в фокусе, то его лучи от зеркала отражаются параллельным пучком, и наблюдатель, смотря по направлению оптической оси, видит все зеркало ярко освещенным.

Медленно поворачивают зеркало вместе с помещенными в его фокусе часами так, чтобы звуковые лучи, отраженные от зеркала, направлялись в разные части аудитории. Учащиеся, находящиеся в направлении оси зеркала, ясно слышат тикание часов, тогда как остальным этот звук совсем или почти совсем не слышен.

Можно заменить зеркало Пикте мокрым дождевым зонтиком (сухая материя почти не отражает звука).

3. Отражение звука вогнутым зеркалом. 1) Зеркала Пикте. 2) Свисток Гальтона (§ 1, 9). 3) Чувствительное пламя (§ 2, 3 и 4). 4) Свеча. 5) Лист белой бумаги.

Отыскивают фокус одного из зеркал Пикте, перемещая вдоль оси пламя свечи (опыт 2). На пути пучка лучей, на расстоянии 4—5 м ставят второе зеркало так, чтобы все лучи попадали на него. Отыскивают положение фокуса второго зеркала, поместив перед ним лист бумаги. Место изображения свечи близко совпадает с фокусом. Убрав бумагу, на ее месте помещают чувствительное пламя (так, чтобы в фокусе была нижняя часть пламени). На месте свечи помещают свисток Гальтона (рис. 60). Длина полости в свистке Гальтона 10—15 мм.

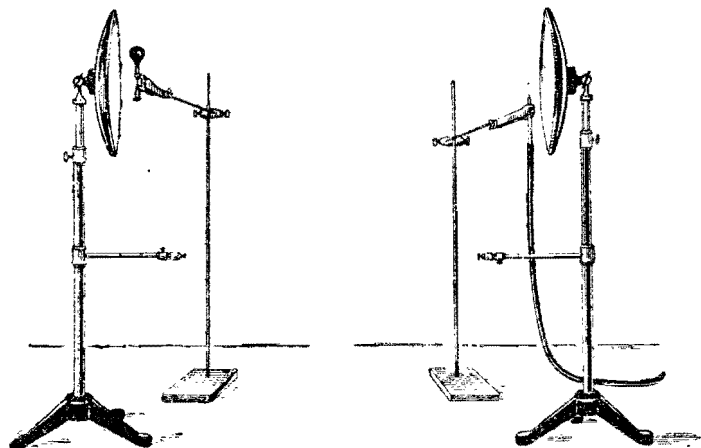


Рис. 60. Отражение звука зеркалами Пикте.

Продувают воздух сквозь свисток Гальтона. При каждом свистке пламя превращается в шумящее и спускается. Немного поворачивают первое зеркало в сторону, чтобы звуковые лучи, отраженные на него, не попадали на второе зеркало, и повторяют опыт. Пламя остается спокойным.

Направляют зеркала так, чтобы их оптические оси пересекались на расстоянии 2—3 м от них. В этом месте помещают в вертикальном положении кусок фанеры или картона 60 см × 60 см (его держат в руках); продувают воздух сквозь свисток Гальтона. Медленно поворачивают кусок фанеры вокруг вертикальной оси. При некотором опреде-

ленном положении фанеры пламя реагирует на свистки. Обращают внимание на то, что угол падения звуковых лучей равен углу отражения.

Расстояние надо взять настолько большим, чтобы звуки, распространяющиеся от свистка и достигающие пламени по прямой линии, не заставляли его опускаться.

§ 5. Интерференция звука.

1. Трубки Квинке. 1) Трубки Квинке. 2) Камертон на резонансном ящике.

Трубки Квинке состоят из двух стеклянных тройников, соединенных двумя резиновыми трубками различной длины ($d = 8—10$ мм) (рис. 61). Один из тройников сообщается с источником звука (на рисунке 61 показано, что звук идет из резонансного ящика камертона; вместо него может быть взят телефон от звукового генератора или язычковая труба). Второй тройник

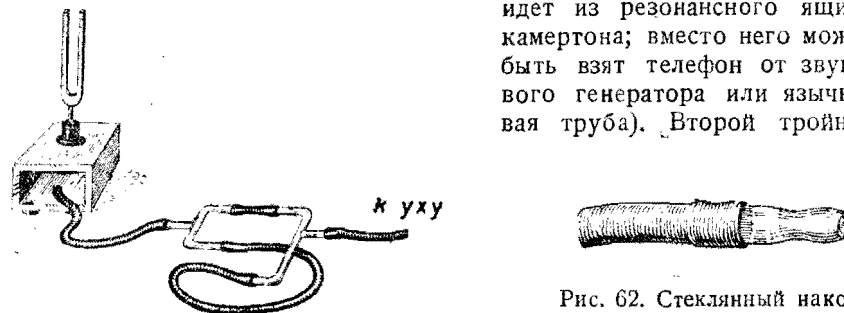


Рис. 61. Трубка Квинке.

соединен резиновой трубкой со стеклянным наконечником, приспособленным для вставления в ухо (рис. 62). Другое ухо затыкается.

Меняют частоту источника звука (заменяя, например, один камертон другим) и убеждаются, что для одних источников звук слышен хорошо,

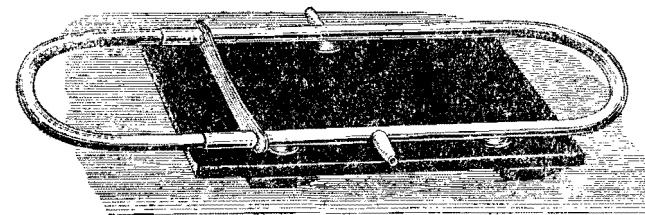


Рис. 63. Прибор Кундта.

звук других приходит ослабленным. Ослабление наблюдается в том случае, если одна из резиновых трубок, соединяющих тройники, на нечетное число полуволн длиннее другой. Полное исчезновение звука не наблюдается потому, что даже звук камертона не является вполне простым.

2. Прибор Кундта. 1) Прибор Кундта (рис. 63). 2) Камертон 600—1000 гц (или звуковой генератор). 3) Газопламенный манометр (§ 2, 6) (или телефон соединенный с гальванометром через детектор, см. § 2, 2).

Прибор Кундта по идее похож на трубку Квинке (§ 5, 1). В отличие от прибора Квинке здесь легко менять разность хода. Он состоит из двойной металлической трубки, одно из колен которой может быть удлиняемо выдвиганием (рис. 63). Поэтому прибор может служить для определения частоты колебаний определенного источника звука.

Установка видна на рисунке 64. Здесь *A* — источник звука (камертон или лучше телефон звукового генератора). Звуковой генератор имеет здесь то преимущество, что может звучать неопределенно долго и его можно вплотную приставить к прибору Кундта; недостаток его — сложность испускаемого звука, вследствие чего невозможно достаточно полное исчезновение звука ни при каком положении выдвинутого колена.

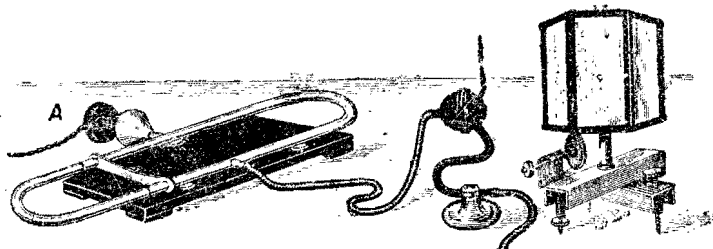


Рис. 64. Измерение частоты колебаний посредством прибора Кундта.

Приемником служит телефон, связанный через детектор с гальванометром, придвинутый вплотную к трубке Кундта, или газопламенный манометр, соединенный с ней резиновой трубкой (рис. 64).

3*. Интерференция звука от двух источников. 1) Звуковой генератор с двумя телефонами.

Возбуждают звуковой генератор на высокий тон (примерно 2000 гц). Располагают оба телефона в горизонтальной плоскости на расстоянии 50—100 см друг от друга (положив их на доску или просто держа в руках). Медленно поворачивают доску. Наблюдатели слушают, заткнув одно ухо. Они слышат то усиление, то ослабление звука (усиление тогда, когда разность хода доходящих до уха колебаний равна целому числу волн, ослабление — когда разность хода равна нечетному числу полуволн).

В комнате должно находиться большое число предметов, поглощающих звук (мягкой мебели, людей), чтобы не образовались узлы и пучности (§ 10).

Вместо приема на слух можно обнаружить интерференцию при посредстве чувствительного пламени (§ 2, 3 и 4). Генератор должен давать очень высокий звук. При поворачивании доски с телефонами пламя то опускается, то поднимается.

Этот опыт можно применить для измерения частоты звукового генератора (для очень высоких тонов). Закрепив один из телефонов и передвигая другой, наблюдатель слышит резкие максимумы и минимумы звука. Изменяя расстояния между положениями минимумов, можно определить длину волны в воздухе, а следовательно и частоту генератора.

4. Интерференция звуковых волн, идущих от ветвей камертона. 1) Камертон. 2) Стекланный тройник, к двум его концам присоединены одинаковые резиновые трубки ($d = 5-10$ мм), к третьему — резиновая трубка со стекланным наконечником для вставки в ухо (наконечник надо перед опытом продезинфицировать денатуратом).

Вставляют наконечник в ухо. Возбудив камертон, помещают концы трубок вблизи ветвей камертона. При положении, показанном на рисунке 65, *a*, звук ослаблен; на рисунке 65, *b* — усилен.

5. Интерференция звуковых волн от ветвей камертона. 1) Камертон. 2) Билка. 3) Стекланный цилиндр.

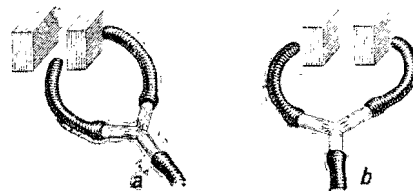


Рис. 65. Интерференция звуковых волн от ветвей камертона.

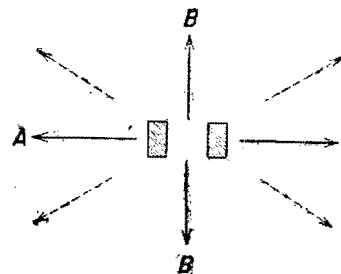


Рис. 66. Зоны слышимости и молчания в звуковом поле камертона.

При поворачивании камертона около уха слышны усиление и ослабление звука. Объяснение этого явления таково: в направлениях, показанных на рисунке 66 пунктирными стрелками, звуковые волны не могут распространяться, так как, интерферируя, взаимно ослабляют друг друга.

В направлениях, показанных сплошными стрелками, звуковые волны могут распространяться: в направлениях *AA* — потому что одна из ветвей загораживает другую; в направлениях *BB* — потому что здесь колебания распространяются не от ветвей камертона, а от воздушной массы, находящейся между ними.

Чтобы сделать это явление заметным аудитории, нужно налить в стекланный цилиндр столько воды, чтобы звук камертона, помещенного над цилиндром, очень усиливался резонансом воздушного столба. Поворачивая над сосудом возбужденный камертон, получают усиление и ослабление звука, заметные всей аудитории (рис. 67). Можно также поворачивать камертон у отверстия его резонансного ящика, но это выходит хуже. При наличии в кабинете микрофона и усилителя (или приемника, имеющего гнезда для адаптера) (т. V, § 2, 1а) можно сделать опыт более эффектно. Поворачивая возбужденный камертон перед микрофоном, получают весьма резкие усиление и ослабление звука.

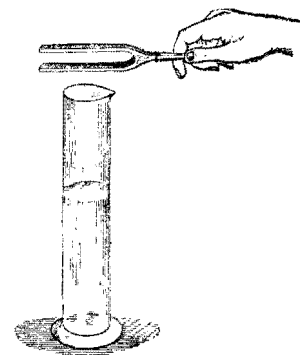


Рис. 67. Демонстрация интерференции звуковых волн от ветвей камертона.

6. Интерференция звуковых волн от ветвей камертона. 1) Камертон, снятый с резонансного ящика; 2) Билка (§ 1, 3); 3) Стекланная трубка такого диаметра, чтобы одна ветвь камертона входила в нее, не касаясь стенки.

Возбуждают камертон ударом билки, держа его ножку в руке. Звук камертона слышен слабо, так как колебания его ветвей противоположны по фазам и воздушные волны на значительном пространстве, интерферируя, взаимно ослабляют друг друга. Если на одну из ветвей надвинуть трубку, не касаясь ее (рис. 68), то звук камертона заметно усиливается. Теперь интерференция отсутствует.

Вместо надвигания трубки можно вдвинуть одну из ветвей камертона



Рис. 68. Надвигание трубки на ветвь камертона вызывает усиление звука камертона.

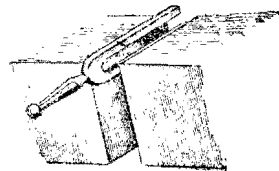


Рис. 69. Камертон помещенный в щель между двумя ящиками.

в щель между двумя ящиками (рис. 69) или просто закрыть одну из ветвей дощечкой. Слышно усиление звука. Объяснение то же.

Можно произвести этот опыт более эффектно, если поместить камертон над резонирующим сосудом (§ 5, 5) в таком положении, чтобы звук ослаблялся, и верхнюю ветвь камертона загородить снизу куском картона.

7. Получение биений при помощи камертонов. 1) Два камертона, настроенных в унисон, с грузиками (рис. 6). 2) Смычок или билка.

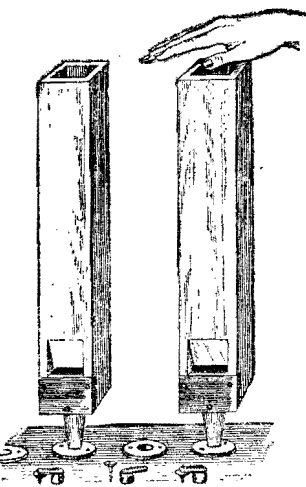


Рис. 70. Получение биений при помощи органичных труб.

Расстраивают унисон камертонов, надевая на ветвь одного из них утяжеляющий груз. Возбуждают оба камертона. Слышны биения. Частота их равна разности частот камертонов. Передвигая груз вверх, увеличивают частоту биений, вниз — уменьшают. Надев утяжеляющие грузы на оба камертона, можно добиться полного исчезновения биений. Это будет при унисоне.

8. Биения, получаемые при помощи органичных труб. 1) Две одинаковые органичные трубы (рис. 16). 2) Акустический стол.

Установив обе трубы на акустическом столе, заставляют их звучать. Иногда при этом сразу получают биения. Если биений нет, их легко вызвать, приблизив ладонь к верхнему концу одной из труб (рис. 70). Это вызовет изменение положения пучности в этой трубе, а следовательно и частоты издаваемого тона.

Пользуясь методом биений в органичных трубах, можно показать зависимость скорости звука в газе от температуры и от плотности газа (по Грабовскому и Колбанову). Для первой цели пропускают воздух в одной из труб, предварительно настроенных в унисон, посредством накаливания электрическим током внутри нее маленькой спиральки, сделанной из

никелина. При этом слышны биения, указывающие, что частота тона трубки, а следовательно и скорость звука в воздухе, находящемся в ней, изменились.

Для второй цели берутся закрытые органичные трубы. Посредством резиновой трубки, введенной в полость органичной трубы, сквозь щель в трубу пускают светильный или углекислый газ. Трубы снова дают биения. По мере диффузии газа во внешнее пространство число биений уменьшается.

9. Биения при отражении звука. 1) Массивный камертон (1000—2000 гц). 2) Билка.

Возбуждают колебания камертона, медленно двигают его взад и вперед по направлению к стене. Наблюдатели, находящиеся перед стеной, слышат биения. Это — результат интерференции волн, доходящих от камертона и отраженных от стены. Увеличивают скорость движения, — биения учащаются.

§ 6. Резонанс.

1. Резонанс камертонов. 1) Два камертона, настроенные в унисон, на резонансных ящиках (§ 1, 2). 2) Смычок (или билка). 3) Стекланный шарик (или круглая стекланный пуговица), подвешенный на нитке, привязанной к штативу.

Располагают камертоны на расстоянии 1 м так, чтобы отверстия их резонансных ящиков были обращены друг к другу. Возбуждают один из камертонов и через 1—2 сек. заглушают его рукой. Звук продолжается. Это звучит второй камертон, возбужденный вследствие резонанса.

Расстраивают резонанс, надевая на ветвь одного из камертонов грузик. Повторяют опыт. При остановлении первого камертона звук прекращается полностью.

Если аудитория велика и звук плохо слышен, то можно поставить опыт так. К ветви одного из камертонов приближают легкий шарик ($d = 5$ м), подвешенный на нити (рис. 71). Для этой цели лучше взять полый стекланный шарик или маленькую круглую пуговицу. При возбуждении другого камертона при наличии резонанса шарик начинает отскакивать.

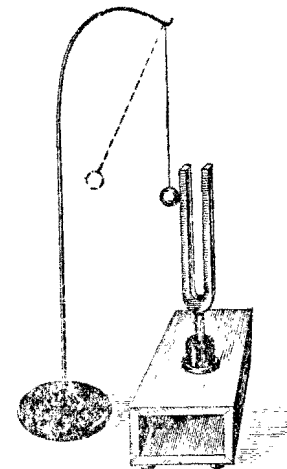


Рис. 71. Обнаружение колебаний камертона при помощи легкого маятника.

2. Резонанс камертонов. 1) Два камертона для настройки музыкальных инструментов одной и той же высоты (a_1). 2) Штатив с держателем. 3) Стекланный шарик на нитке, привязанный к штативу.

Если имеется несколько камертонов на одну и ту же частоту, то следует выбрать из них два наиболее подходящие.

Один из камертонов зажимают за ножку в штатив. К ветви камертона приближают вплотную шарик, подвешенный, как показано на рисунке 72. Возбуждая колебания другого камертона, прижимают его

ножку к ножке первого. Шарик начинает отскакивать (на 2—3 см) от ветви второго камертона, резонирующего на звук первого. Если несколько изменить частоту одного из камертонов, приклеив к его ветви кусочек воску (или если взять камертон другой частоты), отскакивания шарика не наблюдается.

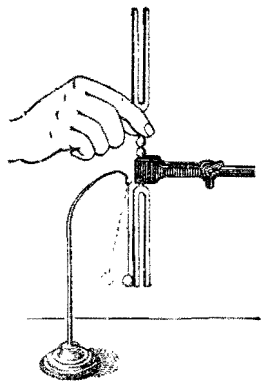


Рис. 72. Резонанс камертонов.

3. Резонанс струн. 1) Сонометр (§ 8, 3). 2) Смычок (§ 1, 4). 3) Бумажные наездники (§ 8, 4).

1) Настраивают две струны сонометра в унисон. Возбуждают одну из струн (смычком или просто дернув за нее). Если через 1—2 сек. остановить струну, то звук продолжается. Это звучит вторая струна. Можно также обнаружить резонанс второй струны по соскакиванию насаженных на нее бумажных наездников. При отсутствии унисона эти явления не замечаются.

2) Настраивают одну струну на октаву выше другой, взяв более тонкую или укоротив струну посредством кобылки (§ 8, 3). Если возбудить колебания струны, дающей низкий тон, то вторая резонирует на ее первый обертон. Если, наоборот, возбудить колебания второй струны, то резонирует первый обертон первой струны. При этом надо насадить бумажных наездников на расстояниях одной четверти, половины и трех четвертей от конца первой струны. Первый и третий наездники соскочат, а второй останется на месте, так как для первого обертона в середине находится пучность.

За отсутствием сонометра эти опыты можно воспроизвести на гитаре.

4. Резонанс воздушного столба. 1) Камертон (без резонансного ящика), частота не меньше 300 гц. 2) Высокий сосуд ($h = 40—60$ см). 3) Отрезок стеклянной трубы (длина немного больше высоты сосуда, диаметр 5—6 см). 4) Билка.

Наливают в сосуд воды. Погружают в него трубку. Возбуждают камертон и помещают над трубкой (рис. 73). Поднимают вверх трубку, продолжая держать над ней камертон. При некотором определенном положении трубки слышится усиление звука. Это резонирует столб воздуха в трубке (основной тон). Если частота камертона велика, можно, поднимая трубку еще выше, найти второе и следующие положения трубки, при которых слышно усиление звука (резонанс первого и следующих обертонов).

Вместо камертона можно взять телефон, питаемый от звукового генератора (§ 1, 11), или свисток-манилку для подманивания птиц.

5*. Измерение длины звуковой волны в воздухе методом резонанса. 1) Стеклянная трубка ($d = 4—6$ см, $l = 80$ см), с одного конца откры-

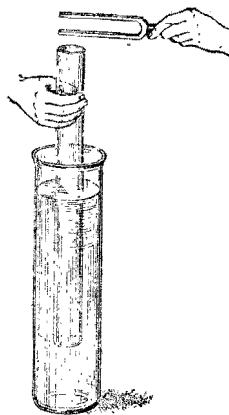


Рис. 73. Резонанс воздушного столба.

тая, с другого закрытая пробкой, со вставленной стеклянной трубкой и резиновой трубкой. 2) Кружка или бутылка с тубусом внизу. 3) Камертон 6° — 1000 гц, достаточно мощный (масса не меньше 100 г). 4) Билка. 5) Масштабная линейка. 6) Штатив с двумя широкими держателями. 7) Карандаш для писания по стеклу.

Приборы располагаются, как показано на рисунке 74. Наливают в трубку воды. Один учащийся поднимает кружку так, чтобы вода почти достигала края трубки. Возбуждают колебания камертона и помещают его над трубкой. Медленно опускают кружку. Отыскав положение уровня, при котором получается усиление звука камертона, отмечают его на трубке. Повторяют опыт, проверяя правильность отметки. Затем таким же образом находят более низкие положения уровня воды, при которых получаются усиления звука.

Измеряют расстояния между метками на трубе и находят арифметическое среднее. Так как у поверхности воды находится узел резонирующего столба воздуха, то это найденное расстояние равно половине длины звуковой волны в воздухе. Затем вычисляют скорость звука по формуле:

$$c = 33\,100 \sqrt{1 + 0,0037t},$$

где t — температура воздуха.

Отсюда находят частоту колебания $f = \frac{c}{\lambda}$ и сверяют результат с частотой камертона, выбитой на нем.

6. Резонаторы Гельмгольца. 1) Набор резонаторов Гельмгольца. 2) Набор соответствующих камертонов. 3) Сонометр.

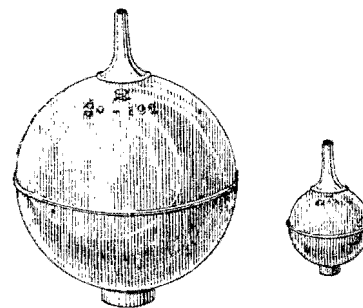


Рис. 75. Резонаторы Гельмгольца.

Резонаторы Гельмгольца представляют собой шары с двумя выступами, оканчивающимися отверстиями (рис. 75). Один выступ — широкий с отверстием, имеющим плоско срезанные края, служит для приема колебаний. Другой выступ — узкий, воронкообразный, с закругленными концами и маленьким отверстием на конце, вставляется в ухо.

На резонаторах обычно бывает надпись, указывающая собственную частоту резонатора. Ее можно вычислить по формуле:

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{d}{V}},$$

где c — скорость звука, d — диаметр широкого отверстия, V — объем полости резонатора.

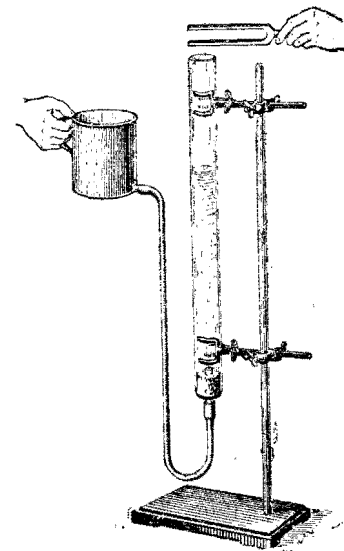


Рис. 74. Измерение длины звуковой волны в воздухе методом резонанса.

Эта формула применима только к шаровым резонаторам.

Учащимся раздаются резонаторы. Возбуждают поочередно колебания камертонов различной высоты, причем учащийся, пользующийся соответствующим резонатором, слышит звук. Остальные резонаторы молчат.

При звучании струны, настроенной на тон, на который резонирует наибольший резонатор, можно слы-



Рис. 76. Конические резонаторы.

Рис. 77. Цилиндрические резонаторы.

Рис. 78. Резонаторы из консервных банок. Рис. 79. Резонатор с современной собственной частотой.

шать звучание резонаторов, отвечающих на обертоны струны. При шуме, громком разговоре и т. п. звучание слышно во всех резонаторах.

При передаче резонаторов от одного учащегося к другому их следует дезинфицировать ваткой, смоченной денатуратом.

Кроме круглых резонаторов бывают конические (рис. 76) или цилиндрические (рис. 77), металлические или картонные. Можно изготовить самодельные резонаторы из картона или из консервных банок (рис. 78). В банках делают два отверстия: одно диаметром 3—4 см, другое — 5—6 мм. Меньшее отверстие вплотную приближают к уху. Если сделать резонатор из двух банок, входящих одна в другую, то можно менять тон резонатора, вдвигая и выдвигая их (рис. 79).

Если вместо камертонов и струн воспользоваться сиреной или звуковым генератором, непрерывно изменяя высоту тона, то резонаторы поочередно отвечают на их звуки.

§ 7. Высота звука.

1. Зависимость высоты тона от частоты колебаний. 1) Газолампный манометр (§ 2, 6). 2) Вращающаяся зеркальная призма.

Устанавливают приборы так, как описано в § 2, 6. Приводят зеркальную призму в равномерное вращение. Поют в раструб манометра какую-нибудь согласную на тона различной высоты. По ширине зубчиков на полосе, видимой в зеркале, можно убедиться, что более высоким звуком соответствует большая частота.

2. Зависимость высоты тона от частоты колебаний. 1) Полотно от ножовки (лучше с притупленными зубцами). 2) Кусок картона (размером с игральную карту).

Проводят краем картона по зубцам полотна ножовки. Слышен тон, высота которого зависит от скорости движения, т. е. от частоты.

3. Зависимость высоты тона от частоты колебаний. 1) Колеса Савара. 2) Центробежная машина (т. II, § 42, 3). 3) Трубка, свернутая из картона или из плотной бумаги (удобно взять трубку из гофрированной бумаги, служащей для упаковки электрических ламп).

Колеса Савара (рис. 80) представляют собой четыре металлических диска, насаженных на общую ось, приспособленную для установки на центробежной машине. На дисках нарезаны зубцы, причем числа зубцов на отдельных дисках относятся, как $1 : \frac{5}{4} : \frac{3}{2} : 2$ (например 40, 50, 60 и 80 зубцов).

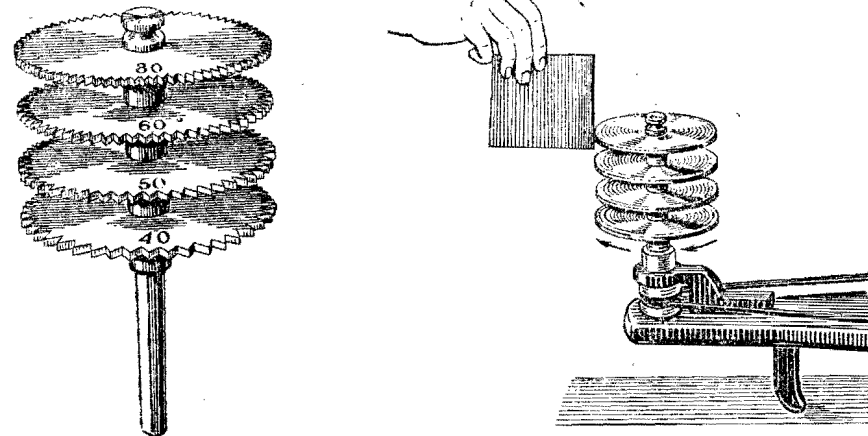


Рис. 80. Колеса Савара.

Насадив колеса Савара на центробежную машину (т. II, § 42, 3), приводят ее в быстрое вращение. Взяв за край кусок картона (10 см × 10 см), другим краем прикасаются к зубцам колес Савара (поочередно или ко всем сразу). Слышны тона, образующие мажорный аккорд. Более чистые звуки получаются, если кусок картона заменить трубкой, свернутой из картона или плотной бумаги ($d = 5$ см), и касаться зубцов колес ее серединой. При увеличении скорости вращения колес Савара высота тонов увеличивается, но интервалы, ими образуемые, остаются без изменения.

4. Зависимость высоты тона от частоты колебаний. 1) Сирена Опельга. 2) Акустический мех. 3) Центробежная машина.

1) Вращают сирену и продувают воздух через трубку, держат ее конец против ряда отверстий на расстоянии около 5 мм. Трубку располагают перпендикулярно к плоскости диска сирены. Получается звук, высота которого увеличивается со скоростью вращения. При круглых отверстиях колебания воздуха не имеют синусоидального характера, и звук имеет ясно выраженный своеобразный тембр. Благодаря разной чувствительности нашего уха к разной высоте звукам, звук усиливается при ускорении вращения. Число колебаний получающегося звука равно числу отверстий, помноженному на число оборотов диска. Наиболее громкие звуки получаются при числе перерывов струи около

1000 раз в секунду. Получив звук при большем числе оборотов, задерживаем диск и получаем характерный для сирены воющий звук с непрерывно изменяющимся числом колебаний.

2) Сохраняя скорость вращения диска неизменной, переводят струю по диску в направлении радиуса. Благодаря разному числу отверстий высота звука меняется. Обычно сирена при этом дает мажорное трехзвучие и октаву.

3) Пользуясь трубкой с несколькими соплами, можно получить аккорд, однако при этом, если дуть воздух ртом, звуки получаются очень незначительной громкости.

5*. Определение частоты колебаний струны или камертона.

1) Сирена Оп п е л ь т а. 2) Электромотор (коллекторный) с реостатом. 3) Камертон или сонометр, или балалайка.

Если вращать сирену при помощи электрического мотора и регулировать число оборотов при помощи реостата, то можно сравнить звук, даваемый сиреной, с звуком камертона или струны какого-нибудь музыкального инструмента (скрипки, балалайки). Чтобы определить число колебаний при помощи сирены, надо знать число оборотов диска. Число оборотов можно определить при помощи тахометра (т. II, § 15, 2). Тахометр присоединяют к оси мотора при помощи куска толстой резиновой трубки. Точность, даваемая тахометром, очень невелика. Число оборотов можно определить точнее синхроническим методом, пользуясь неоновой лампой (т. II, § 15, 3).

6*. Определение частоты колебаний камертона или струны.

1) Сирена Кан ь я р-Л а-Т у р а. 2) Акустический мех или баллон с углекислым газом. 3) Камертон (или сонометр).

Определить при помощи сирены Кан ь я р-Л а-Т у р а частоту колебаний камертона, трубы или струны можно только в том случае, если есть надежный источник сжатого воздуха, дающий возможность поддерживать вращение диска в течение 30—60 сек. Опыт производится так.

Разгоняют сирену, чтобы ее звук по высоте приблизительно совпадал с звуком камертона (желательно иметь камертон достаточно высокого тона). Затем, усиливая или ослабляя дутье, окончательно настраивают сирену в унисон с камертоном при выключенном счетчике. Когда этого добились, поддерживают силу дутья постоянной (это представляет самую трудную сторону опыта) и по секундомеру или часам с секундной стрелкой включают счетчик, через 30 или 60 сек. его выключают. Отсчитывают число оборотов диска. Помножают число оборотов в 1 сек. на число отверстий диска. Опыт не дает точных результатов, так как трудно настроить сирену в унисон и особенно поддерживать унисон во время опыта; равным образом включение и выключение счетчика рукой производится недостаточно точно. Включение счетчика увеличивает сопротивление вращения диска и расстраивает сирену. Способ измерения числа колебаний при помощи сирены сейчас не применяется¹⁾.

¹⁾ Усовершенствованием сирены Кан ь я р-Л а-Т у р а занимался Г е л ь м-гольц, который построил сирены, дающие сразу несколько звуков разной высоты, и добился при помощи особой формы отверстия получения более чистого звука,

7. Получение мажорного аккорда посредством сирены. 1) Четыре диска с отверстиями (рис. 81). 2) Стеклоанное сопло для дутья (§ 1, 5). 3) Акустический мех. 4) Центробежная машина (с электрическим приводом) с приспособлением для закрепления дисков на оси.

Диски с отверстиями изготавливают из картона. Первые три диска имеют 4, 5 и 6 равноотстоящих отверстий. Четвертый диск подклады-

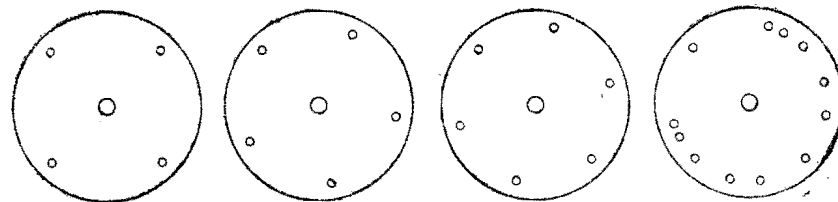


Рис. 81. Диски для сирены, дающие мажорный аккорд.

вается под каждый из первых трех во время продувания их и имеет, таким образом, 15 (или меньше) отверстий, среди которых можно найти 4, 5 и 6 равноотстоящих отверстий. На рисунке 81 четвертый диск имеет 12 отверстий.

Накладывают поочередно три первых диска на четвертый. Показывают на свет, что 12 отверстий четвертого отверстия включают в себе 4, 5 и 6 равноотстоящих отверстий. Насаживают четвертый диск на центробежную машину. Приводят ее во вращение и продувают воздух. Слышен мажорный аккорд.

Объяснение таково: можно рассматривать получившийся звук как сочетание трех нот, частоты которых относятся, как 4:5:6. Такие ноты образуют мажорный аккорд (например *do—mi—sol*).

8. Определение частоты тона свистка. 1) Свисток. 2) Резиновая

груша. 3) Резиновая трубка. 4) Пробирка с удлиняющей картонной трубкой (удлиняющая картонная трубка к пробирке нужна для того, чтобы, передвигая трубку, можно было изменять длину пробирки). 5) Мелкий пробковый порошок. 6) Штатив с держателем. 7) Масштабная линейка.

В пробирку насыпают немного пробкового порошка и закрепляют в штативе в горизонтальном положении, приняв меры к тому, чтобы порошок расположился равномерно по всей длине трубки и притом с одного бока (ср. т. II, § 58, 2). Перед пробиркой располагают, как показано на рисунке 82, свисток, приводимый в действие резиновой грушей (дуть в свисток ртом не рекомендуется, так как это увлажняет пробковый порошок и он теряет способность легко передвигаться).

Сильно дуют в свисток, меняя длину пробирки. При некоторой определенной длине пробирки в ней получаются стоячие волны,



Рис. 82. Измерение длины звуковой волны в воздухе по методу пыльных фигур. Вверху показан разрез трубки со слоем порошка.

и порошинки в пучностях разбрасываются. Измеряют расстояние между крайними пучностями. Деля это расстояние на половину числа промежутков между пучностями, находят длину звуковой волны, даваемой свистком. Вычисляют скорость звука в воздухе по формуле:

$$c = 33100\sqrt{1 + 0,0037 t},$$

где t — температура воздуха.

Вычисляют частоту по формуле:

$$f = \frac{c}{\lambda}.$$

9*. Определение частоты колебаний камертона. 1) Камертон, по возможности массивный, частота не больше 400 гц; с пишущим острием (§ 9, 8). 2) Полотно от ножовки с грузом и острием на конце (длина 15—20 см). 3) Деревянные дощечки и планки. 4) Металлические струбцинки. 5) Смычок. 6) Закопченная стеклянная пластинка, с прикрепленной ниткой (посредством сургуча). 7) Деревянная доска с двумя параллельными планками для движения между ними стеклянной пластинки. 8) Секундомер (или часы с секундной стрелкой). 9) Иголка.

Закрепляют при помощи струбцинок и деревянных дощечек камертон и ножовку на краю стола или на доске, положенной на край



Рис. 83. Установка для определения частоты камертона.

стола (рис. 83). Для закрепления камертона в дощечке прорезают канавки по размерам ножки камертона. Ножовку закрепляют в брусочке дерева, в котором сделан тонкий пропилен такой глубины и ширины, чтобы ножовка с большим трением входила в него. Затем камертон и брусочек с ножовкой зажимают при помощи одной или двух струбцинок, как показано на рисунке 83. Длина колеблющейся части ножовки должна быть отрегулирована так, чтобы она делала 3—6 колебаний в секунду. Пишущие острия камертона и ножовки должны быть рядом и на одной высоте. Устанавливают под камертоном и ножовкой доску с укрепленной на ней закопченной пластинкой; доску с пластинкой помещают так, чтобы при продвижении пластинки оба острия чертили по ней, чуть касаясь ее.

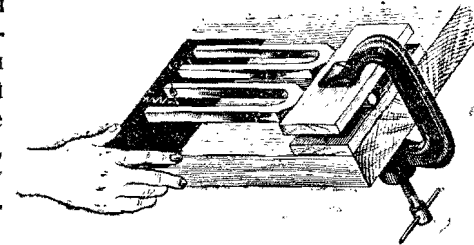
Отведя пластинку в сторону, возбуждают смычком колебания камертона и тотчас же пускают колебаться ножовку. Быстро и равномерно продвигают закопченную пластинку. Получаются две синусоиды.

Пользуясь лупой, сосчитывают число колебаний камертона, соответствующее двум-трем колебаниям ножовки (чтобы не сбиться в счете, следует иголкой отмечать уже сосчитанные горбы на синусоиде). Затем определяют частоту колебания ножовки. Для этого приводят в колебание ножовку и отсчитывают по секундомеру (или по движению секундной стрелки часов) время, необходимое для 60—90 колебаний ножовки. Чтобы отсчитать колебания ножовки, подставляют какой-нибудь металлический предмет близко к закрепленному концу ножовки, чтобы она, колеблясь, слегка стучала по нему. Так как

отсчитать каждое колебание ножовки нельзя, то отсчитывают через два колебания (3-е, 6-е и т. д.), загибая один за другим пальцы при третьем ударе.

Определив частоту колебаний ножовки, умножают ее на число колебаний камертона, соответствующее одному колебанию ножовки. Это и будет частота камертона. Сверяют это с надписью на камертоне¹⁾.

Для закрепления записи на закопченной пластинке ее осторожно обливают спиртовым раствором канифоли (или окунают в него). Слив лишний раствор, дают пластинке высохнуть. Процесс высыхания можно ускорить, слегка подогреть пластинку над пламенем. Если желательно избежать некоторой липкости, которая остается после высыхания канифоли, можно, кроме того, покрыть пластинку тонким слоем разбавленного водой канцелярского клея.



10. Сравнение частот колебаний двух камертонов. 1) Два камертона разной высоты (например образующие большую терцию) с пишущими остриями (§ 9, 8). 2) Струбцинки и деревянные дощечки для зажимания камертонов. 3) Смычок. 4) Закопченная стеклянная пластинка.

Рис. 84. Одновременная запись колебаний двух камертонов.

Укрепляют камертоны посредством струбцинок и дощечек над краем стола. Под ними располагают закопченную пластинку (рис. 84).

Регулируют положения камертонов так, чтобы острия слабо касались пластинки. Приводят оба камертона посредством смычка в сильное дрожание и одновременно быстро и равномерно проводят под ними закопченную пластинку. Получаются две синусоиды. Затем на пластинке проводят иголкой две параллельные линии в направлении, перпендикулярном к синусоидам (можно для этого воспользоваться дощечкой с двумя иголками). Параллельные линии вырезают из синусоид участки равной длины (рис. 85). Проектируют закопченную пластинку на экран. Сосчитывают число колебаний на синусоидах на участках между прямыми линиями и убеждаются, что эти числа относятся, как 5:4 (в случае большой терции).

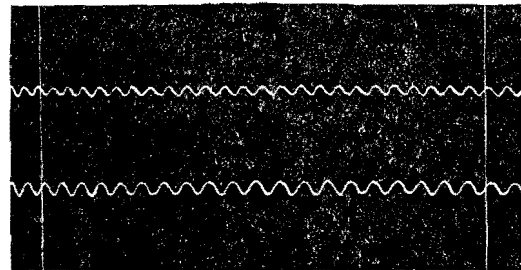


Рис. 85. Кривые колебаний двух камертонов, дающих большую терцию (в натуральную величину).

пользоваться дощечкой с двумя иголками). Параллельные линии вырезают из синусоид участки равной длины (рис. 85). Проектируют закопченную пластинку на экран. Сосчитывают число колебаний на синусоидах на участках между прямыми линиями и убеждаются, что эти числа относятся, как 5:4 (в случае большой терции).

¹⁾ Надписи на камертонах германского изготовления указывают не частоту, а число полупериодов в 1 сек.

11. Определение верхней границы слуха при помощи свистка Гальтона. 1) Свисток Гальтона (§ 1, 9). 2) Резиновая груша. 3) Резиновая трубка. 4) Чувствительное пламя (§ 2, 3).

Устанавливают свисток на наименьшую частоту звука. Предлагают учащимся обращать внимание только на основной тон свистка, пояснив, что тон свистка сопровождается некоторым шипением, возникающим при выходе воздуха из сопла. Не сильно нажимая грушу, вызывают свист. Постепенно повышают высоту свиста и отмечают момент, когда свист перестает быть слышен. Этот момент для разных лиц может быть различен. Определяют верхнюю границу слуха (для нормального слуха около 20 000 гц).

Можно также демонстрировать существование верхней границы слуха, пользуясь звуковым генератором (§ 11). Постепенно, повышая тон, издаваемый генератором, можно заметить момент исчезновения звука.

СВОЙСТВА ЗВУЧАЩИХ ТЕЛ.

§ 8. Колебания струн.

1. Получение стоячих волн в нити. 1) Электрический звонок. 2) Аккумулятор. 3) Белая нить или тонкий белый шнурок (1,5—2 м). 4) Легкий грузик (5—10 г). 5) Два штатива. 6) Провода. 7) Ключ (замыкатель).

Настоящий опыт дается как дополнение к опыту, описанному в томе II, § 55, 2.

1) С электрического звонка снимают колокольчик. Оставшуюся часть закрепляют в штативе, как показано на рисунке 86, и присоединяют к аккумулятору через ключ. К молоточку привязывают нить. К другому концу нити привязывают грузик и перекидывают через держатель штатива, сделав 1—2 оборота.

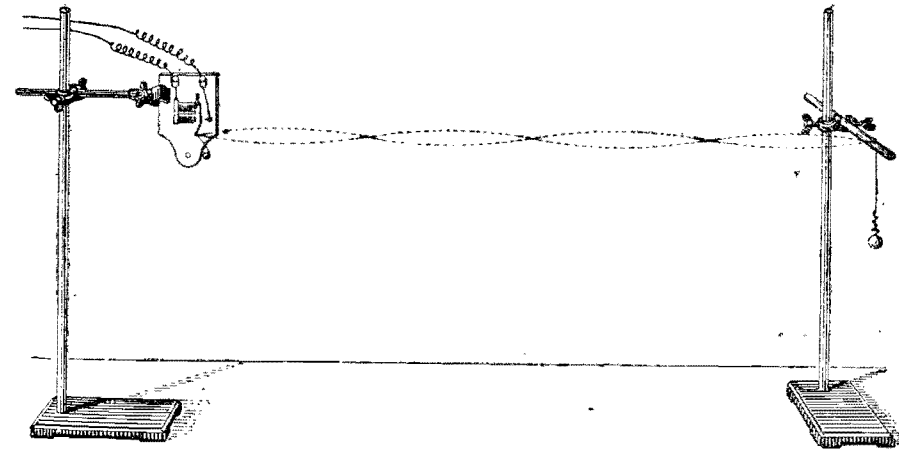


Рис. 86. Получение стоячих волн в нити.

Приводят в действие звонок, замыкая ключ. Меняют постепенно натяжение нити, сдвигая штатив. При некоторых степенях натяжения нити на ней возникают стоячие волны. Число стоячих волн, укладываемых на нити, уменьшается при увеличении натяжения нити.

Вместо того чтобы располагать нить в направлении, перпендикулярном к плоскости колебаний молоточка, можно расположить ее в той же плоскости. В первом случае частота колебаний нити совпадает с частотой колебаний молоточка. Во втором случае она вдвое меньше (легко сообразить, что полному колебанию молоточка соответствует половина колебания нити). Поэтому для получения, например, двух пучностей при первом положении нити требуется (при той же

длине) в $\sqrt{2}$ раз большее натяжение, чем во втором положении. Иногда бывает, что получить одну пучность удается только при втором положении нити; в первом положении слишком сильное натяжение останавливает молоточек.

2) К молоточку присоединяют нить, связанную из двух частей: первая состоит из одной нити (1—1,2 м); вторая часть вдвое короче

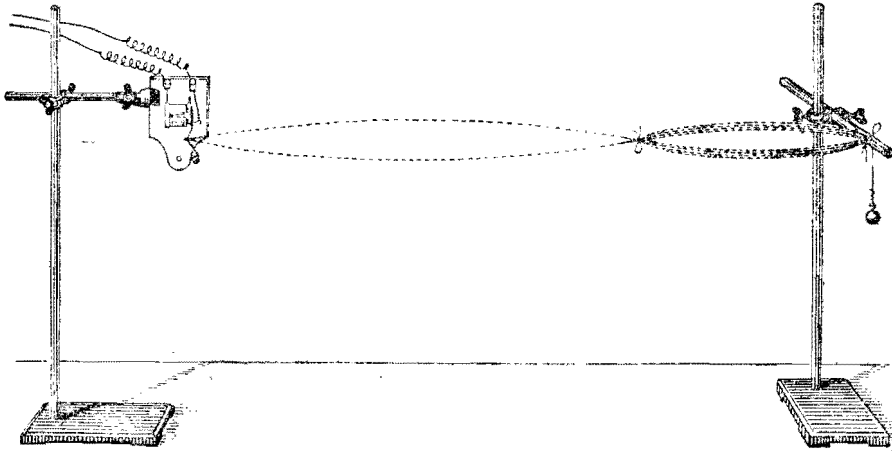


Рис. 87. Стоячие волны нити, состоящей из последовательно соединенных толстой и тонкой нитей.

первой и состоит из четырех параллельных нитей (рис. 87). При получении стоячих волн можно получить две пучности и узел, приходящийся как раз на границу между тонкой и толстой частями нити. Этим доказывается, что скорость распространения колебаний в нити обратно пропорциональна корню квадратному из массы единицы длины нити.

2. Стробоскопическое наблюдение колебаний нити. 1) Проекционный фонарь. 2) Картонный диск с прорезом (рис. 88). 3) Центробежная машина. 4) Принадлежности для опыта со стоячими волнами в нити (§ 8, 1).

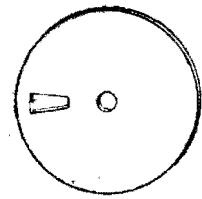


Рис. 88. Диск для стробоскопического наблюдения колебаний нити.

Устанавливают перед конденсором фонаря кусок картона с прорезом ($l = 5$ см, $b = 1$ см) (прорез расположить горизонтально). Перед картоном помещают диск с прорезом, установленный на центробежной машине. На расстоянии 1—2 м располагают нить для получения стоячих волн. Устанавливают приборы так, чтобы нить находилась посередине светового поля, даваемого фонарем сквозь прорез в картоне.

Получают стоячие волны на нити. Вращают диск с прорезом. Меняя скорость вращения, добиваются, чтобы нить казалась медленно колеблющейся.

3. Законы колебаний струн. 1) Сонометр. 2) Смычок.

Сонометр представляет собой длинный деревянный ящик с натянутыми на нем стальными струнами (обычно 3 струны) (рис. 89 и 90).

Деревянный ящик служит для усиления звука. Две крайние струны натянуты на железных колках. Средняя струна обычно натягивается грузом, для чего сбоку ящика имеется блок. К сонометру прилагаются: 1) две деревянные подставки (кобылки), позволяющие изменять длину колеблющейся части струны; 2) глушитель (две складывающиеся дощечки, обитые замшей); 3) ключ для настройки. На верхней доске нанесены деления. Наиболее удобная длина свободной части струн

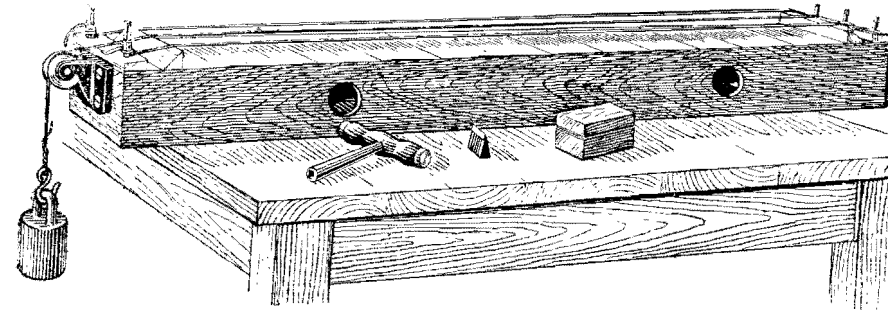


Рис. 89. Сонометр с тремя струнами. Спереди лежит ключ, кобылка и глушитель.

120 см. Струны лучше всего из рояльной проволоки. Можно также натянуть струны для контрабаса (в магазинах музыкальных принадлежностей продается набор из четырех струн различной массы; изменение массы достигается навиванием на стальную струну медной проволоки). Можно, наконец, натянуть тонкие балалаечные струны (продаются намотанными на небольшие катушки).

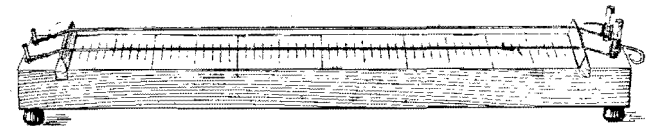


Рис. 90. Сонометр простого устройства.

Опыты по проверке законов колебания струн производятся так.

1) Навешивая на среднюю струну различные грузы, показывают, что частота колебаний струны прямо пропорциональна корню квадратному из натяжения струны. Навешивая груз, вчетверо больший, повышают частоту вдвое. Тон должен составлять октаву к первоначальному. Однако при столь большой разнице опыт выходит не чисто, интервал получается меньше октавы вследствие потери натяжения у кобылок. Поэтому лучше ограничиться навешиванием груза, в $\frac{25}{16}$ раза большего (например 6,4 кг и 10 кг), что соответствует большой терции между первым и вторым тонами. При выборе грузов следует помнить, что предел прочности стали $50—150 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$. Балалаечная струна ($d = 0,32$ мм) выдерживает натяжение 10—11 кг.

2) Испытывают две струны разной массы, натягивая их одним и тем же грузом. Более массивная струна дает низкий тон. Количественная проверка закона (частота обратно пропорциональна корню квадратному из массы струны) затруднительна.

3) Для проверки закона—частота колебаний струны обратно пропорциональна длине струны—настраивают две крайних струны в унисон (чтобы это возможно было сделать без риска оборвать струны, следует взять крайние струны одинаковыми). Длину одной струны укорачивают, подкладывая в надлежащем месте кобылку (рис. 91); для заглушения звука одной из частей струны ее зажимают в глушитель. Вторая струна служит для сравнения. Уменьшив длину струны вдвое (кобылка на середине), получают тон октавы выше тона второй струны. Поставив кобылку на расстоянии одной трети от конца и за-

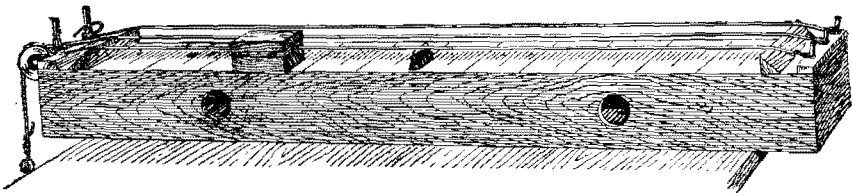


Рис. 91. Укорочение струны на сонометре с помощью кобылки и глушителя.

глушив колебания короткой части, получают тон выше тона второй струны на квинту (частота в три вторых раза выше). Затем ставят кобылку на расстояния одной четверти, одной пятой, одной шестой и одной девятой от конца, получают тона более высокие, чем тон второй струны, на кварту (четыре трети), на большую терцию (пять четвертых), на малую терцию (шесть пятых), на секунду (девять восьмых).

За отсутствием сонометра опыты, выясняющие зависимость частоты от длины струны, можно показать на балалайке или гитаре. Кобылку легко сделать из дерева. Заглушать колебания части струны можно просто рукой.

4. Узлы и пучности при колебаниях струны. 1) Сонометр. 2) Смычок. 3) Бумажные наездники из цветной бумаги.

Бумажные наездники—полоски плотной бумаги ($b = 2-3$ мм, $l = 20-30$ мм), согнутые в середине (рис. 92). На одну из струн насаживают в разных местах несколько (10—12) наездников. Возбуждают колебания струны, проводя по ней смычком. Все наездники, кроме расположенных у самых краев, слетают. В этом случае на струне образуется только одна пучность и два узла у краев струны.



Рис. 92. Бумажный наездник (рейтер) для струн.

Чтобы получить и обнаружить узлы посредине струны, ведут смычком по одному из тех мест, где должна быть пучность, одновременно касаясь пальцем одного из тех мест, где должны быть узлы. В остальных местах пучностей и узлов насаживают наездников. Пусть, например, мы хотим получить три узла посредине струны (четыре пучности). Тогда смычком надо вести на расстоянии одной восьмой длины струны от конца, а пальцем касаться на расстоянии одной

четверти от конца. На расстояниях трех восьмых, пяти восьмых и семи восьмых от конца заранее насаживаются наездники одного цвета, а на расстояниях одной второй и трех четвертей—другого цвета. При возбуждении струны смычком первые соскочат, а вторые останутся сидеть.

5. Запись колебаний струны. 1) Сонометр. 2) Воск, тонкая проволока. 3) Закопченная стеклянная пластинка. 4) Проекционный фонарь. 5) Смычок.

Натягивают на сонометр самую толстую струну из набора для контрабаса. На расстоянии одной четверти—одной пятой от конца прикрепляют воском щетинку или стальную проволочку (рис. 93). Возбу-

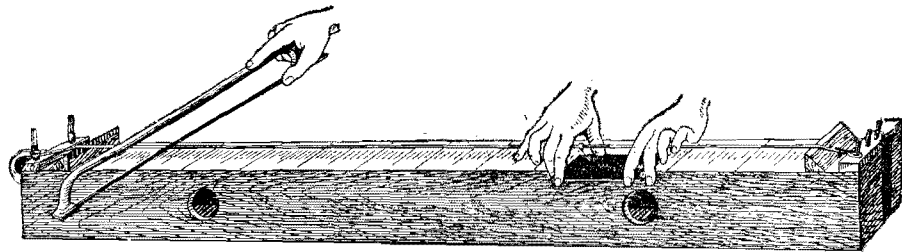


Рис. 93. Запись колебаний струны.

ждают смычком колебания струны и одновременно быстро проводят закопченным стеклом мимо щетинки. Щетинка вычерчивает график колебания, резко отличающийся от синусоиды (рис. 94). Пролагают получившиеся кривые на экран.

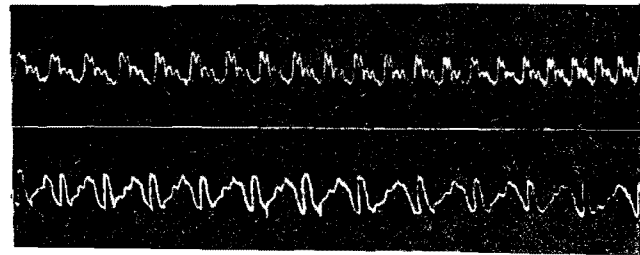


Рис. 94. Примеры записей колебаний струны при разных положениях смычка (в натуральную величину).

6. Развертывание на экране проекции колеблющейся струны. 1) Проекционный фонарь (с конденсором и объективом). 2) Струна, натянутая перед щелью (рис. 95). 3) Смычок; канифоль. 4) Зеркальная вращающаяся призма (г. II, § 48, 5).

За конденсором проекционного фонаря помещают струну, натянутую перед щелью, а за нею объектив. Далее на некотором расстоянии помещают вращающееся зеркало (рис. 96).

Получают на экране изображение отрезка струны, освещенное сквозь щель (рис. 97). При этом нужно фокусировать на струну, а не на щель. Приводят во вращение зеркало. На экране видна прямая черная линия на светлом фоне. Если струну возбудить, дернув за нее

или проводя по ней смывком, на экране видна кривая линия, характеризующая колебания струны.

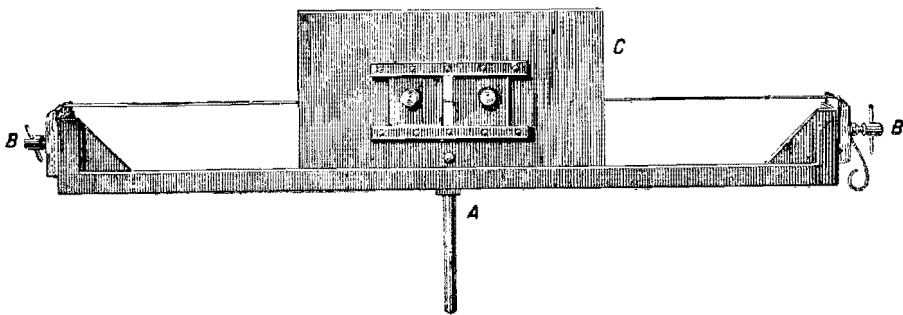


Рис. 95. Струна, натянутая перед щелью: *A* — железная скоба; *BB* — колки для закрепления струны; *C* — железная стенка со щелью.

Если нет струны, натянутой перед щелью, можно поместить на скамью фонаря щель, употребляемую для опытов по спектрам, а за нею сонометр, на котором натянута одна струна.

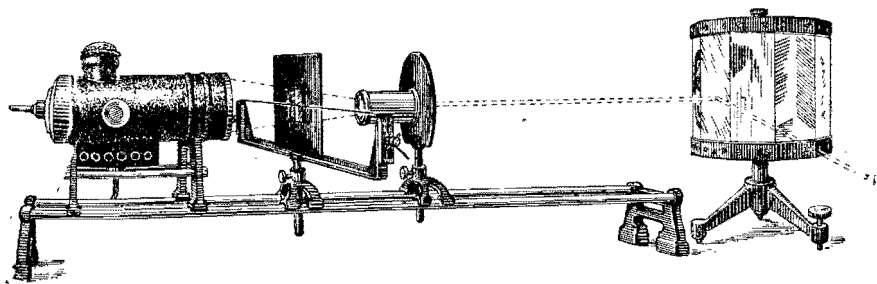


Рис. 96. Расположение приборов для развертывания колебаний струны на экране.

Вместо струны можно таким же образом проектировать колебания остря, прикрепленного к камертону.

Вместо объектива и вращающегося зеркала можно воспользоваться диском с линзами (т. II, § 48, 6).



Рис. 97. Таким должно быть изображение на экране неподвижной струны.

7. Обнаружение обертонов струны. 1) Сонометр. 2) Птичье перо.

Возбудив колебания струны дерганием на расстоянии одной четверти длины от конца, касаются бородкой пера (можно и просто пальцем) точно середины струны. Слышен тон на октаву выше (первый обертон).

Дергают струну посредине и касаются бородкой пера на расстоянии точно одной трети длины струны. Слышен второй обертон (на квинту выше первого).

Касаясь бородкой пера на расстоянии одной четверти, одной пятой и одной шестой звучащей струны, обнаруживают третий, четвертый

и пятый обертоны (третий на кварту выше второго, четвертый на большую терцию и т. д.).

8. Различие в тембре звука струны в зависимости от соотношения между амплитудами обертонов. 1) Сонометр.

Дергают струну на различных расстояниях от конца. Получающиеся звуки заметно разнятся в отношении тембра. Объяснение этому таково: меняя место дергания, мы меняем амплитуду колебаний частей струны, т. е. силу обертонов. При дергании в середине струны мы возбуждаем основной тон, и все четные обертоны (первый, третий и т. д. обертоны отсутствуют, так как для них посредине струны должен быть узел). Звук получается глуховатый. При дергании вблизи концов струны усиливаются высокие обертоны — получается звенящий звук.

9. Зависимость высоты тона струны от температуры. 1) Сонометр. 2) Трансформатор 120/6 (или аккумулятор на 4—6 в). 3) Провода, ключ. 4) Реостат на 3—4 а.

На сонометре натягивают две балалаечных струны. Настраивают струны в унисон. К концам одной из них подводят ток от трансформатора через реостат. Пускают ток и регулируют его так, чтобы струна немного нагрелась. Дернув за обе струны, наблюдают понижение тона у нагретой струны.

10. Продольные колебания в струнах. 1) Сонометр. 2) Кусок шерстяной материи (5 см × 5 см).

Смочив материю водой (или лучше денатуратом), сжимают струну в пальцах между материей и ведут материю вдоль струны. Слышен высокий тон, значительно отличающийся от тона поперечных колебаний струны. Это — продольные колебания струны. Если вести материей посредине струны, слышен тон меньшей высоты (основной); если вести материю ближе к концам струны, слышен более высокий тон (обертон).

Отметим, что высота тона почти не зависит от степени натяжения струны.

11. Опыты с роялем. 1) Рояль или пианино.

Если в школе имеется рояль или пианино (нерасстроенные), то стоит устроить при прохождении акустики небольшую экскурсию для осмотра этих инструментов (для группы человек в 10). Описанные далее опыты частично относятся к понятиям, демонстрируемым опытами, изложенными в следующих параграфах.

1) Открыв крышку рояля, можно наблюдать усиление звука с той стороны, куда отражаются звуки.

2) Устройство струн может служить иллюстрацией законов колебаний струны. Так как все струны, кроме басовых, имеют один и тот же диаметр и так как натяжение струн мало разнится между собой (можно видеть, что две струны, дающие два смежных тона, являются частями одной и той же проволоки), то длины струн обратно пропорциональны частотам. Смерив, например, длины струн, дающих тона, образующие октаву или квинту, можно убедиться, что эти длины относятся, как 1:2 или как 2:3.

3) Резонанс. Осторожно нажимают одну из средних клавиш так, чтобы демпфер (глушитель) был поднят, но молоточек по струне не ударил. Дернув за одну из трех струн, дающих данный тон, через короткое время гасят ее колебания, коснувшись ее пальцем. При этом слышен тот же тон. Это резонируют две струны, настроенные в унисон.

4) Резонанс струны на обертоны другой струны легко обнаружить таким образом: осторожно, чтобы не вызвать ударов молоточка, нажимают одну из средних клавиш и держат ее, не давая опускаться демпферу. Если теперь с силой нажать клавишу, соответствующую тону октавой ниже, и затем отпустить ее, то слышится тон на октаву выше. Это резонирует струна с поднятым демпфером на первый обертон более длинной струны.

Вместо одной клавиши можно нажать несколько, соответственно 1, 2, 3, 4 и 5 обертонам нижнего тона. Например, если в качестве основного тона мы выберем C , то надо нажать клавиши c, g, c_1, e_1 и g_1 . При сильном кратковременном нажиме на клавишу C мы услышим аккорд, состоящий из тонов c, g, c_1, e_1 и g_1 . Можно произвести этот опыт иначе. На все струны, дающие тона от c до g_1 , насаживаются бумажные наездники (§ 8, 4). Ударив C , мы увидим, что наездники на струнах, дающих тона c, g, c_1, e_1 и g_1 , задрожат (чтобы избежать соскакивания наездников вниз на деку рояля, так как их трудно оттуда вынуть, их надо взять подлинней). При ударе струны D дрожат наездники на струнах d, a, d_1, fis_1 и a_1 и т. д.

5) Можно, наоборот, вызвать резонанс обертонов в какой-нибудь струне на основной тон более короткой струны. Нажмем, например, клавишу D . Ударив по клавише d , мы услышим после того, как колебания струны d будут загашены демпфером, что тон d продолжается. Это звучит первый обертон струны D .

6) Можно, наконец, вызвать резонанс обертона в какой-нибудь струне на обертон другой струны. Нажмем, например, клавишу A и ударим по клавише D . Мы услышим тон a . Это резонирует первый обертон струны A на второй обертон D . Нажав G и ударив D , мы услышим тон d (второй обертон G и третий обертон D) и т. д.

7) Если нажать правую педаль и пропеть на определенный тон какую-нибудь гласную, то придут в колебание струны, дающие тона, соответствующие всем частотам, составляющим данный звук. Рояль ответит как бы эхом совершенно того же самого тембра (это гораздо явственней наблюдается на чужом голосе, так как человек слышит свой собственный голос несколько измененным вследствие резонанса собственной черепной коробки).

Этот опыт можно толковать как иллюстрацию и анализа, и синтеза звука. Если насадить на все струны очень легкие бумажные наездники и очень верно пропеть какую-нибудь гласную на определенный тон, то по дрожанию бумажки можно определить, какие тона составляют данный звук.

8) Чтобы получить флажолеты, следует ударять по какой-нибудь клавише и вместе с тем вести бородкой птичьего пера или пальцем¹⁾ по трем струнам, соответствующим данной клавише. Когда палец

1) Во избежание окисления струн следует их трогать пальцами поменьше.

будет на половине длины, слышен первый обертон, на одной трети длины — второй обертон и т. д.

9) Отсутствие обертонов струны, для которых в месте дергания клавиши должен быть узел (закон Юнга), можно показать так. Нажимают клавиши двух струн, дающих октаву. Более длинную струну дергают сперва на расстоянии одной трети длины, затем на расстоянии половины длины. В первом случае слышен резонанс более короткой струны, во втором не слышен (или почти не слышен).

Кроме опытов по акустике, рояль представляет собой много интересного и с точки зрения механики: устройство клавиатуры, как достигается „репетиция“ (возможность часто ударять одну и ту же клавишу) и т. д.

§ 9. Колебания камертонов, пластинок и колоколов.

1. Колебания узкой пластинки, закрепленной с одного конца. 1) Тиски. 2) Полотно ножовки.

Зажимают ножовку в тиски и заставляют ее колебаться. Уменьшают длину колеблющейся части; при этом получают все более высокие звуки. Этим доказывается, что частота колебаний пластинки зависит от длины.

2. Колебания камертонов. 1) Несколько камертонов различной высоты. Показывают, что высота тона камертона зависит от длины и толщины его ветвей.

3. Узлы и пучности в камертоне. 1) Камертон. 2) Смычок или билка. Возбудив звучание камертона, касаются пальцем или бородкой птичьего пера одной из ветвей камертона на расстоянии одной трети от конца. Основной тон при этом гасится, но слышен слабый тон более высокой частоты, являющийся обертоном камертона.

4. Обертоны камертона. 1) Камертон на резонансном ящике. 2) Смычок. Возбуждают камертон, проводя смычком на высоте приблизительно половины длины ветви (от основания). Слышен высокий пронзительный тон. У достаточно длинных камертонов можно возбудить также и второй обертон, проводя смычком на высоте примерно трети длины ветви (от основания).

5. Зависимость высоты тона камертона от температуры. 1) Два камертона, настроенные в унисон. 2) Смычок. 3) Сосуд с горячей водой (70—80°). 4) Тряпка.

Один из камертонов опускают на несколько минут в горячую воду. Вынимают и быстро вытирают. Немедленно возбуждают оба камертона. Слышны биения, частота которых постепенно убывает вследствие охлаждения камертона.

Более сильно греть камертон не следует, чтобы не отпустить стали.

6. Проектирование записи колебаний камертона (по А. А. Покровскому). 1) Камертон с острием (специальный § 9, 8). 2) Стеклопластинка (30 см × 30 см). 3) Мелкий песок. 4) Кинолампочка. 5) Трансформатор 220/12.

Ставят лампочку, питаемую от трансформатора, на полу. Над ней помещают стеклянную пластинку так, чтобы получить теньевую ее проекцию на потолок (рис. 98).

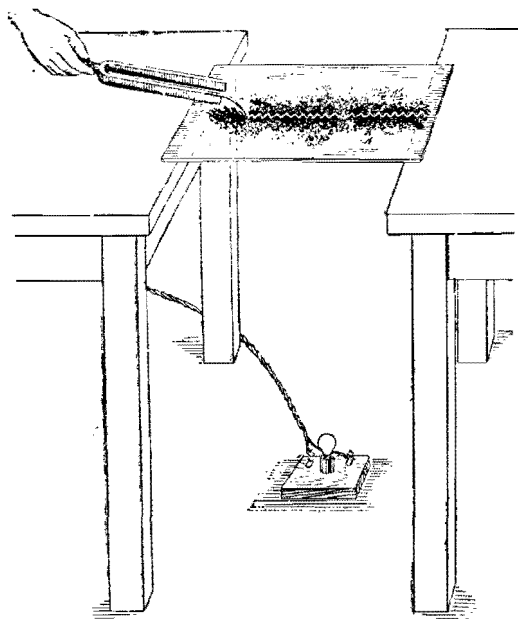


Рис. 98. Проектирование записи колебаний камертона на потолок.

вращающаяся зеркальная призма; диафрагма с круглым отверстием.

Колебания концов ветвей камертона происходят почти прямолинейно. Поэтому зайчик от приклеенного к ветви небольшого камертона зеркальца не движется по экрану. Чтобы получить движение зайчика по экрану, зеркальце (или просто кусочек очень тонкого стекла) приклеивают к полоске папиросной бумаги, в свою очередь приклеенной к ветвям камертона, как показано на рисунке 99. Колебания зайчика разворачиваются в кривую на экране также, как и в опыте § 8, 6, т. е. вращающимся зеркалом или движущимся диском с объективами. Схема расположения приборов показана на рисунке 100.

Рис. 99. Способление для превращения поступательных колебаний ветвей камертона в вращательные колебания (Z — зеркальце).

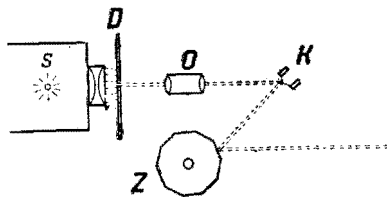


Рис. 100. Расположение приборов для разворачивания колебаний камертона на экран: S — источник света в проекционном фонаре; D — диафрагма с круглым отверстием; O — объектив; K — камертон; Z — вращающаяся зеркальная призма. Ось призмы под прямым углом к ветвям камертона.

8. Запись колебаний камертона. 1) Камертон с острием. 2) Закопченная стеклянная пластинка. 3) Проекционный фонарь.

Для записи колебаний камертона употребляют специальные, дающие низкий тон, с длинными, относительно тонкими ветвями, камертоны. К одной из ветвей привинчена двумя винтами тонкая стальная пластинка, заканчивающаяся острием (рис. 101). Для возбуждения такого камертона можно сильно сжать пальцами концы ветвей и отпустить.

Если камертона с пишущим острием нет, то можно прикрепить острие к обыкновенному, достаточно мощному камертону. Острие делается из тонкой стальной проволоки (струна балалайки) или из жесткой щетки и прикрепляется к ветви

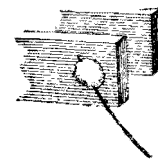


Рис. 102. Прикрепление острия к камертону.



Рис. 101. Камертон с острием.

камертона воском (рис. 102). Маленькие камертоны, служащие для настройки музыкальных инструментов, слишком быстро затухают и для записи кривых не годятся.

Для закапчивания можно взять стеклянную пластинку от испорченного негатива (9 см × 12 см). Ее необходимо совершенно отмыть от эмульсии. Чтобы легко и быстро закапчивать стеклянные пластинки, следует специально выделить спиртовку, наполнить ее смесью спирта и скипидара (50%), фитиль ее должен выдаваться вверх над светильной лишь на 1—2 мм.



Рис. 103. Доска с краями для движения закопченной пластинки.

Опыт производится так: возбуждая камертой, быстро и равномерно проводят дрожащим острием по закопченной пластинке, стараясь вести его по прямой линии. Можно также держать камертон неподвижно и двигать мимо него закопченную пластинку. Для этой цели можно прикрепить к пластинке посредством сургуча прочную нитку; чтобы пластинка двигалась равномерно, ее надо двигать между двумя планками, прикрепленными к доске (рис. 103). Получив на закопченной пластинке несколько волнистых линий, следует показать ее в проекции, как диапозитив.

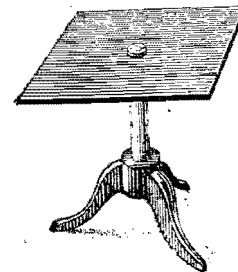


Рис. 104. Пластины Хладни. Все пластинки могут быть закреплены на одном штативе.

9. Узлы и пучности на колеблющихся пластинках (фигуры Хладни). 1) Пластины Хладни (рис. 104). 2) Смычок. 3) Канифоль. 4) Мелкий сухой песок (удобно держать его в небольшой стеклянной баночке, покрытой металлическим ситом).

Пластинки Хладни представляют собой металлические (латунные) или стеклянные пластинки квадратной, треугольной или круглой формы, закрепленные в геометрическом центре в прочном штативе или струбцинках.

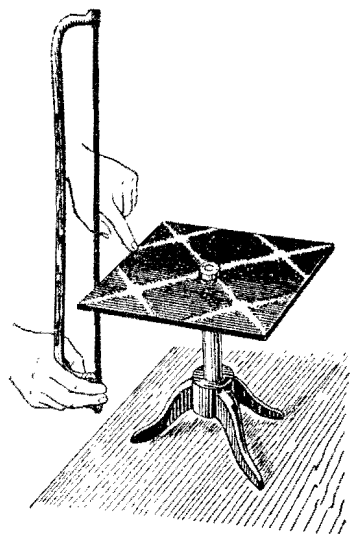


Рис. 105. Возбуждение колебаний пластинок Хладни.

Пластинки посыпаются тонким ровным слоем песка. Для приведения их в колебание надо вести смычком сверху вниз по тому месту края пластинки, где желаем получить пучность. Смычок должен быть перпендикулярен к плоскости пластинки. В том месте, где желаем получить узел, надо несильно прижать пальцем левой руки (рис. 105). В пучностях песок разбрасывается и собирается в узлах.

Обычно начинающий добивается успеха не с первого раза, а лишь несколько раз проведя смычком и уловив то движение, при котором получается звенящий звук и разбрасываются песчинки.

Меняя место касания смычка и пальца, можно получить разнообразные фигуры Хладни (рис. 106).

При отсутствии покупного прибора можно показать фигуры Хладни на любой

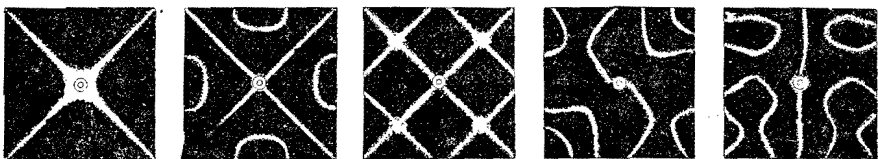


Рис. 106. Различные типы фигур Хладни (светлые полосы — песок).

металлической или стеклянной пластинке, зажатой при помощи струбцинки между двумя пробками ($d = 1 - 1,5 \text{ см}$) (рис. 107). Чтобы не порвать волос на смычке, следует края стеклянной пластинки загупить, проведя по ним мелким напильком.

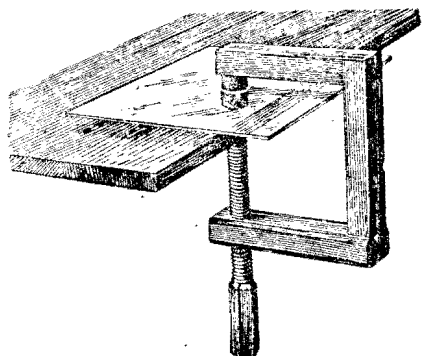


Рис. 107. Укрепление струбцинкой пластинок для получения фигур Хладни.

10. Узлы и пучности на колеблющемся колоколе. 1) Стеклянный колокол с четырьмя шариками, подвешенными на нитках (рис. 108). 2) Смычок.

Проводят смычком по верхнему краю колокола. Шарiki отскакивают. Если внутрь колокола налить воды (две трети его высоты), то в четырех пучностях получаются брызги, тогда как между ними вода остается спокойной (узлы).

Вместо покупного прибора можно взять стеклянную воронку, зажатую в держателе штатива и снизу закрытую пробкой (рис. 109). Можно, наконец, взять чайный стакан с водой. Воронка и стакан тоже приводятся в дрожание смычком.

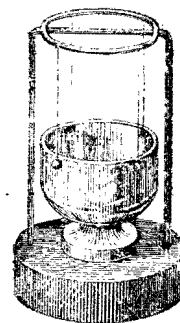


Рис. 108. Прибор для демонстрации колебаний колокола.

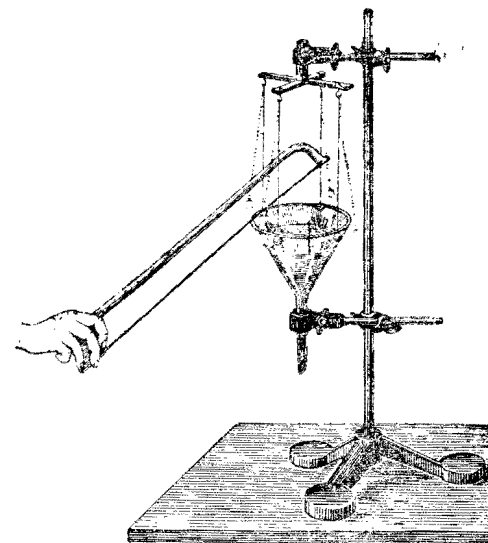


Рис. 109. Колебания стеклянной воронки.

11. Ксилофон. 1) Ксилофон. 2) Деревянный молоточек.

Ксилофон представляет собой ряд деревянных стержней различной длины, связанных шнуром (рис. 110). При ударе об один из стержней ухо не различает получающегося тона. При поочередных ударах об один из стержней ясно слышна разница тонов.

Можно изготовить самодельный ксилофон (из дощечек сухого соснового дерева длиной 10—20 см, шириной 2—3 см, толщиной 0,5—1,5 см). Для получения звуков различной высоты дощечки просто роняют на стол.

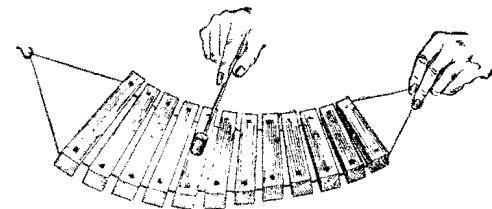


Рис. 110. Ксилофон.

12. Деревянная палка как музыкальный инструмент.

1) Тонкая палка ($d = 1 \text{ см}$, $l = 1 - 1,5 \text{ м}$), годится, например, „указка“ для доски.

Взяв в руки палку за один конец, стучат другим концом по столу, меняя место, которым палка ударяется о стол. Вследствие различной длины вибрирующего при этом конца палки меняется высота тона. После некоторого упражнения возможно наиграть какой-нибудь простой мотив.

§ 10. Колебания воздушных столбов.

1. Звучание воздушных столбов. 1) Высокий цилиндрический стеклянный сосуд.

Льют в сосуд тонкую струю воды. Воздушный столб в сосуде издает тон, высота которого повышается по мере укорочения столба.

2. Звучание воздушных столбов. 1) Несколько пробирок, заткнутых резиновыми пробками. 2) Стойка для пробирок.

В пробирки наливают до разной высоты воды так, чтобы звуки, издаваемые при откупоривании пробирок, составляли гамму или мажорный аккорд. В случае мажорного аккорда высоты воздушных столбов относятся, как $1 : \frac{5}{4} : \frac{3}{2} : 2$ (приблизительно).

Если пробирку подогреть, то при откупоривании слышен более высокий звук. Это происходит потому, что скорость звука в нагретом воздухе больше.

Если в пробирку перед откупориванием капнуть две-три капли эфира, звук слышен более низкий, так как в парах эфира скорость звука меньше.

3. Зависимость высоты тона от длины органной трубы. 1) Органная труба с выдвижным поршнем (рис. 111). 2) Акустический мех.

Продувают воздух сквозь трубу (не сильно) и меняют длину звучащего столба, выдвигая поршень. При удлинении звучащего столба тон понижается. Обычно на поршне имеется ряд меток, указывающих высоту тона, который получается, когда поршень выдвинут до данной метки.

4. Звучание труб, открытых с обоих концов и с одного конца. 1) Стеклянная трубка или металлическая трубка ($d = 3$ см, $l = 40-100$ см), заткнутая резиновой пробкой.

Вынув пробку, ударяют по отверстию трубы ладонью, оставляя ее прижатой. Слышен короткий низкий тон. Это — колебания воздушного столба, причем пучность находится у открытого конца трубы, а узел у закрытого. Затем затыкают трубку пробкой. Резко вытаскивают пробку. Слышен короткий тон на октаву выше. Это —

колебания воздушного столба в трубе, причем теперь узел находится посередине, а пучности по концам трубы.

5. Сравнение открытой и закрытой органных труб. 1) Открытая органная труба. 2) Акустический мех.

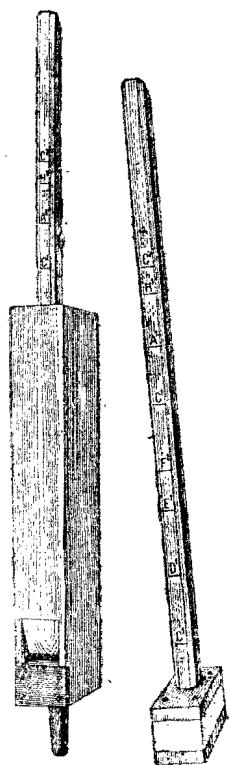


Рис. 111. Органная трубка с выдвижным поршнем. Справа показан поршень, вынутый из трубы.

Заставляют трубу издавать основной тон. Закрывают ее отверстия ладонью. Слышен тон приблизительно на октаву ниже. Неточность результата зависит от того, что положение пучности в открытой трубе не совпадает с концом трубы.

Дуть надо слабо. При сильном дутье при закрытии трубы ладонью можно получить один из верхних обертонов.

6. Сравнение открытой и закрытой органных труб. 1) Органная труба с задвижкой посередине (рис. 112). 2) Акустический мех.

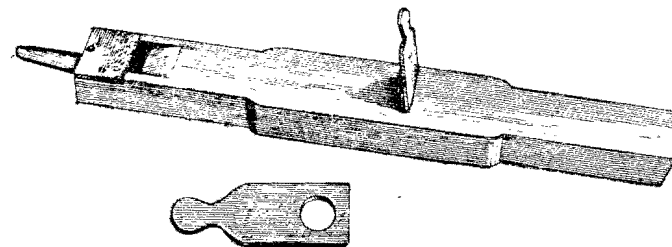


Рис. 112. Органная труба с задвижкой.

Одна половина задвижки сплошная, другая — с круглым отверстием посередине. При передвижении задвижки труба превращается из открытой в закрытую, вдвое более короткую.

Продувают воздух и показывают, что тон, издаваемый трубой, почти не меняется при вдвигании и выдвигании задвижки. Если наблюдается некоторое изменение тона при передвижении задвижки, это указывает на несовпадение узла с положением задвижки. Это может быть уменьшено ослаблением силы дутья.

7. Обнаружение движения воздуха в пучностях воздушных столбов. 1) Стеклянная органная труба (рис. 113). 2) Вращающийся диск (рис. 114). 3) Акустический мех.



Рис. 113. Стеклянная органная труба.

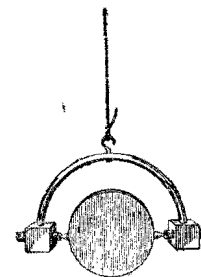


Рис. 114. Вращающийся диск.

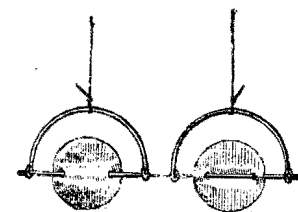


Рис. 115. Самодельный вращающийся диск (спереди и сзади).

Вращающийся диск представляет собой видоизменение диска Релея (§ 2, 8).

Самодельный прибор изготавливается так: кружок ($d = 3-4$ см) из тонкой фольги протыкается в двух местах иголкой, чтобы он легко

вращался вокруг иголки (рис. 115). Концы иголки закрепляются в проволочной дужке. К дужке прикрепляется нитка.

Показывают, что в спокойном воздухе диск располагается вертикально¹⁾, а в потоке воздуха перпендикулярно к нему.

Опускают диск в звучащую органную трубу. В пучностях диск располагается перпендикулярно к потоку. В узлах принимает наклонное положение.

8. Обнаружение изменения давления в узлах колеблющегося воздушного столба. 1) Стеклоанная органная труба. 2) Манометр Шиманского (§ 2, 7). 3) Акустический мех.

Для данного опыта следует клапан Шиманского поместить на манометр с одним длинным коленом (рис. 116). Опускают манометр в звучащую трубу. Когда клапан находится в узле, уровень жидкости в манометре поднимается. В пучностях уровни жидкости в обоих коленах манометра совпадают.

9. Определение положения узлов в колеблющемся столбе воздуха на слух. 1) Открытая органная труба. 2) Акустический мех. 3) Стеклоанная трубка ($d = 1 \text{ см}$; $l = 60-70 \text{ см}$), соединенная резиновой трубкой с отрезком стеклянной трубки, приспособленным для вставления в ухо.

Заставляют звучать органную трубу. Вставляют отрезок трубки в ухо и медленно вдвигают стеклянную трубку в органную трубу. Когда конец трубки находится в узле, слышно усиление звука.

Опыт выходит лучше, если конец трубки загнут (рис. 117).

10. Определение положения узлов в колеблющемся столбе воздуха телефоном. 1) Открытая органная труба возможно более широкая. 2) Акустический мех (или баллон с углекислым газом (§ 1, 10)). 3) Телефон (многоомный). 4) Гальванометр (чувствительность $10^{-6}-10^{-8}$). 5) Детектор кристаллический.

Составляют цепь из телефона, детектора и гальванометра (§ 2, 2). Трубу соединяют с акустическим мехом или с баллоном с углекислым газом. Заставляют трубу звучать (основной тон). Постепенно опускают телефон в трубу.

Гальванометр дает отклонения малые при положениях телефона вблизи верхнего и нижнего концов трубы (т. е. в месте пучностей) и большие в середине трубы (в узле колебания давления больше).

¹⁾ Так как иголка не проходит точно через центр тяжести кружка.

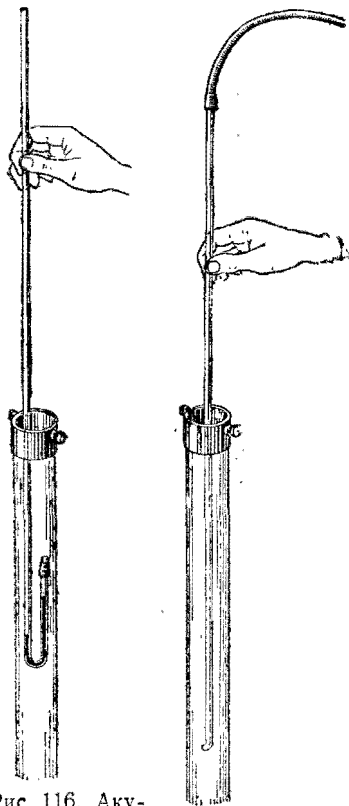


Рис. 116. Акустический манометр с длинным коленом.

Рис. 117. Акустический зонд.

Если при верхнем положении телефона закрыть трубу рукой, то заметно увеличение отклонения гальванометра. При этом труба превращается в закрытую, и узел смещается к верхнему концу трубы.

Если дуть сильнее, то труба дает более высокий тон, что означает, что внутри трубы образуется два или три узла. При этом можно обнаружить увеличение отклонения гальванометра в двух или трех местах.

11*. Узлы и пучности в комнате, где производится звук. 1) Газовая гармоника (§ 1, 13) или звуковой генератор (§ 1, 11).

Опыт производится в комнате с малым количеством мебели и материй, поглощающих звук. Устанавливают газовую гармонику на расстоянии 2—3 м от угла (следует попробовать несколько различных положений). Закрывают одно ухо и передвигаются по комнате. В некоторых местах ясно слышно усиление звука. Это — положения узлов.

Тот же опыт удается при помощи звукового генератора.

§ 11. Исследование сложных звуков.

1. Демонстрация звуковых кривых. 1) Прибор Лебедева-Фрелиха (фонодейк). 2) Проекционный фонарь с конденсором и объективом. 3) Круглая диафрагма. 4) Вращающаяся зеркальная призма.

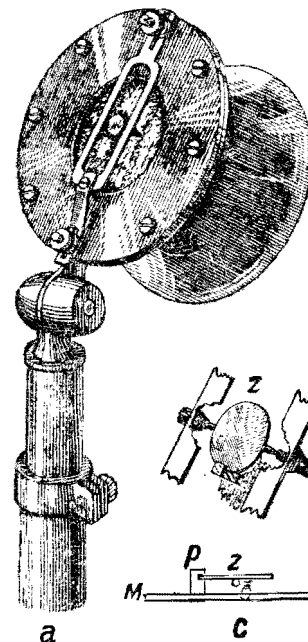


Рис. 118, I: *a*—общий вид прибора Лебедева-Фрелиха; *b*—деталь монтажной зеркальи; *c*—*M*—мембрана, *p*—пробковая пята; *z*—зеркальце; *O*—ось.

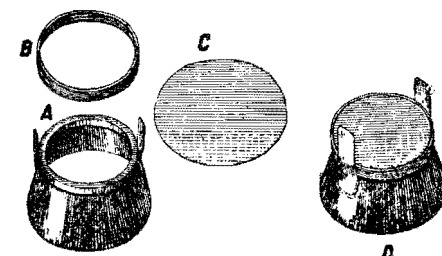


Рис. 118, II. Зажимание мембраны при помощи картонной трубки, надеваемой на металлическое кольцо: *A*—металлическое кольцо с припаянным к нему раструбом и ушками; *B*—картонное кольцо; *C*—папиросная бумага; *D*—прибор в собранном виде.

оси. ($l = 5-7 \text{ мм}$). На этой оси укреплено маленькое легкое зеркало, сделанное из покровного стеклышка для микроскопа, размером в 3—4 мм.

в поперечнике. Правильность его формы не имеет значения. К пробковой пластинке приклеивается маленький кусочек пробки в виде стерженька длиной 5—6 мм, толщиной 1—2 мм; ось стерженька должна быть перпендикулярна к мембране. Пробковый стерженька служит пятой, посредством которой колебания пластинки передаются зеркалу (для этого край зеркальца упирается в надрез в пробковом стерженьке). Прибор устанавливается так, что ось вращения зеркальца горизонтальна. За конденсором фонаря помещается круглая диафрагма ($d = 3—5$ мм). За ней помещается длиннофокусный объектив (пролагатель) таким образом, чтобы свет из фонаря, прошедший сквозь круглое отверстие, падал на зеркальце, отражался на вращающуюся зеркальную призму, а от нее отражался на экран, помещенный на расстоянии 2—5 м. Передвигая объектив, получают на экране изображение круглого отверстия (зайчик). Если у широкого отверстия трубы прибора Лебедева-Фрелиха производить звуки, например громко говорить, то пробковая мембрана будет дрожать. Поступательные колебания мембраны сопровождаются вращательными колебаниями зеркала, отчего зайчик колеблется в вертикальном направлении, и вместо круглого светлого пятна на экране видна растянутая вертикально светлая полоска. При вращении зеркальной призмы полоска разворачивается в кривую периодическую линию. Так как собственные колебания пробковой мембраны незначительны, то получающиеся кривые достаточно близко передают колебания воздуха при произнесении различных гласных.

При помощи данного прибора можно показать различие звуковых кривых для различных гласных, напеваемых на одну и ту же ноту. Можно показать, что кривая в случае камертона весьма близка к синусоиде.

Прибор Лебедева-Фрелиха может быть несколько упрощен. Прежде всего пробковый лист может быть заменен тонкой парафинированной бумагой (годится парафинированная бумага, употребляющаяся в качестве изолирующего слоя в телефонных конденсаторах). Ее надо зажать между металлическими кольцами при помощи прокладок из резины или толстой бумаги. Другой способ зажимания мембраны показан на рисунке 118, II. Можно просто приклеить бумагу к проволочному кольцу.

По способу Си р о ч и н с к о г о зеркальце надо укрепить при помощи трех маленьких пробок (рис. 119, I). Две пробки А, А насаживают на концы проволочной вилки, закрепленной одним из винтов, стягивающих металлические кольца, сжимающие мембрану, третья пробка В служит пятой так же, как и в приборе Лебедева-Фрелиха. Ее надо приклеить к мембране ничтожным количеством воска (1 мм^3), расплавляемого нагретой проволочкой. Пробочки, насаженные на концы вилки, должны иметь вид клинцев с острым углом. Это необходимо для уменьшения трения. Однако зеркальце должно быть закреплено настолько прочно, чтобы ось, около которой качается зеркальце, не смещалась (колебания оси приведут к тому, что на экране получится неподвижной призме не вертикальная полоска, а нечто вроде эллипса).

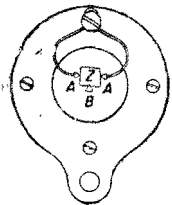


Рис. 119, I. Способ монтировки зеркальца Z (при помощи проволочной вилки и пробок А, А и В).

Более легкий способ монтировки зеркальца таков. Над мембраной на расстоянии 3—5 мм протягивается проволока ($d = 0,2$ мм). Проволоку можно натянуть, например, между двумя винтами, стягивающими кольца. На проволоку предварительно надевается отрезок тонко оттянутой стеклянной трубки ($l = 6—8$ мм, $d = 0,3$ мм). К стеклянной трубке приклеивается шеллак зеркальце (рис. 119, II). Это делается так: зеркальце кладется на дощечку блестящим слоем вниз; на нее кладется проволочка с надетым на нее отрезком стеклянной трубочки. Другую проволочку ($d = 0,5$ мм) накаливают на пламени, после чего касаются ею шеллачной пластинки ничтожных размеров, которая тотчас прилипает к ней. Затем эту проволочку вновь вносят в пламя так, чтобы кончик с прилипшей к нему шеллачной пластинкой был вне пламени. Шеллак плавится, образуя на кончике проволочки капельку объемом около 1 мм^3 . При помощи этой капельки приклеивают стеклянную трубочку к зеркальцу. Чтобы избежать колебаний проволочки следует под нее подвести две проволочных дужки, как показано на рисунке 119, II. Колебания мембраны передаются зеркальцу тоже при помощи пробковой пяты в виде стерженька с надрезом.

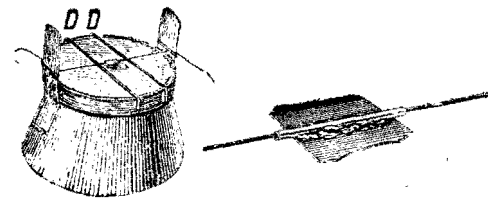


Рис. 119, II. Способ монтировки зеркальца при помощи стеклянной трубочки, надетой на проволоку. Проволока натянута между ушками. DD — проволочные дужки, исключющие колебания проволоки. Справа — зеркальце с приклеенной к нему стеклянной трубочкой.

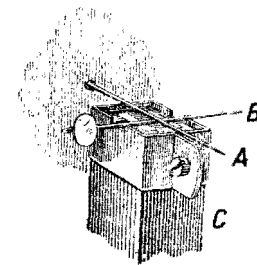


Рис. 119, III. Способ монтировки зеркальца при помощи магнита: А — иголка, приклеенная к мембране; В — иголка с зеркальцем; С — скоба, надеваемая на магнит (к ней припаивается кольцо для мембраны).

При колебаниях мембраны и связанной с ней второй иголки первая иголка и зеркальце вращаются взад и вперед. Если иголки достаточно тонки, то прибор очень чувствителен. Недостатком его является скольжение первой иголки по поверхности магнита, что приводит к расстройству установки. Чтобы избежать этого, рекомендуется потереть иголки канфолью. При этом способе монтировки зеркальца лучше взять мембрану с большой площадью ($d = 10—11$ см).

2. Опыты с газопламенным манометром. 1) Газопламенный манометр (§ 2, б). 2) Вращающаяся зеркальная призма.

При наблюдении колебаний пламени манометра во вращающемся зеркале видно, что различным гласным соответствуют различные формы

пламени. Наличие крупных и мелких зубчиков на развернутой зеркалом полосе пламени указывает на сложность звуков, вызывающих эти колебания пламени. Однако надо подчеркнуть, что кривая, ограничивающая верхний край полосы, видимой в зеркале, вовсе не является звуковой кривой.

3. Анализ звука (прибор Кенига). 1) Прибор Кенига (рис. 120).

Прибор Кенига состоит из нескольких шаровых или цилиндрических резонаторов, укрепленных на стойке. Каждый из резонаторов

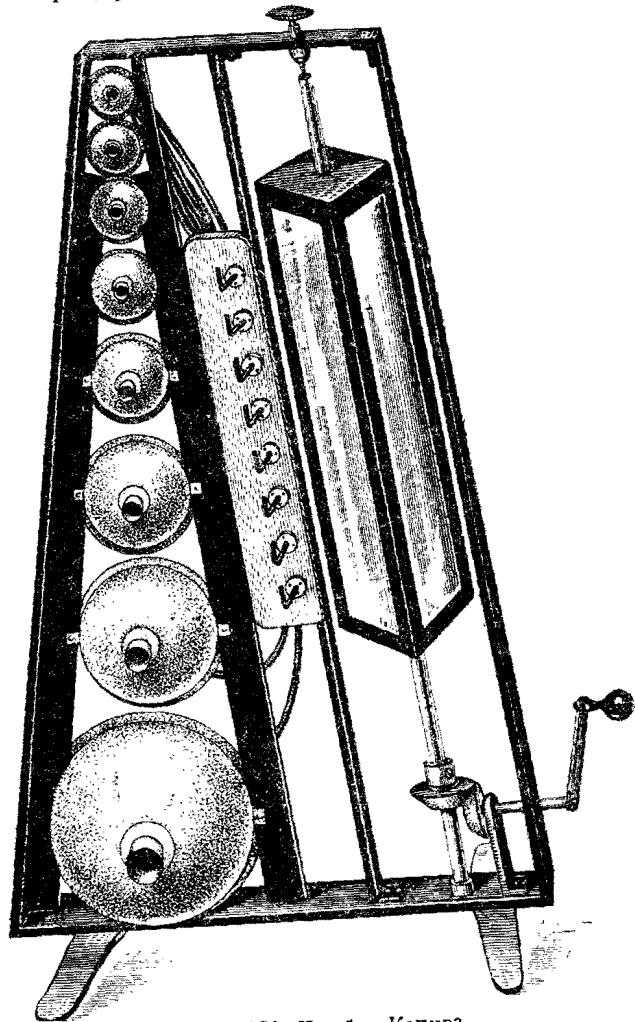


Рис. 120. Прибор Кенига.

сообщается с газопламенным манометром. Для наблюдения колебаний пламени на приборе укреплен зеркальный параллелепипед, который можно вращать.

Зажигают все манометрические пламена и равномерно вращают параллелепипед. Видные в нем изображения пламен представляются растянутыми в светлые полосы. Если перед прибором производится достаточно сильный звук постоянной высоты (пение на определенную ноту, тон органной трубы и т. п.), то некоторые манометры дают зубчатые полосы в зеркале, что указывает на присутствие в данном звуке тонов, на которые отзываются соединенные с этими манометрами резонаторы. Тона, соответствующие колебаниям резонаторов, написаны под ними.

4. Опыт с граммофоном. 1) Граммофон. 2) Пластика, передающая пение или речь.

При передаче граммофоном пения или речи ускоряют и замедляют ход его. Обращают внимание на изменение высоты тона и на изменение оттенка произносимых гласных. Последнее происходит потому, что при изменении хода граммофона меняется и частота формант, что придает гласным несколько иную окраску.

5. Модель граммофона. 1) Патефонная пластинка. 2) Иголочка патефонная. 3) Кусок фанеры (30 см × 30 см). 4) Центробежная машина. 5) Какая-нибудь принадлежность к центробежной машине, имеющая вид диска на оси (например круг Ньютона или сирена Оппельта).

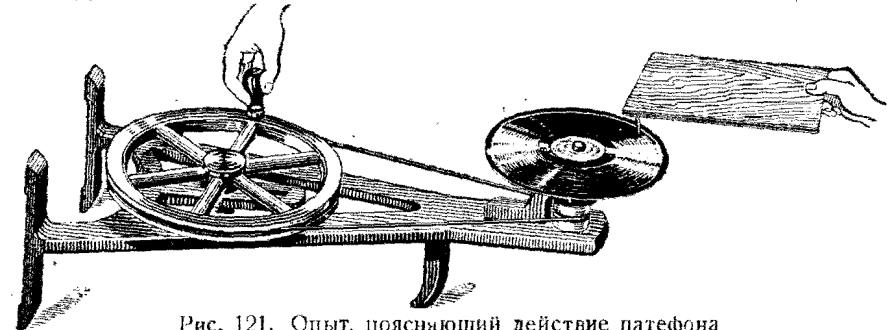


Рис. 121. Опыт, поясняющий действие патефона

На центробежную машину устанавливают диск с осью. На него кладут патефонную пластинку. К пластинке прикасаются иглой, воткнутой в угол куска фанеры, противоположный угол поддерживается рукой (рис. 121). Не быстро и по возможности равномерно вращают центробежную машину. Слышна передача звука, довольно близкая к тому, что слышно в плохих патефонах.



Рис. 122. Модель, поясняющая действие голосовых связок.

§ 12. Модели уха и горла.

В физическом кабинете полезно иметь: 1) модель уха из папье-маше; 2) модель гортани из папье-маше; 3) модель для пояснения действия голосовых связок. 1) Металлическая или стеклянная трубка ($d = 3$ см; $l = 10$ см). 2) Тонкая резина.

Модель голосовых связок делается так: на отверстие трубки накладываются две полоски тонкой резины так, чтобы они образовали узкую щель (рис. 122). Продувают (не сильно) воздух. Модель издает звук.

ЗАПИСЬ ЗВУКА.

§ 13. Общие сведения о звукозаписи.

1. Методические замечания. Широкое распространение патефонов среди населения заставляет учителя на уроке давать хотя бы самые краткие объяснения о принципах записи звука и его воспроизведения. Но подобные объяснения, если они не сопровождаются соответствующим экспериментом звукозаписи, приобретают отвлеченный характер и сводятся к формальному заучиванию очередного пункта программы.

Демонстрация звукозаписи, производя глубокое впечатление на учащихся, заставляет их по-иному относиться к изучаемому явлению и, главное, ставит перед ними ряд вопросов, ответы на которые они найдут на консультациях преподавателем и в работе соответствующего кружка.

В продаже нет доступных по цене звукозаписывающих аппаратов, но школа, располагая оборудованной мастерской при детской технической станции, может построить аппарат своими силами. Возможно также заказать механическую часть установки и части рекордера хорошему слесарю и токарю.

Вообще же говоря, постройку звукозаписывающего аппарата стоит затевать только тогда, когда в школе имеется приемник СИ-235, ЭКЛ-34, ЭЧС и т. п. или установка звукового кино.

Дело в том, что монтаж усилителя низкой частоты, необходимого для записи и воспроизведения звука, сильно удорожит все устройство и вряд ли будет по средствам школе. Наконец, при монтаже усилителя для учащихся, неискушенных в радиотехнике, неизбежен ряд промахов, которые поведут к низкому качеству усиления, а следовательно к искажениям при записи. При использовании хорошего приемника много легче получить высокое качество записи, так как налаживать придется только один звукозаписывающий аппарат.

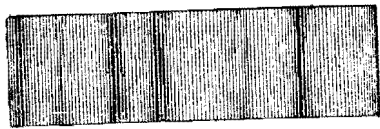


Рис. 123. Схема записи звука по интенсивной системе.

2. Виды и принципы звукозаписи. В настоящее время известны два вида звукозаписи: оптический и механический. В первом случае звуковые колебания записывают соответствующими изменениями света, фотографируя последние на кинолентку. Для воспроизведения звука через движущуюся пленку со сделанной записью пропускают свет от какого-либо источника, например кинолампы в 12 в, и направляют его на фотоэлемент. Полученные фототоки, после усиления, в репродукторе воспроизводят соответствующие звуки. В оптической записи пользуются тремя системами: интенсивной (рис. 123), поперечной (рис. 124) и интенсивно-поперечной (рис. 125).

При интенсивной системе записи на кинолентке получается дорожка, состоящая из тонких поперечных линий разнообразной ширины и прозрачности, что зависит от частоты звука и его силы (рис. 123).



Рис. 124. Схема записи звука по поперечной системе.



Рис. 125. Схема записи по интенсивно-поперечной системе.

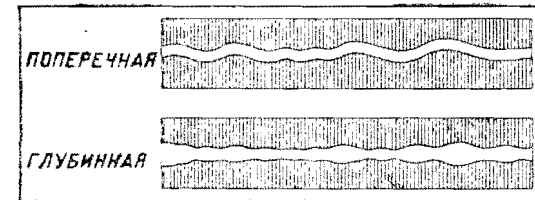
Сила звука обуславливает контрастность в прозрачности, частота — количество полосок на единицу длины. При поперечной записи на звуковой дорожке получается запись звука в виде зубчатой границы («елочки») между прозрачной и непрозрачной частями (рис. 124).

В интенсивно-поперечной системе темная часть звуковой дорожки имеет зубчатый край, как у поперечной, но не является непрозрачной и состоит из полосок различной прозрачности, как у интенсивной системы (рис. 125). Поскольку запись звука оптическим путем в средней школе невозможна, настолько ограничиваемся этими краткими замечаниями.

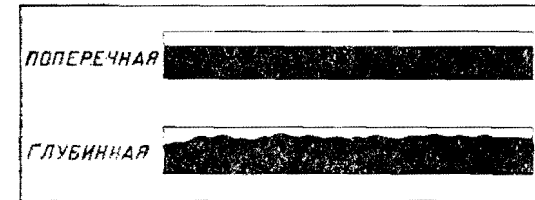
Другим видом звукозаписи является механическая. В этом случае запись производится иглой, приведенной в колебательное движение или непосредственно звуковыми колебаниями, или, как это исключительно делается в настоящее время, при помощи модулированного звуком электрического тока.

Поэтому последний способ записи в отличие от первого называют электро-механическим. В результате на диске или ленте из соответствующего материала при помощи специального направляющего

ВИД СВЕРХУ



ПРОДОЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ



ПОПЕРЕЧНЫЙ РАЗРЕЗ

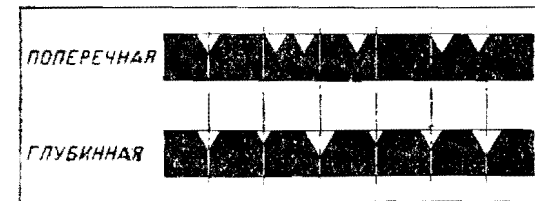


Рис. 126. Вид звуковых канавок при поперечной и глубинной записях.

аппарата получается спиральная звуковая дорожка (канавка), модулированная механическими колебаниями иглы. Модулированная звуковая „канавка“ бывает двух видов: соответствующая глубинной записи и поперечной.

При глубинной записи боковые стенки канавки не параллельны и глубина ее различна (рис. 126).

Поперечная запись дает извилистую канавку одинаковой глубины с ровным дном (рис. 126). Оба способа употребляются при

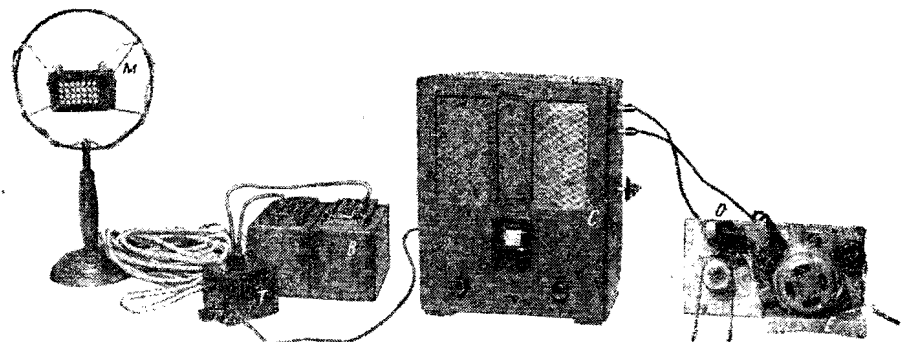


Рис. 127. Общий вид установки для звукозаписи.

записи на патефонных пластинках. Глубинный способ, оставленный одно время, теперь вновь начинает получать право гражданства благодаря возможности получить большую продолжительность записи, чем при поперечном способе. Звуковую дорожку в современной технике получают при помощи резания, чаще всего посредством сапфирового резца. В простейшей любительской записи игла не прорезает дорожку, а выдавливает ее, почему этот способ носит название записи давлением.

3. Аппаратура для звукозаписи. В описываемой ниже, в § 14, установке запись звука производится стальной иглой на целлулоидной кинолентке давлением и поперечным способом.

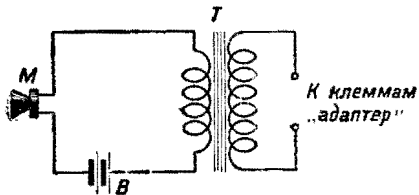


Рис. 128. Схема включения микрофона к приемнику.

Звукозаписывающую установку можно использовать в следующих случаях:

Во-первых, для записи своего голоса или своей музыки, для чего приходится прибегать к помощи микрофона, как показано на рисунке 127.

Во-вторых, для записи той или иной радиопередачи; в этом случае микрофон не нужен, и приемник используется по своему прямому назначению, т. е. к нему включают обычным способом антенну и землю.

Общий вид всей установки изображен на рисунке 127. Микрофон *M* через батарею *B* и через микрофонный трансформатор *T* присоединяют к клеммам „адаптер“ приемника *C*, например СИ-235 (рис. 128).

Микрофонный ток после усиления его приемником подводят к рекордеру *D* звукозаписывающего прибора *E*.

В-третьих, для переписки той или иной патефонной пластинки, для чего берут патефон с адаптером и подключают последний к приемнику.

Рассмотрим теперь в отдельности каждую из составных частей установки и общие требования, предъявляемые к ним.

1) Микрофон лучше брать мраморный, типа ММ-2 (т. V, § 17, 4). Впрочем, не высокие, но вполне удовлетворительные результаты получаются при пользовании микрофонным капсулом или диспетчерским микрофоном (т. V, § 17, 2). Описание устройства микрофонного трансформатора для микрофонной капсулы дано в т. V, § 17, 3. Микрофон следует поместить не около приемника, а в соседней комнате, во избежание возникновения воя при включениях репродуктора приемника. Трансформатор необходимо взять бронированный (т. V, § 19, 1); провода от микрофона лучше также забронировать, т. е. поместить внутрь металлической заземленной трубки (рис. 129) или взять телефонные провода в свинцовой оболочке.



Рис. 129. Металлическая гибкая трубка для брони проводов.

Первой предпосылкой для успеха записи является именно эта часть установки — нужно добиться, чтобы приемник воспроизводил от микрофона речь или музыку совершенно без искажений.

2) Для успешной переписки патефонных пластинок надо взять обыкновенный патефон [лучше с механическим пружинным, а не электрическим механизмом¹⁾] и главное — хороший адаптер (т. V, § 17, 5). Желательно также снабдить адаптер регулятором громкости. Для переписки следует брать новую малоигранную патефонную пластинку, что сведет к минимуму запись шума иглы.



Рис. 130. Схема устройства переключателя.

3) Приемник, используемый в виде усилителя, может быть взят: СИ-235, лучше ЭКЛ-34, ЭЧС и т. п., обязательно хорошего качества. Это — вторая предпосылка для успеха. Поэтому приемник в случае появления искажений надо наладить. Одной из распространенных причин искажений чаще всего является уменьшение напряжения в осветительной сети в известные часы дня. Напряжение надо поднять до нормального при помощи автотрансформатора (т. V, § 4, 2). Другая такая причина лежит обыкновенно в лампах; некачественные лампы необходимо сменить.

К записывающему аппарату от приемника подводят обе цепи, обслуживающие динамик: ток подмагничивания и ток звуковой катушки от вторичной обмотки выходного трансформатора (т. V, § 16, 7).

¹⁾ Поле, возникающее вокруг мотора, воздействует на электромагнитный адаптер и ведет к возникновению шумов.

Впрочем, у некоторых приемников, например типа ЭЧС, имеются гнезда для включения постороннего репродуктора. У СИ-235 подобного выхода нет, и его приходится устраивать по схеме рисунка 130. Провода 1, 1, служащие для питания подмагничивания динамика, отсоединяют от последнего и включают к переключателю K_1 . Этим переключателем могут быть включены или провода 3, 3, идущие от подмагни-

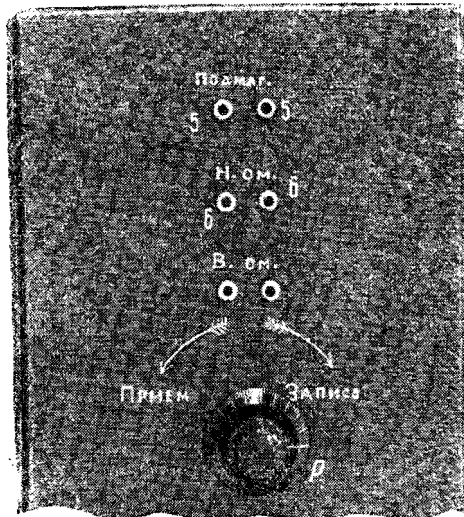


Рис. 131. Переключатель у приемника СИ-235.

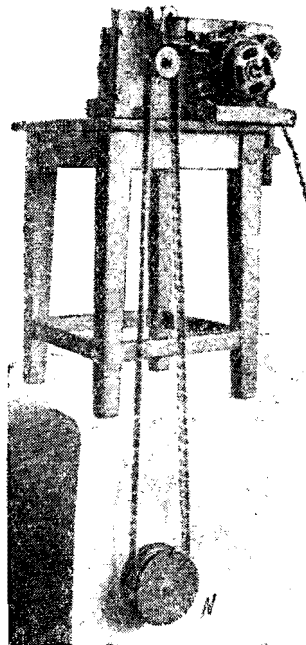


Рис. 132. Звукозаписывающий аппарат на киноленту.

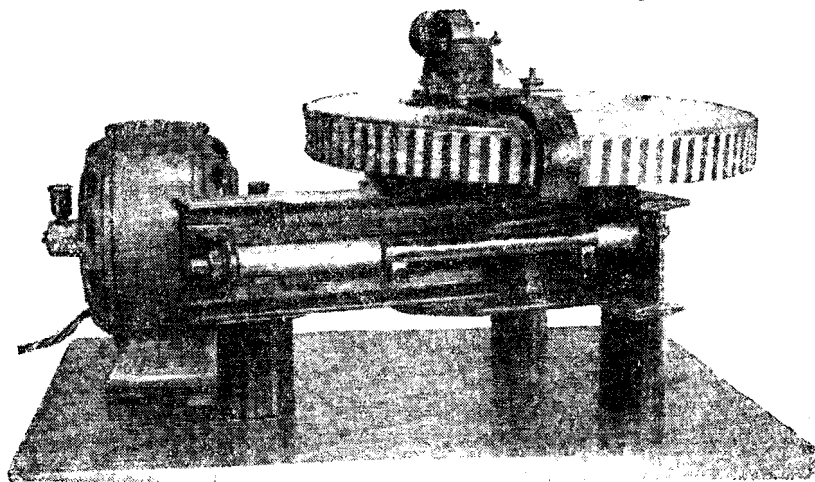


Рис. 133. Звукозаписывающий аппарат на пластинку.

чивающей обмотки динамика или клеммы гнезда 5, 5, служащие для присоединения подмагничивания рекордера. Точно так же провода

от вторичной (выходной) обмотки выходного трансформатора присоединяют ко второму рубящему переключателю K_2 . Тогда при одном положении этого выключателя присоединены провода 4, 4 от звуковой катушки динамика и при другом — клеммы или гнезда 6, 6, через которые включается звуковая обмотка рекордера. Переключатели подобного устройства известны под названием джекки; их можно приобрести в магазинах. Переключатель K_1, K_2 должен иметь общую рукоятку P , тогда поворотом последней можно быстро переходить от приема к записи и обратно (рис. 131). Подмагничивание динамика из приемника выводить необязательно, так как обмотку подмагничивания рекордера можно питать постоянным током от осветительной сети или от электрического выпрямителя 120—240 в.

4) Звукозаписывающие аппараты бывают двух видов: для записи на склеенную кольцо киноленту (рис. 132) или на пластинку (рис. 133). Такие аппараты состоят из двух частей: механической, приводимой в движение от мотора и служащей для выдавливания спиральной бороздки, и электрической — рекордера, превращающего модулированный электрический ток в колебания пишущей иглы.

§ 14. Устройство звукозаписывающих аппаратов.

1. Устройство лентопротяжного механизма. Радиолюбителями разработано много различных конструкций лентопротяжных механизмов для звукозаписи давлением, описанных, главным образом, в журнале „Радиофронт“. Здесь описана не одна определенная конструкция лентопротяжного механизма, а дано несколько вариантов и указаны некоторые элементарные расчеты.

Изготовление лентопротяжного механизма возможно в механической мастерской ДТС или должно быть поручено хорошему слесарю и токарю. Механизм приводится во вращение от мотора M , питаемого от осветительной сети (рис. 134, I и II). Посредством ременной передачи приводится во вращение вал с маховиком E , обеспечивающим равномерность вращения при некоторых изменениях в нагрузке, и с барабаном C , служащим для протягивания киноленты D со строго определенной линейной скоростью. Вал барабана и маховика посредством шестерни или червячных передач AB связан с ходовым винтом F , на всем протяжении которого нанесена точная винтовая резьба. На ходовой винт опирается полугайка G (рис. 142), т. е. гайка, разрезанная пополам, скрепленная с „рычагом“ I рекордера L . Очевидно, что при вращении ходового винта рычаг рекордера будет смещаться в направлении оси звукозаписывающего барабана C . При этом игла рекордера будет вычерчивать на киноленте, склеенной в кольцо, винтовую линию. На свободном конце рычага рекордера укреплена металлическая трубка R , надеваемая на круглый стержень K . Это приспособление служит в качестве направляющего и обеспечивает от перекосов и качки при движениях полугайки G по ходовому винту F .

В дальнейшем даны описания отдельных частей звукозаписывающего аппарата и требований, предъявляемых к ним.

1) Мотор приходится брать асинхронный, мощностью не менее

50 *вт*. При меньшей мощности мотора будут сильно сказываться изменения скорости при нагрузке. Вполне подходящим является вентиляторный мотор, например мощностью в 50 *вт*, имеющий около 900 $\frac{\text{об}}{\text{мин}}$ (рис. 135). Патефонные асинхронные моторы (рис. 136) слишком мало-

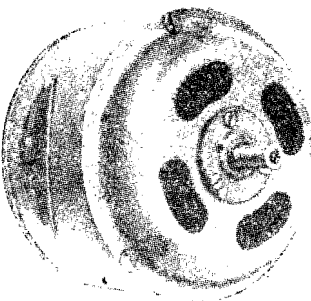
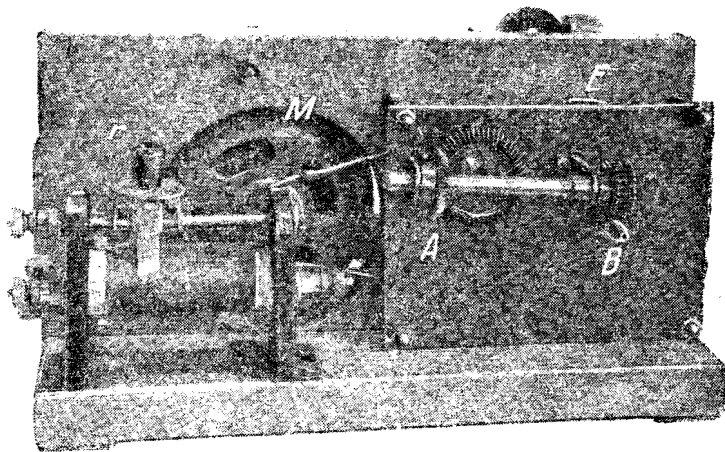


Рис. 135. Вентиляторный мотор.

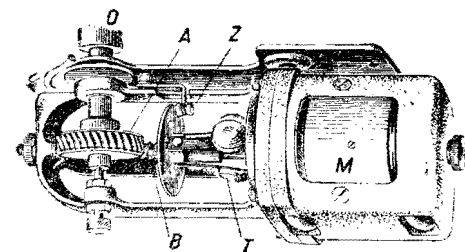


Рис. 136. Электрический асинхронный мотор от патефона.

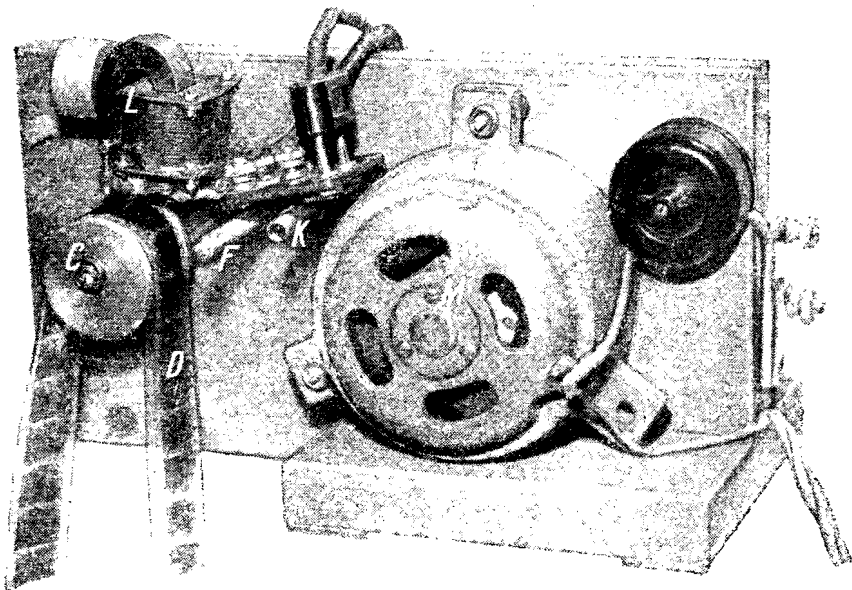
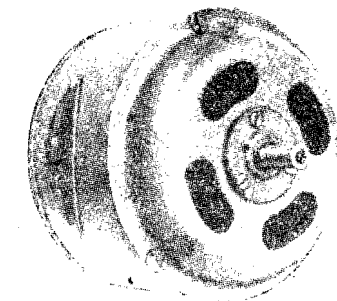


Рис. 134, I—II. Лентопротяжный механизм для звукозаписи.

мощны и для лентопротяжного механизма не годятся. Однако приобрести такой мотор стоит, так как для звукозаписывающего аппарата нужны будут червячная передача *AB* и регулятор скорости *T*; самый же мотор весьма простым способом может быть переделан в синхронный для телевизора. Вентиляторные асинхронные моторы на 1500 обо-

ротов менее подходящи, так как придется делать громоздкую ременную передачу.

При постоянном токе освещения берут коллекторный мотор (например см. т. IV, рис. 183 и 202) и число оборотов его доводят до нужного посредством реостата (т. IV, § 10, 6). Управление аппаратом записи при постоянном токе поэтому несколько усложняется.



2) Барабан *C* (для записи) должен быть сделан из сравнительно хорошей резины, иметь строго цилиндрическую форму и совершенно гладкую поверхность (рис. 137 и 141, III). Диаметр его берут равным 40—60 *мм*, длина не менее 35 *мм*.

В магазинах Резинотреста можно подыскать подобные барабаны (амортизаторы); можно также приобрести часть от толстостенного резинового рукава, служащего для поливки улиц. В конструкции аппарата для барабана, изображенной на рисунках, использована часть вала ($d = 47$ *мм*) от пишущей машинки.

Барабан *C* делают длиной в 35 *мм*, насаживают на вал и снабжают двумя металлическими щечками или шайбами *X*, из которых одна наса-

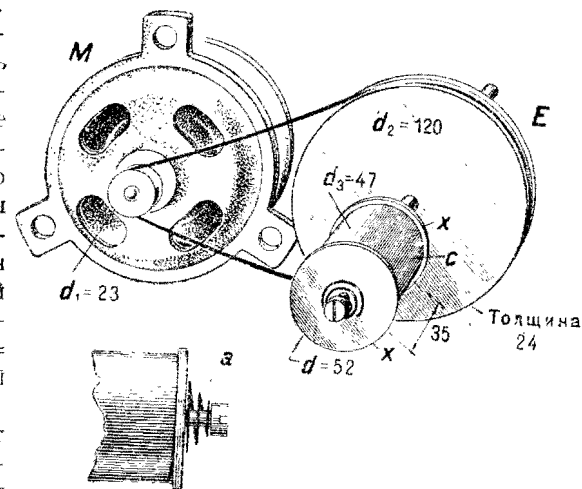


Рис. 137. Ременная передача от мотора к звукозаписывающему барабану.

жена на вал наглухо и другая снабжена пружиной *a*, прижимающей шайбу к краю барабана. Действительно, при выдавливании звуковой дорожки кинолента становится несколько шире и, если обе щечки заделаны наглухо, выгибается, что ведет к неправильному наложению дорожки. Весьма важно, чтобы барабан имел точную цилиндрическую

форму и был хорошо центрирован на оси, т. е. „не бил“. Поверхность его можно отделать на станке посредством дощечки, оклеенной тонкой шкуркой или наждачной бумагой.

3) Ременная передача. Практика показывает, что барабан должен давать киноленте линейную скорость не менее $40 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$. Принимая линейную скорость равной $50 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$ и измерив число оборотов n асинхронного мотора при некоторой нагрузке (например с вентиляторными крыльями, не сильно отогнутыми), производят расчет ременной передачи (рис. 137).

Линейная скорость барабана на периферии или равная ей скорость движения ленты v при числе оборотов мотора n равна:

$$v = \pi d_3 n \frac{d_1}{d_2},$$

где d_1 , d_2 и d_3 — соответственно диаметры шкива мотора M , маховика E и барабана C .

Полагая, например, что диаметр шкива мотора взят $d_1 = 25 \text{ мм}$ и диаметр барабана $d_3 = 47 \text{ мм}$, находим:

$$d_2 \approx 180 \text{ мм при } n = 1500 \frac{\text{об}}{\text{мин}};$$

$$d_2 \approx 120 \text{ мм при } n = 950 \frac{\text{об}}{\text{мин}}.$$

В первом случае маховик получается более громоздким, что заставляет, вообще говоря, предпочитать мотор в $950 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$.

В показанной на рисунке 141, III конструкции, где взято $v < 50 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$, $d_1 \approx 23 \text{ мм}$, $d_2 \approx 97 \text{ мм}$ и $d_3 \approx 47 \text{ мм}$.

Ремень для передачи берется круглый; можно взять резиновый, который в месте соединения легко склеить. Толщину маховика при $d_2 = 100—120 \text{ мм}$ достаточно взять в $20—25 \text{ мм}$, при большем диаметре толщину можно взять меньше.

Скрупулезные расчеты здесь не нужны, — важно, чтобы под нагрузкой при записи скорость движения ленты была не меньше $40 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$.

4) Передача от вала звукозаписывающего барабана к ходовому винту.

Ходовой винт F связывается с валом барабана C посредством шестереночной червячной или фрикционной (но не ременной) передачи AB (рис. 138—140).

Шагом записи называют расстояние между двумя соседними звуковыми дорожками (нитками записи) на кинолентке. Шаг ходового винта показывает расстояние, на которое при одном полном обороте сместится гайка G . Шаг записи делают обычно $0,5 \text{ мм}$ (две нитки на 1 мм); его, впрочем, легко изменить, беря для записи ленту более короткой, чем нормальная для данного аппарата (шаг уменьшается) или более длинной (шаг увеличивается). Шаг в $0,3 \text{ мм}$ предьявляет к выполнению конструкции ходового винта и к передаточному механизму значительно более серьезные требования, почему не рекомендуется.

Какой длины ни была бы взята лента, продолжительность записи на данном аппарате не может быть изменена.

При шаге в $0,5 \text{ мм}$ на ленте (в ширину) уложится $45—46$ ниток. Таким образом, при линейной скорости в $50 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$ 1 м ленты (от нормальной длины для данного аппарата) соответствует продолжительности

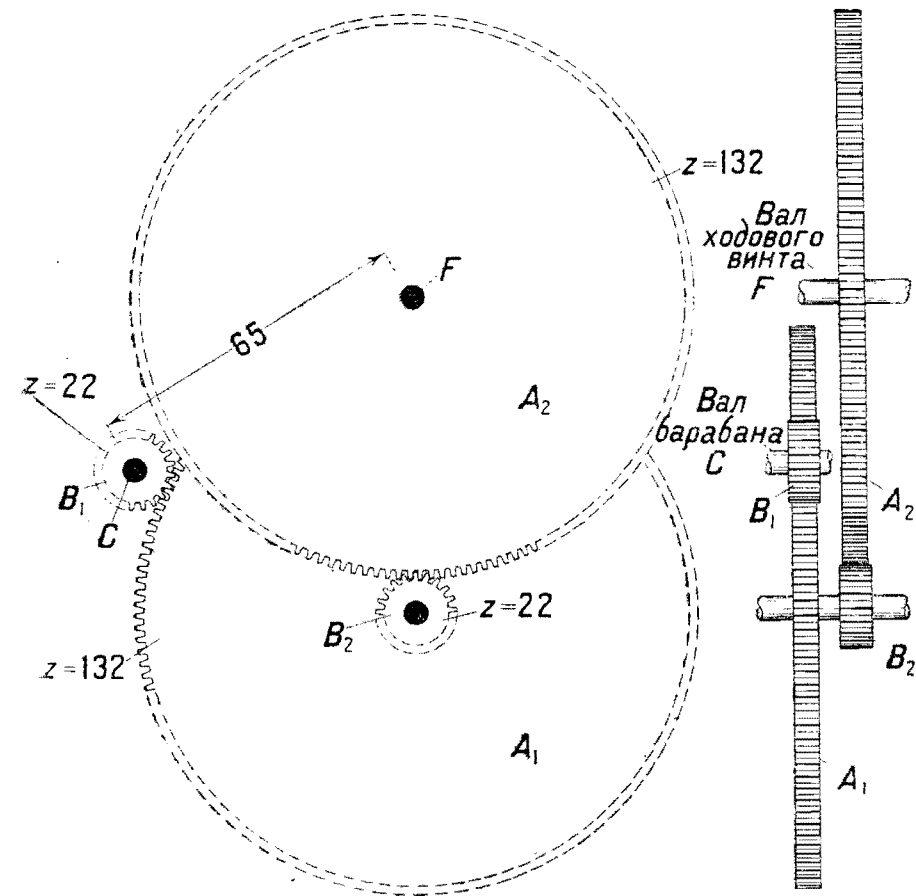


Рис. 138. Шестереночная передача от вала барабана записи к ходовому винту.

$\frac{100 \cdot 45}{50} = 90 \text{ сек.} = 1 \frac{1}{2} \text{ мин.}$ При шаге в $0,3 \text{ мм}$ (76 ниток) продолжительность на 1 м будет около $2,5 \text{ мин.}$

Шаг записи b , шаг ходового винта h , длина ленты l , диаметр барабана d_3 и передаточное число k шестереночного или червячного механизма связаны между собой следующей зависимостью:

$$b = \frac{h l}{k \pi d_3}.$$

Фрикционная передача от вала звукозаписывающего барабана к ходовому винту применялась многими любителями, но благодаря малейшим недостаткам в выполнении дает скольжение и поэтому здесь не описывается. Шестереночную или червячную передачу надо подобрать из того, что может найтись в хозяйстве кабинета или из стандартных частей, которые легко приобрести. Здесь приведены четыре различных варианта, созданных из частей, имеющих в отдельной продаже от кинопередвижки ГОЗ, узкоплечного киноаппарата УП-2, стандартного патефона и электромотора от патефона.

Чем крупнее передаточное число шестереночного механизма, тем при шаге в 0,5 мм может быть взята большая длина ленты, а следовательно сделана продолжительнее запись. Однако стремление увеличить передаточное число должно идти до известного предела, так как при этом возрастают трудности нарезки ходового винта и гайки.

На рисунках 138—140 показаны различные варианты передач, причем валы барабана *C* обозначены буквой *C* и валы ходового винта —

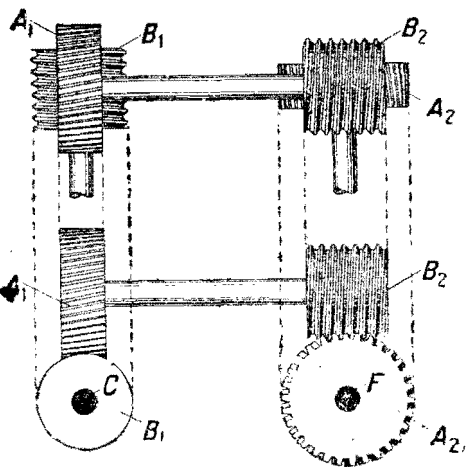


Рис. 139. Червячная передача.

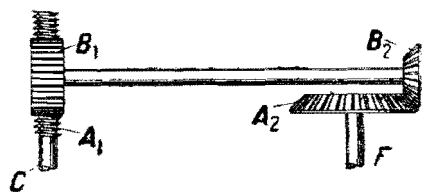


Рис. 140. Червячная передача.

буквой *F*. Комбинация на рисунке 138 создана из цилиндрических шестерен от кинопередвижки ГОЗ (из ее лентопротяжного механизма). В устройстве, изображенном на рисунке 139, использованы червячные винты (*B*₁ и *B*₂) и червячные шестерни (*A*₁ и *A*₂) от узкоплечника УП-2, червяк сидит на валу мотора, шестерня скреплена с ним. В комбинациях рисунка 140 использованы червяки *B*₁ с соответствующими червячными шестернями *A*₁ от патефона или от мотора электропатефона (рис. 136) и конические зубчатки *B*₂, *A*₂ из кинопередвижки ГОЗ (от ручного привода).

Приводим в таблице (стр. 79) данные, относящиеся к этим комбинациям (при $v = 50 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$ и $d_3 = 47 \text{ мм}$ для шага записи в 0,5 мм и в 0,3 мм).

При расчетах во всех случаях, за исключением второго варианта, длина ленты, как наиболее подходящая, бралась равной 2 м. Склеенная кольцом такая лента имеет длину около 1 м.

По этой таблице определяется шаг ходового винта. Этот винт нарезается токарем на хорошем станке.

Конструкция аппарата в остальном ясна из рисунка 141, I, II и III, на котором приведены ориентировочные размеры.

Числовые данные для передаточных механизмов.

Передача показана на рисунках	Обозначения на рисунках		Передаточное число <i>K</i>	Шаг записи <i>b</i> в мм	Шаг ходового винта <i>h</i> в мм	Нормальная длина ленты <i>l</i> в м	Продолжительность записи в мин.
138 140	<i>A</i> ₁ , <i>B</i> ₁	<i>A</i> ₂ , <i>B</i> ₂					
138	Цилиндрические шестерни от кинопередвижки ГОЗ в 132 зубца (<i>A</i> ₁) и 22 зубца (<i>B</i> ₁)	То же — 132 зубца (<i>A</i> ₂) и 22 зубца (<i>B</i> ₂)	36 $6 \times 6 = 36$	0,5	1,3	2	$2 \times 1,5 = 3$
				0,3	0,8	2	$2 \times 2,5 = 5$
139	Червячный винт (<i>B</i> ₁ — 15 ходов) и червячная шестерня (<i>A</i> ₁ — 45 зубцов) от УП-2	То же — 15 ходов (<i>B</i> ₂) и 45 зубцов (<i>A</i> ₂)	9 $3 \times 3 = 9$	0,5	0,5	1,3	2
139	Червяк (<i>B</i> ₁ — 4 хода) и шестерня (<i>A</i> ₁ — 55 зубцов) от патефона (рис. 136)	Конические зубчатки от кинопередвижки ГОЗ — 25 зубцов (<i>B</i> ₂) и 50 зубцов (<i>A</i> ₂)	27 $13 \frac{3}{4} \times 2 = 27$	0,5	1	2	3
				0,3	0,6	2	5
140	Червяк (<i>B</i> ₁ — 1 ход) и шестерня (<i>A</i> ₁ — 30 зубцов) от электромотора (рис. 136).	То же	60 $30 \times 2 = 60$	0,5	2,25	2	3
				0,3	1,3	2	5

Конструкция рычага или ведущей планки *I* рекордера показана на рисунках 134 и 142. Полукачку *G* ходового винта *F* изготовляют, разрезав гайку пополам. Направляющую втулку *R* (трубку) надо пришить к стержню *K* (рис. 134, II), чтобы отсутствовала даже малейшая качка. Рекордер *L* крепится на планку при помощи петли *S*, что позволяет по окончании записи или во время холостого хода откидывать его вверх. Только одну степень свободы должна давать петля; никакие, хотя бы малейшие, качки совершенно не допустимы. Эбонитовую панельку *V* с клеммами для включения звуковой катушки и подмагничивания укрепляют указанным на рисунке образом.

Хорошим качеством лентопротяжного механизма определяется половина успеха звукозаписи. Безусловно нужно, чтобы равномерность хода механизма не нарушалась, и нитки, выдавливаемые на пленке, были расположены на одинаковых расстояниях.

Желательно снабдить механизм механическим регулятором *T* скорости, взятым, например, от патефона или мотора от него (рис. 136).

Впрочем, число оборотов мотора можно изменять посредством реостата с подвижным контактом. Для укрепления адаптера надо изготовить специальный рычаг. Как рычаг, так и сам адаптер необходимо взять возможно более легкие.

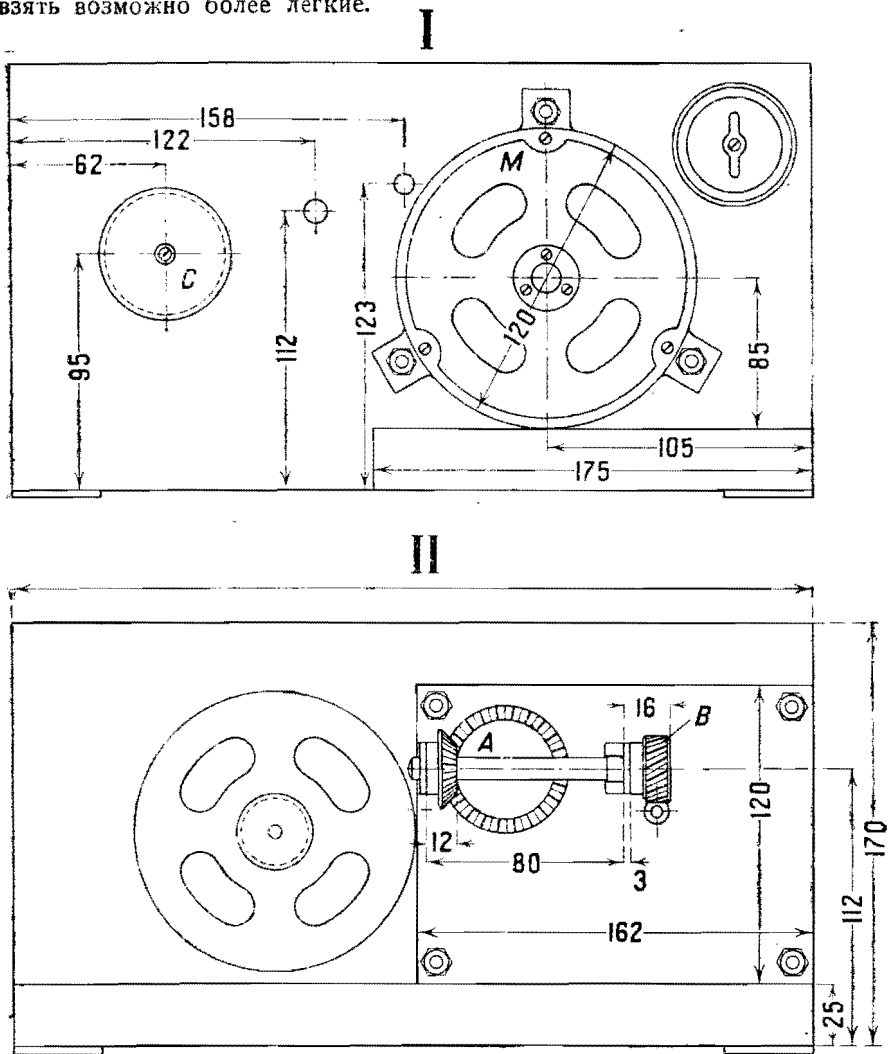


Рис. 141 I, II. Конструкция и ориентировочные размеры лентопротяжного механизма.

Для получения натяжения надетой на звукозаписывающий барабан ленты на токарном станке вытягивают из железа ролик *N* (рис. 150, VIII и 132). Его можно сделать из дерева, но только большего диаметра и для утяжеления внутри залить свинцом.

2. Устройство приставки к патефону для записи звука на пластинке. Запись на кинолентке обладает тем крупным недостатком,

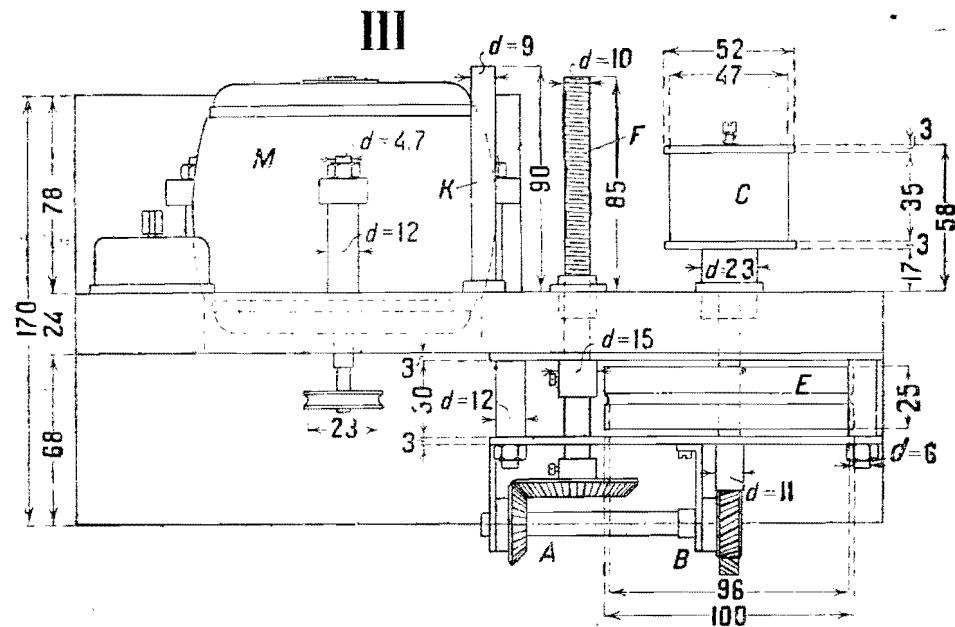


Рис. 141, III. Конструкция и ориентировочные размеры лентопротяжного механизма.

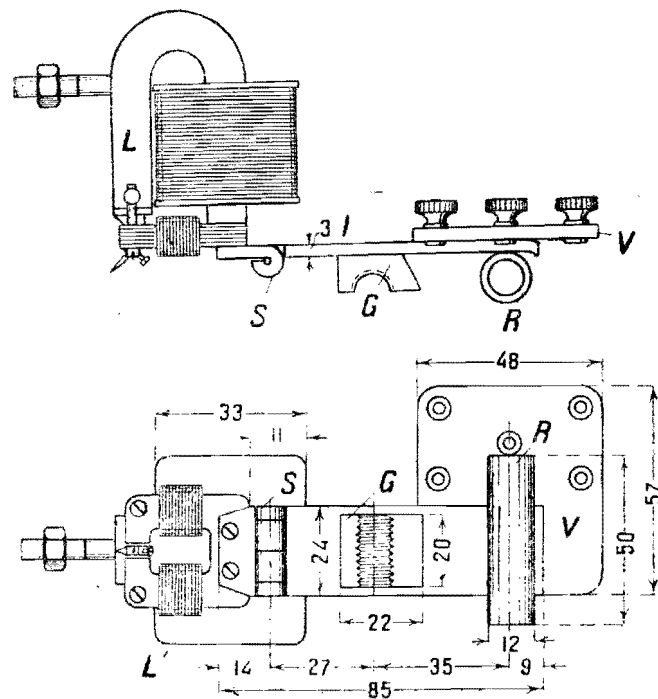


Рис. 142. Ведущая планка рекордера.

что воспроизведение звука не может быть получено при помощи патефона. За границей существуют в продаже звукозаписывающие приставки к патефонам для записи на пластинку. Устройство подобных приставок представляет нелегкую задачу, так как механизм патефона оказывается обычно недостаточно сильным. Устройство же специальных звукозаписывающих аппаратов, подобных изображенному на рисунке 133, требует высокой квалификации механика и обойдется дорого.

Запись осуществляется посредством рекордера, питаемого от приемника и усилителя. Назначение приставки перемещать рекордер в радиальном направлении так, чтобы на пластинке иглой была выдавлена или вырезана спиральная линия (рис. 143).

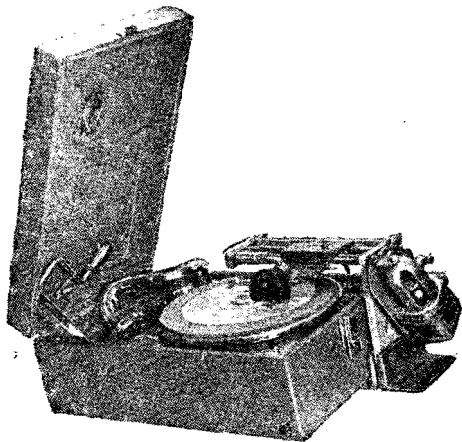


Рис. 143. Звукозаписывающая приставка у патефона.

Однако запись давлением на тонких целлулоидных пластинках очень сложна, так как вызывает покорбление пластинки, принимающей форму части сферической поверхности. Поэтому лучше прибегать к записи резанием и пользоваться для этого, например, рекордером с сапфировым резцом от аппарата „шоринофон“ (§ 14,6). Наконец, запись резанием позволяет получить много лучшие результаты, чем давлением.

В сущности при любительской, школьной записи неважно, если отдельные пластинки по шагу звуковых дорожек будут не-

сколько отличаться друг от друга. Воспроизведение таких пластинок при помощи обыкновенной мембраны или адаптера будет давать совершенно нормальные результаты. Поэтому рекомендуем для движения ходового винта рекордера пользоваться отдельным мотором. Тогда при записи на патефонный мотор будет приходиться сравнительно небольшая дополнительная нагрузка, именно потребуются энергия, расходуемая при выдавливании иглой звуковой дорожки. Однако даже и в этом случае наши обычные пружинные патефоны оказываются недостаточно мощными и позволяют вести запись примерно лишь у конца диска.

Важно добиться, чтобы диск патефона при записи, т. е. во время выдавливания рекордером звуковой дорожки, делал $78 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ ¹⁾. Необходимо также, чтобы вращение ходового винта рекордера было неизменно во время записи данной пластинки.

На рисунке 144 показана наиболее простая конструкция подобной приставки, осуществление которой много дешевле и легче лентопротяжного механизма. Для приведения во вращение ходового винта взят патефонный мотор *M*, снабженный регулятором скорости *T* и червячной

¹⁾ Общепринятая стандартная скорость.

передачей *AB* (рис. 139). Передача выполнена так, чтобы на валу получать около $78 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$, т. е. нормальное для пластинки число оборотов при нормальной скорости вращения мотора. Достигнуть точно 78 оборотов в 1 мин. можно, действуя тормозом *Z* (рис. 136) на центробежный регулятор *T*. При непосредственном соединении вала *O* с хо-

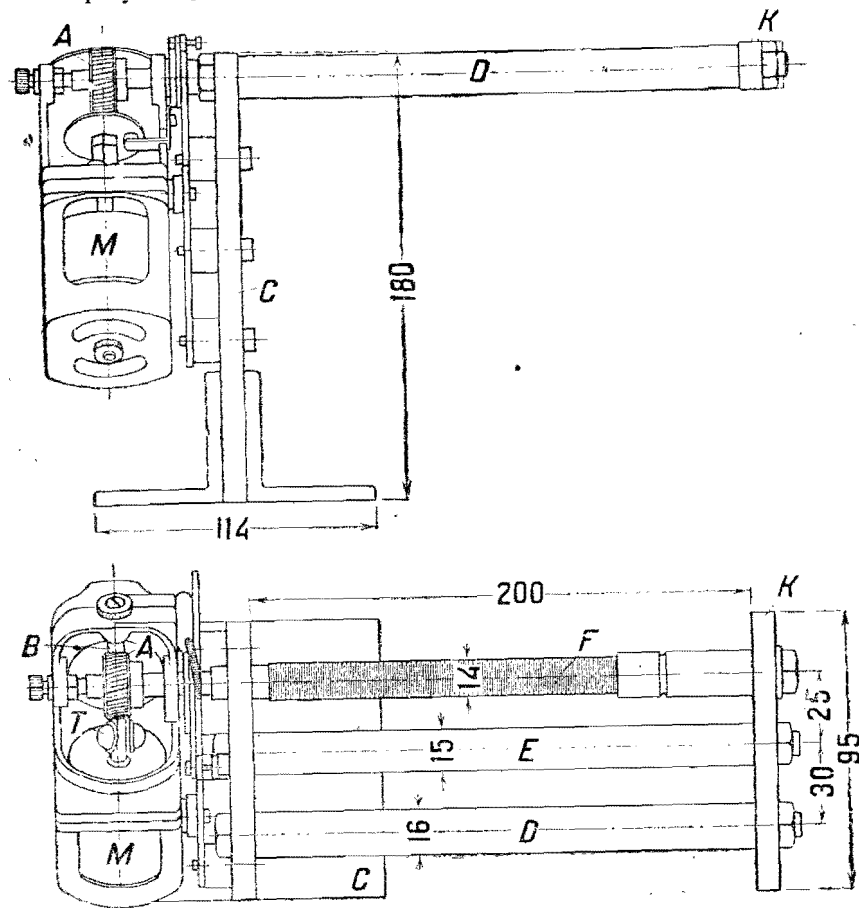


Рис. 144. Чертеж приставки для звукозаписи на пластинку.

довым винтом последний сделает один оборот за время одного оборота пластинки, имеющей $78 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$. Отсюда следует, что если ходовой винт имеет шаг в 0,5 мм, то шаг записи будет 0,5 мм; при шаге винта в 0,3 мм получим шаг записи в 0,3 мм.

На рисунке 144 дан чертеж с основными размерами приставки с указанным выше мотором. Мотор монтируют на массивном железном угольнике *C*, установленном на прямоугольном основании (доске), которое во избежание тряски, в свою очередь, может быть укреплено

на крышке стола при помощи струбки. Ходовой винт F (шаг в $0,5$ мм) наглухо соединяют с червячной шестерней AB . На верху угольника закрепляют два круглых бруска D и E . Один из них, E , служит направляющей для втулки R при движении рекордера (рис. 142). Брусок E обтачивают на станке и пришабривают ко втулке R так, чтобы она не имела ни малейших качаний, но легко шла вдоль оси. Другой круглый брусок D нужен для упрочнения конструкции, а также для поддержки пластинки K , в которую вставлен подшипник ходового винта F .

Ведущая часть рекордера с направляющей втулкой и полугайкой ходового винта устраивается примерно так же, как и у лентопротяжного механизма (рис. 142).

Установка для возбуждения рекордера (т. е. электрическая часть) собирается и проверяется, как и при записях на киноленту.

Лучше всего запись вести на целлулоидной пленке, взяв, например, старые использованные рентгеновские снимки, достать которые в больнице для школы нетрудно.

3. Стробоскопический метод для измерения числа оборотов. При записях звука важно, чтобы пластинка имела стандартную скорость, именно $78 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$. Для измерения скорости проще всего воспользо-

зоваться стробоскопическим методом. Известно, что неоновая лампа, питаемая переменным током освещения, зажигается и гаснет 100 раз в секунду. Поэтому при свете такой лампы колесо со спицами или диск с несколькими зачерненными секторами, отстоящими друг от друга на равных расстояниях, при известной скорости вращения будут казаться неподвижными.

Условие кажущейся неподвижности спиц выражается следующим соотношением:

$$n = \frac{2f}{k},$$

где n — число оборотов диска, k — количество спиц или зачерненных секторов и f — частота переменного тока. Так, например, если $f = 50$ гц и $k = 4$, то число оборотов диска будет:

$$n = \frac{2f}{k} = \frac{2 \cdot 50}{4} = 25 \frac{\text{об}}{\text{сек}} = 25 \cdot 60 \frac{\text{об}}{\text{сек}} = 1500 \frac{\text{об}}{\text{сек}}$$

Рис. 145. Стробоскопический кружок для измерения скорости вращения диска.

Подобные расчеты покажут, что при $78 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ будет казаться неподвижным в свете неоновой лампы ($f = 50$ гц) диск с 77 секторами. Для контроля скорости вращения пластинки при звукозаписи нужно сделать диск из картона и нанести на нем несколько рядов меток, именно: 81, 79, 77, 75 и 73, что соответствует 74, 76, 78, 80 и

$82 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ (рис. 145). Диск накладывается на тарелку патефона. Изменяя регулятором скорость, можно добиться, что среднее кольцо меток будет казаться неподвижным. При этом внутренние кольца (75 и 73 метки) будут вращаться против движения, а внешние — в направлении движения пластинки. Ясно, что установка регулятора скорости для получения $78 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ производится при работе патефонного механизма вхолостую, а во время выдавливания звуковой дорожки. Так как запись звука производится на прозрачном материале, целлофане или целлулоиде, то стробоскопический диск можно сделать непосредственно на патефонной тарелке. Удобно также нанести 77 меток на обод тарелки.

Полезно для стандартизации скорости записи нанести соответствующее количество меток на обод звукозаписывающего барабана у лентопротяжного механизма (рис. 146).

Стробоскопический метод особенно хорош для проверки синхронных моторов, ведущих диск Нипкова (§ 17, 9). При нужных $750 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ диск с 8 метками будет казаться неподвижным. [Если диск Нипкова имеет 4 спицы, тогда при синхронизме кажется, что у него 8 неподвижно стоящих спиц. Освещение при этом создается неоновой лампой, питаемой переменным током с частотой в 50 гц.]

4. Принцип действия рекордера. Адаптер, служащий для превращения механических колебаний иглы, идущей по звуковой дорожке патефонной пластинки, в электрические переменные токи, — обратим (т. V, § 17, 5). Это значит, что при пропускании через его катушку электрического модулированного тока игла приходит в колебание с соответствующими частотами и амплитудами. Однако записи звука при помощи обычных адаптеров удаются плохо, и приходится изготовлять специальный прибор, называемый рекордером.

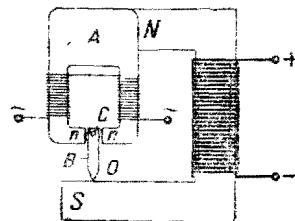


Рис. 147. Схема устройства рекордера.

Принцип действия рекордера заключается в следующем. Основную часть рекордера образует стальной постоянный магнит или чаще всего электромагнит NS , U- или П-образной формы (рис. 147).

Обмотку электромагнита, называемую „подмагничиванием“, через выводы $+$ и $-$ питают постоянным током (от приемника, выпрямителя или иного источника постоянного тока). На одном из полюсов электромагнита, например N , укреплена рама A , примерно показанной на рисунке 147 формы, собранная из листиков трансформаторного железа.

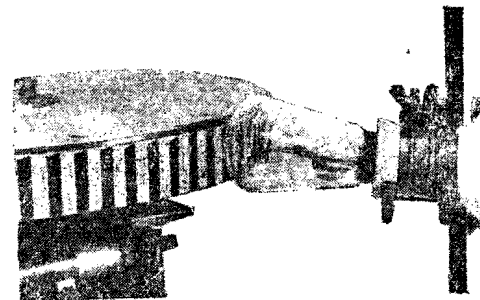


Рис. 146. Стробоскопический пояс.

В междуполюсном зазоре *лл* рамы *A* помещен железный якорь *B*, опирающийся на полюс *S* призматическим основанием *O*. На раме *A* намотана звуковая катушка или обмотка, выводы от которой помечены знаками \sim ¹⁾. Эти выводы присоединяются к усилителю или приемнику, и через звуковую катушку течет модулированный ток. Если рама *A* присоединена к северному полюсу электромагнита, то на ее наконечниках полярность будет также северная *лл*, а на якоре *B* — *ss*. При прохождении модулированного тока степень намагничивания наконечников *лл* будет периодически изменяться, именно: у одного из них увеличиваться и у другого уменьшаться. В силу неравномерного притяжения к наконечникам *лл* якорь *B* придет в колебательное движение. Таким образом, в рекордере используется тот же принцип, что при устройстве поляризованного реле (т. IV, § 6, 1) или репродукторов типа Рекорд (т. V, § 16, 6).

На свободном конце якоря помещают иглу *C* служащую для записи звука.

Конструкции рекордеров чрезвычайно разнообразны; из них наиболее у нас известны любительские рекордеры (рис. 148 и рис. 149). Первый дает лучшие результаты, и регулировка его проще, поэтому он в дальнейшем описывается.

Если не предъявлять сколько-нибудь больших требований к записи звука, то в качестве рекордера можно даже взять механизм репродуктора „Рекорд“, сделав в нем соответствующую переделку. В заключение следует упомянуть об рекордере от аппарата „шоринфон“, служащего для записи резанием. Сведения о нем см. § 14, 6.

5. Устройство рекордера. Рекордер изображен на рисунке 148, отдельные его части с размерами — на рисунке 150. Сердечник электромагнита сгибают из мягкого полосового железа и придают ему форму и размеры по данным чертежей *I* и *II*. Для увеличения интенсивности магнитного поля боковые края у конца *A* (рис. 147) сердечника несколько спиливают и в середине делают клинообразное углубление *a*, в которое должен опираться своим острым ребром *l* якорь (рис. 150, *VII*). Винты *CC* служат для прикрепления к сердечнику электромагнита сердечника звуковой катушки (рис. 150, *V*). Стержень *B* с гайкой на конце предназначен для помещения свинцового груза весом около 0,5 кг (рис. 150, *III*). Подобных грузов разного веса лучше сделать два-три и взять тот, который вызывает продавливание

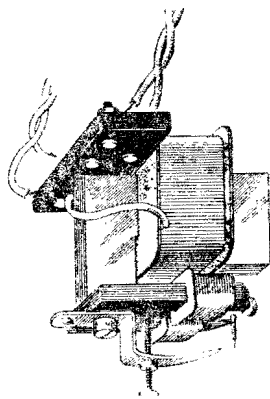


Рис. 149. Рекордер.

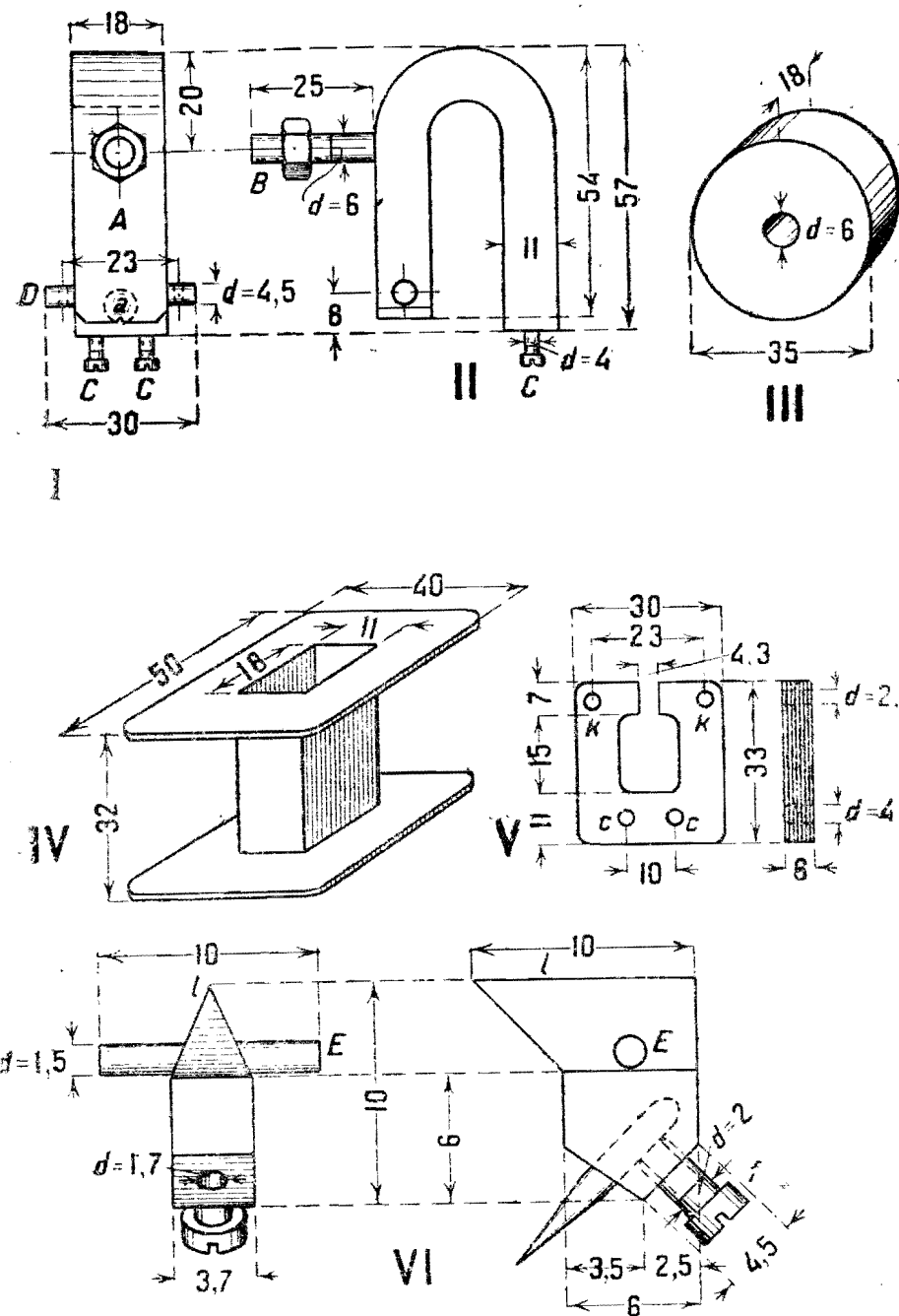


Рис. 150. I, II, III, IV, V, VI. Устройство рекордера.

¹⁾ Обмотки звуковой катушки делаются так же, как у нормального электромагнита, т. е. так, что при пропускании постоянного тока в междуполюсном пространстве на одном наконечнике получается полюс *N*, на другом — *S*.

достаточно глубокой звуковой дорожки. Размеры гильзы катушки подмагничивания электромагнита показаны на рисунке 150, IV; ее лучше всего сделать из листовой латуни. Катушку подмагничивания наматывают до краев проводом ПЭ толщиной в 0,008 мм, сделав выводы гибким проводом так, как указано в т. IV, § 5, 2, рис. 69¹⁾. При подобной намотке ее питание производится от выпрямителя (т. V, § 6, 6), или от приемника, или, наконец, от сети постоянного тока. Если катушка будет сильно греться, надо последовательно с ней подключать реостат или сопротивление Каминского в несколько тысяч омов (т. V).

Сердечник для звуковой катушки собирается из листиков железа, взятых от трансформатора низкой частоты (рис. 150, V). Листы железа скрепляются между собой посредством заклепок. Отверстия

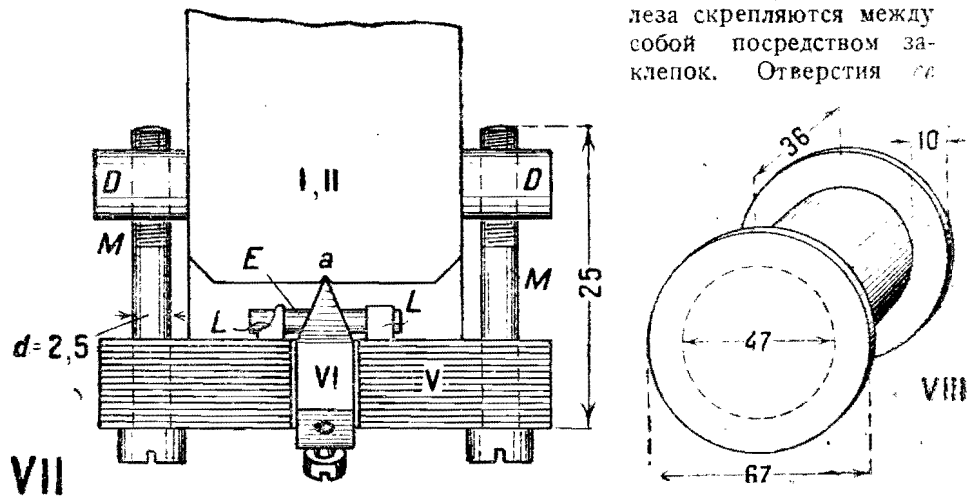


Рис. 150, VII, VIII. Устройство рекордера

просверливаются для винтов *CC* (рис. 150, I и II), служащих для соединения сердечников звуковой катушки и электромагнита.

Другие два отверстия *kk* предназначены для винтов *MM*, посредством которых производится изменение степени демпфирования якоря (рис. 150, VII). Размеры и вид якоря показаны на рисунке 150, VI. Делают его из стали или в крайнем случае из железа, но со стальной призмой *I*. Ребро *I* призмы должно представлять собой прямую линию и быть хорошо отточенным. Хорошо также сделать стальную вставку в конец сердечника электромагнита *A* с клинообразным углублением, в которое будет входить острое ребро призмы *I* якоря (рис. 150, I и VI). В якоря просверливают также отверстие для помещения иглы, зажимаемой винтом *f*. Круглый прутник *E*, вставленный в якорь, изготавливается из стали.

На рисунке 150, VII изображен способ установки якоря *VI* в междупольном пространстве сердечника *V* звуковой катушки. Под штырек *E* подкладывают кусочки хорошей эластичной резины *L*. Винты *MM*,

¹⁾ Провод ПЭ ($d = 0,008$ мм) можно взять со старого трансформатора низкой частоты (т. V).

входящие своей нарезной частью в отростки *D* сердечника *I, II*, служат для изменения степени демпфирования. Опыт покажет, в какой степени должна быть сжата резина для получения достаточно чистой и громкой записи.

Рекордер соединяют с ведущей частью лентопротяжного механизма, лучше всего посредством петли *S*, позволяющей по окончании записи откидывать рекордер вверх (рис. 142). Размеры ведущей части рекордера, содержащей полугайку *G* и направляющую втулку *R*, ясны из рисунка 142. На этой же части ставят эбонитовую дощечку *V* с клеммами, к которым посредством гибких проводов присоединены выводы от звуковой катушки и подмагничивания.

Звуковую катушку делают на сердечнике в виде двух обмоток (рис. 151). Сердечник в тех местах, где будут помещаться обмотки, обертывают для изоляции двумя-тремя слоями тонкой парафинированной бумаги. Предварительно полезно несколько закруглить напильником острые края у этих частей сердечника. Каждая обмотка должна содержать по одинаковому числу витков.

Сопротивление звуковой обмотки должно быть строго определенным в зависимости от данных выхода приемника или усилителя. Так,

если приемник имеет низкоомный выход, то и звуковая обмотка рекордера должна быть намотана из 30 витков проводом ПЭ или ПБД ($d = 0,2$ мм).

6. Шорифон. В продажу выпущен прибор для электромеханической записи звука на киноленту, названный по имени изобретателя шорифоном (рис. 152). Аппарат представляет собой лентопротяжный механизм, приводимый в движение синхронным мотором, питаемым от сети освещения переменного тока. Пуск мотора делается от руки посредством специального ключа. Запись производится на склеенной кольцом киноленте длиной в 6 или 12 м, что позволяет при различных комбинациях получать продолжительность от 10 до 50 мин. Ленты для шорифона

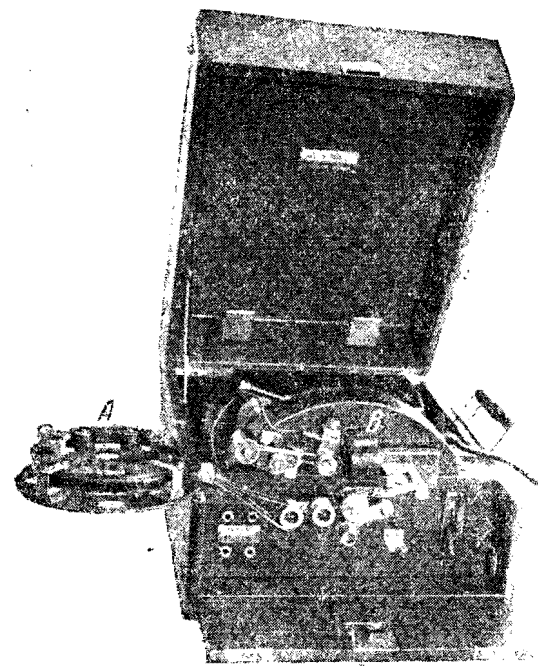


Рис. 152. Шорифон.

изготавливаются из обычной киноленты посредством отрезания у последней перфорации приложенным к аппарату резакон и разрезания



Рис. 151. Звуковая обмотка и якорь рекордера.

ее вдоль пополам. Лента наматывается на специальную кассету А. О необходимых качествах ленты, склейки ее и т. п. см. § 15, 1.

Запись производится при помощи рекордера В (рис. 152 и 153) способом резания рубиновым или сапфировым резцом. Рекордер при замене резца сапфировой иглой (рис. 154) служит и для воспроизведения записи в качестве электромагнитного адаптера. На рисунке 153 показано устройство рекордера — адаптера шоринфофона. Таким образом, шоринфофон является аппаратом универсальным, т. е. служит

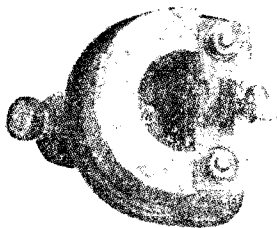


Рис. 153. Рекордер шоринфофона и его устройство.

как для записи, так и для воспроизведения. Неоспоримое достоинство заключается еще в том, что шоринфофон не требует специального усилителя и записывает, а также и воспроизводит при помощи любого хорошего лампового приемника, имеющего неискаженную выходную мощность в 0,5—1 вт (ЭЧС, ЭКЛ, СИ-235, Т-35 и т. п.). В ряде деталей, прилагаемых к аппарату, предусмотрено все, что нужно для записи и воспроизведения (вплоть до мелочей): микрофон (капсуль МБ № 5),

регулятор громкости, микрофонный трансформатор, соединительные шнуры, жестяной футляр для хранения киноленты, пинцет для удаления стружки, запасные кассета и рубиновые иглы, клей и т. д. Благодаря исклю-

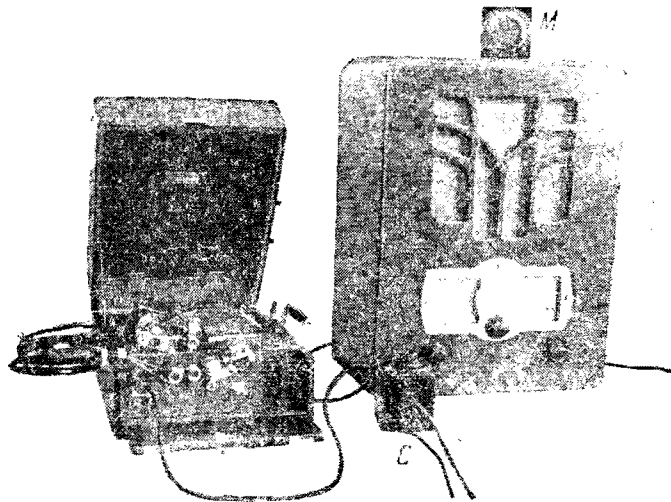


Рис. 155. Установка для записи звука.

чительной продуманности конструкции обращение с шоринфоном крайне просто и доступно для человека, неискушенного в области радиотехники. Шоринфофон позволяет, кроме воспроизведения записанного, вести запись: 1) с эфира; 2) с микрофона и 3) с граммофонной пластинки.

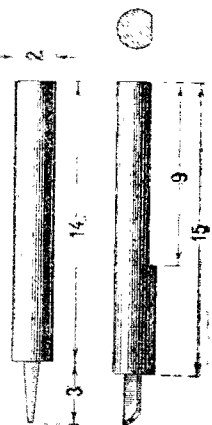


Рис. 154. Иглы для записи и воспроизведения.

чительной продуманности конструкции обращение с шоринфоном крайне просто и доступно для человека, неискушенного в области радиотехники. Шоринфофон позволяет, кроме воспроизведения записанного, вести запись: 1) с эфира; 2) с микрофона и 3) с граммофонной пластинки.

На рисунке 155 показана установка для записи с микрофона М. Прибор С содержит в себе регулятор громкости, микрофонный трансформатор и батарейку в 4 в с выводами к 3 парам штепсельных гнезд.

Присоединение рекордера к приемнику производится так же, как и описанного выше (§ 13, 3), т. е. его обмотка включается на место звуковой катушки динамика (рис. 130). Ток для подмагничивания не нужен; рекордер шоринфофона имеет постоянный магнит.

На рисунке 156 показаны основные схемы включения к приемнику в следующих случаях: I — запись с эфира; II — запись с микрофона; III — запись с граммофонной пластинки; IV — воспроизведение.

§ 15. Запись и воспроизведение звука.

1. Кинопленка для записи. При записи на целлулоиде методом давления при лучшем рекордере и специальном усилителе можно записать частоты примерно не выше 5000. Вследствие этого неизбежны искажения тембра, в особенности у высоких голосов. Впрочем, срезанием верхних частот страдают и некоторые сетевые приемники, почему, например, голоса женщин дикторов звучат примерно одинаково.

Метод резания позволяет записать более высокие частоты, но он по своей относительной сложности менее доступен для средней школы. Неоспоримое достоинство целлулоида заключается в почти полном отсутствии шума благодаря мелкозерности этого материала.

Для записи берут позитивную кинопленку или лучше приобретают на фабрике негативную из брака. Можно использовать также засвеченную не проявленную пленку, но вследствие несколько большей жесткости запись удастся хуже.

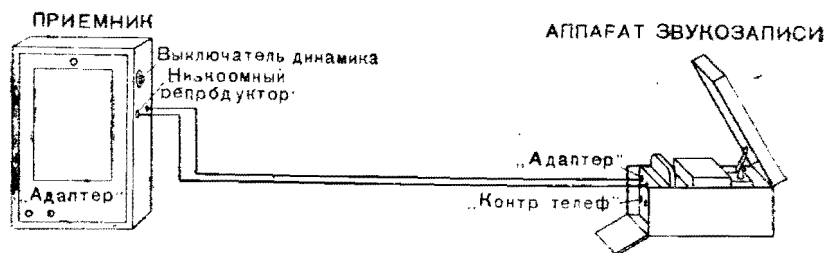
Огромнейшее значение для результатов записи имеет свежесть пленки. Пленка, пролежавшая несколько лет, вследствие высыхания становится хрупкой и более жесткой и теряет свою эластичность. Очень часто неудача записи зависит именно от „старости“ пленки ¹⁾.

При записи резанием на хорошей пленке стружка получается в виде целой непорванной нитки; на высохшей пленке стружка состоит из отдельных мелких кусочков и пыли. Запись на старой пленке резанием тупит резец и сопровождается при воспроизведении сильным шумом и шипением. Качество не совсем высохшей пленки можно улучшить, смазав ее за несколько дней до употребления касторовым маслом, которое при записи удаляется тряпкой.

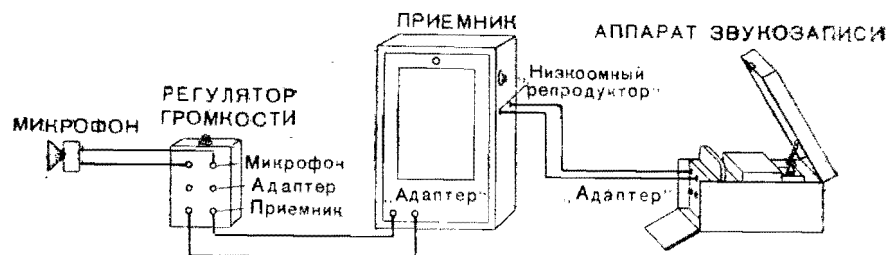
Для записи на описанном лентопротяжном механизме из пленки вырезают участки около 2 м длиной с неповрежденными краями (перфорацией) и главное — несодержащие на поверхности целлулоида (а не эмульсии) царапин и других повреждений. Из пленки склеивают кольца. На получение безукоризненной склейки надо обратить самое

¹⁾ Старая лента при резких перегибах в одном месте взад и вперед ломается через 3—4 раза.

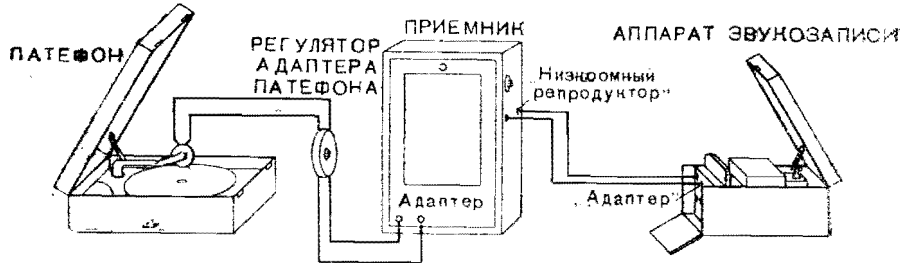
1 ЗАПИСЬ С ЭФИРА



2 ЗАПИСЬ С МИКРОФОНА



3 ПЕРЕЗАПИСЬ С ГРАМПЛАСТИНКИ



4 ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ



Рис. 156. Основные схемы включения шорнофона.

серьезное внимание. При небрежной склейке игла адаптера будет соскакивать на этом месте и попадать в соседнюю канавку, давая при этом или пропуск или повторение. В лучшем случае прохожде-

через место склейки будет вызывать появление сильных щелчков, мешающих воспроизведению.

Есть два способа склейки. В одном случае ленту обрезают строго перпендикулярно к ее краю, в другом — наискось под углом в 45° (рис. 157 и 158). Второй способ является более совершенным, но первый легче для выполнения и поэтому рекомендуется на первых порах. Склеиваемые края ленты посредством лезвия от бритвы срезаются или, вернее, соскабливаются указанным на рисунке 159 образом, что при отсутствии навыка удастся не так просто. Края смазываются клеем (ацетон или в крайнем случае лак для ногтей), накладываются друг на друга и сжимаются до высыхания клея под прессом. В простейшем случае таким прессом служит книга, внутрь которой закладывается склейка; на книгу необходимо положить очень тяжелый груз. Лучшее место склейки поместить между

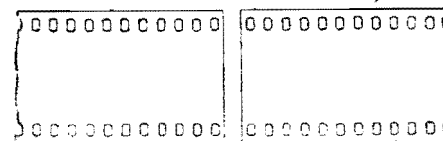


Рис. 157. Склейка под прямым углом.

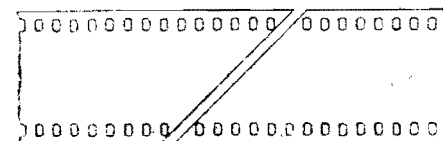
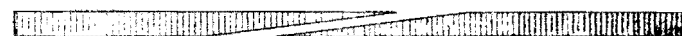
Рис. 158. Склейка под углом в 45° .

Рис. 159. Срез на краях ленты.

двумя ровными металлическими пластинками, сжатыми посредством ручных или настольных тисков. Еще лучше сделать специальный станочек для склейки.

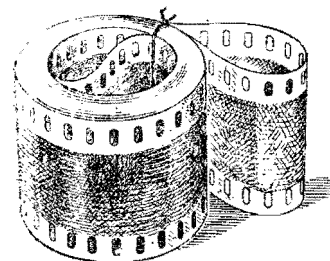


Рис. 160. Хранение киноленты с записью.

Надо добиться затем не только того, чтобы место склейки выходило ровным, но также и отсутствия перекаса по длине ленты. Практика покажет, какое важное значение имеет высокое качество склейки. Если склейка не удалась, ее повторяют, вырезав испорченное место.

Запись производится всегда с той стороны, где целлулоид не содержит эмульсии. Иногда рекомендуют перед записью смазывать поверхность пленки каким-нибудь жидким маслом, например вазелиновым, и притом возможно более тонким слоем. Моду-

ляция на звуковых дорожках становится ясно заметной, если наискось рассматривать пленку в отраженном свете. Надпись, указывающую содержание записи, делают тушью или просто чернилами на эмульсии в ее наиболее светлой части. Для хранения кольцо складывают вдвое, отнюдь не допуская резкого перегиба и притом ни в коем случае не на месте склейки, сматывают и перевязывают ниткой (рис. 160).

При записи на пластинку, за отсутствием в продаже листового целлулоида, приходится пользоваться старыми рентгеновскими снимками, достать которые можно в больнице. Интересно произвести опыт записи на целофане. Последний благодаря своей тонкости нужно наклеивать на тонкие листы совершенно гладкого картона.

2. Процесс записи. Перед записью следует убедиться, что каждая из составных частей установки звукозаписи работает безукоризненно, и только тогда переходить к самому процессу. Иначе, хотя бы малые искажения, вносимые отдельными частями установки, суммируясь, дадут низкое качество записи.

Первым проверяется работа усилителя, для чего посредством описанного выше переключателя (рис. 130 и 131) включают репродуктор приемника и убеждаются в чистоте воспроизведения. Начинать лучше всего с записей радиопередач из эфира, т. е. одной из громко и чисто принимаемых станций, например им. Коминтерна. Впоследствии, получив хорошие записи, можно перейти к переписке с пластинок, сначала речевых и мужского пения и только затем женского пения и чисто оркестрового исполнения. Наибольшие трудности встретятся при записи оркестра, где срезание высоких частот особенно сказывается.

Как было уже выше указано (§ 13, 3), пользоваться необходимо хорошими пластинками, дающими минимум шума. При записях с микрофона дело еще более усложняется; такие записи удаются хорошо после некоторой тренировки и приобретения навыков. Еще раз повторяем, что предварительная проверка на репродуктор электрической части установки необходима как при приеме из эфира, так и при переписке пластинок и, главное, при работе с микрофона. Приемник должен давать наилучшее возможное для него воспроизведение.

Проверив работу усилителя, переходят к налаживанию механической части установки, т. е. процесса выдавливания канавки на ленте. На звукозаписывающий валик надевают ленту и притом так, чтобы игла рекордера в месте склейки проходила по „ворсу“.

Затем в рекордер вставляют иглу, отобрав наилучшую примерно из 10—15 обычных патефонных иголок громкого или среднего тона. Если рассматривать концы иголок в сильную лупу, то на некоторых можно заметить заусеницы и неправильную или недостаточную заточку конца. Пустив в ход лентопротяжный механизм, убеждаются в плавности его хода и затем накладывают рекордер на ведущий винт. Игла рекордера не должна ни в коем случае царапать, а должна выдавливать бороздку. Совершенно не допустимо также продавливание или прорезание ленты насквозь. Царапание и прорезание указывают на то, что игла поставлена под неправильным углом, содержит заусеницы или на рекордер наложен чересчур большой груз. Однако, если выдавливаемые борозды мелки, — это тоже недостаток: игла адаптера при воспроизведении будет соскакивать. Выдавлив несколько ниток, следует убедиться, что шаг везде одинаков, т. е. нитки лежат на равном расстоянии друг от друга. На этом процесс проверки лентопротяжного механизма заканчивается.

Присоединяют подмагничивание и звуковую обмотку рекордера в цепь приемника и, пустив последний в ход, переключают его на

запись (рис. 130—131). В том, что приемник работает, убедиться легко: звук воспроизводит, правда, очень тихо, выходной трансформатор, а также звучит рекордер. Звук рекордера становится более ясным, если положить его на стол или резонаторный ящик. Конец иглы рекордера колеблется, что легко обнаружить наощупь, коснувшись пальцем. Рецепт, какова должна быть амплитуда колебаний, указать нельзя. После экспериментов создается навык определять пальцем нужную для хорошей модуляции степень колебания. Нужно указать, что сильные колебания иглы дадут большую громкость при воспроизведении записи, но и максимум искажений.

Важно отметить также, что усиление демпфирования улучшает частотные качества рекордера, т. е. уменьшает срезание высоких частот, но уменьшает громкость записи. Только опыт позволит найти наилучшую степень демпфирования.

Проверив таким образом рекордер, пускают в ход лентопротяжный механизм и делают запись. О достаточной глубине модуляции и удовлетворительной чистоте записи судят по воспроизведению адаптером. Добившись удовлетворительного качества, переходят к записи.

При записи на пластинку приставляют к патефону механизм указанным на рисунке 143 образом и закрепляют основание при помощи струбинок. На диск патефона надо наклеить или положить кружок из хорошей, главное, совершенно гладкой резины. Пластинку для записи вырезают из целлулоида, пробив точно в центре отверстие диаметром в 15 мм. Пластинку надевают на диск патефона и во избежание скольжения закрепляют посредством груза, представляющего собой металлический (свинцовый или железный) тяжелый диск с отверстием посредине. Налаживание установки и запись производятся так же, как на лентопротяжном механизме. Однако управление механизмами при записи на пластинку сильно усложняется необходимостью поддерживать число оборотов неизменным и притом равным $78 \frac{об}{мин}$ (§ 13, 3).

3. Воспроизведение записи. Воспроизведение производится на том же лентопротяжном механизме, служащем для записи. Так как при воспроизведении тормозящее усилие адаптера (т. V, § 17, 5) много меньше, чем у рекордера, то лента движется быстрее, и голос говорящего или поющего становится выше тоном, чем в действительности. Для получения той же скорости, что и при записи, можно устроить механический тормоз, как у патефона, или проще включить последовательно с ведущим мотором реостат с подвижным контактом. Нужную скорость легко определить на слух по высоте воспроизводимого звука.

Важно взять такой адаптер, у которого якорь достаточно легок и притом слабо демпфирован. При „жестком“ адаптере игла, проходя по бороздкам, будет деформировать модуляции и с каждым разом воспроизведения ухудшать качество. Нужно также, чтобы адаптер по своему весу был возможно легче.

Воспроизведение производится на том же приемнике, при помощи которого велась запись, для чего адаптер, снабженный регулятором громкости, включается в клеммы, или гнезда, „адаптер“.

4. Патефон. Одним из самых распространенных приборов для воспроизведения звука является патефон, заменивший собой граммофон, аналогичный ему по принципу действия. Характерным отличием патефона служит отсутствие отдельного рупора, который вместе с механизмом заключен в чемодан (с крышкой), делающий прибор легко переносимым.

Пружинный заводной механизм вращает диск с положенной на него круглой пластинкой, на которой звуковая запись сделана вдоль спи-

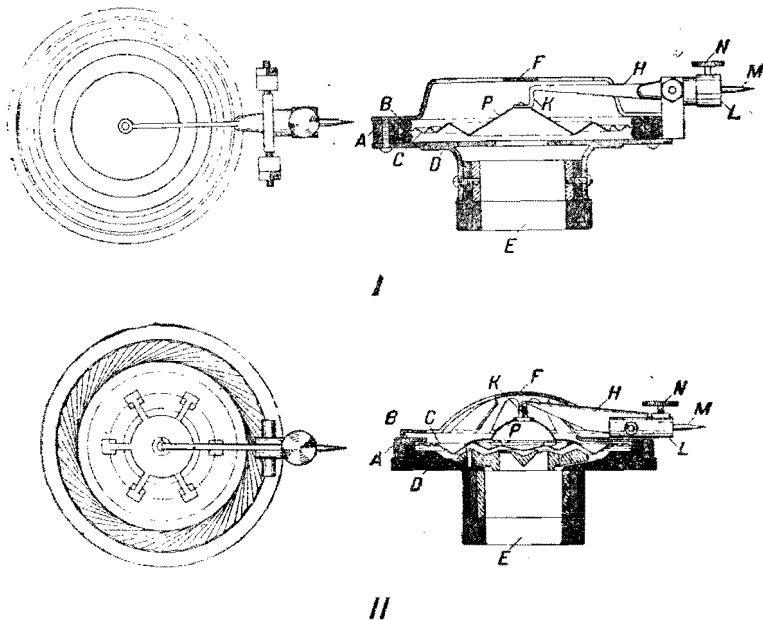


Рис. 161. Патефонная мембрана электроприбора (I) и ВЭТ (II).

ральной канавки, идущей чаще всего от края пластинки к ее центру. По этой канавке скользит игла, прикрепленная к мембране, — главному органу прибора.

Все мембраны (рис. 161—162) в целом при различии конструкции в деталях, состоят из массивного металлического или эбонитового кольца *A*, внутри которого между двумя резиновыми кольцевыми прокладками *B* зажата вдоль своего края собственно сама (круглая) мембрана *C*. К кольцу *A* с наружных сторон привинчены две крышки: одна из них (*D*) снабжена широким отверстием *E* для надевания всей мембраны на конец трубки рупора (тонарм); другая (*F*) на своей выпуклой средней части имеет фигурные прорезы, а также радиальную щель, через которую проходит рычажок *H*, одним концом *K* прикрепленный к центру мембраны, а на другом *L* имеющий канал для укрепления иголки *M*, зажимаемой винтом *N*.

Сама мембрана *C* представляет собой металлический (обычно алюминиевый, рифленый по концентрическим окружностям) кружок, зажатый неподвижно вдоль внешнего края между прокладками *B* и

в центре приклепанный к рычажку *H*. Мембрана состоит из двух частей, склеенных друг с другом; наружное кольцо *C* сделано из более тонкого материала ($b \approx 0,1$ мм); внутренняя часть *P* — из более толстого ($b \approx 0,5$ мм), имеет более редкие изгибы, но с большим размахом и приклепана своим центром *K* к рычажку *H*.

Мембрана ВЭТ (рис. 161, II) имеет ту особенность, что изгибы внешнего кольца направлены по косым прямым линиям и что тонкая часть занимает всю площадь, а средняя толстая часть приклеена в отдельных местах.

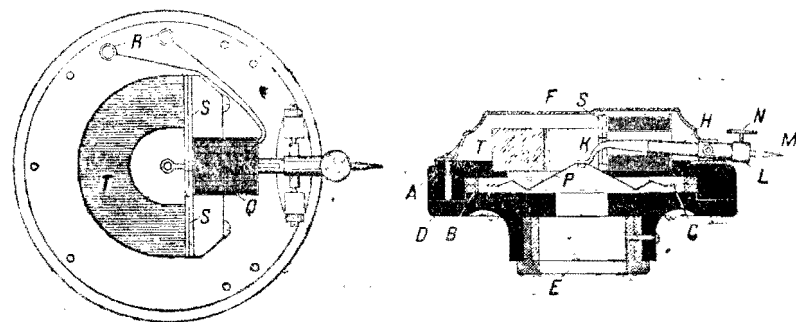


Рис. 162. Радиомембрана экспериментальных мастерских Ленинградского городского комитета физкультуры и спорта.

Радиомембрана (рис. 162) имеет дополнительную деталь в виде катушки *Q* (с сопротивлением в 2000 омов), внутри которой проходит рычажок *H*; концы обмотки подведены к двум гнездам *R*. По выходе из катушки рычажок идет в узком промежутке между двумя железными пластинками *SS*, которые притянуты к полюсам стального подковообразного магнита *T*.

Благодаря особенностям своей конструкции радиомембрана может служить: 1) мембраной патефона; 2) адаптером для передачи звука от патефонной пластинки радиоприемнику — путем соединения гнезд *R* проводом с клеммами „адаптер“ приемника; 3) репродуктором — путем соединения гнезд *R* с высокоомным выходом радиоприемника или с трансляционной сетью; 4) микрофоном — путем такого же соединения, как и во втором случае; звук производится перед рупором патефона, помещенного далеко (в другой комнате) от приемника.

ОПТИКА

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ.

§ 16. Точечные источники света.

1. Точечная лампа (пуантолитовая) см. т. III, § 27, 9.

2. Лампы для кинопередвижки. 12 *вт*, 30 и 50 *вт* (т. III, § 26, 2) для патрона Свана (рис. 163, I). Эти лампы, как видно из рисунка, имеют светящийся волосок в виде небольшой дуги (рис. 163, II), изображенной в натуральную величину. Если за такой лампой поместить сферическое зеркало, расположив волосок как раз в центре его, то можно использовать и ту часть лучей, которая посылается в противоположном направлении. При правильном расположении зеркала светящимся „телом“ будет волосок и его действительное изображение, налагающиеся друг на друга и образующие как бы букву *x* (рис. 163, III¹). Если желательно использовать эту лампу с рефлектором, то можно воспользоваться целиком всей осветительной головкой от кинопередвижки. Для целого ряда опытов это будет наилучший источник света.

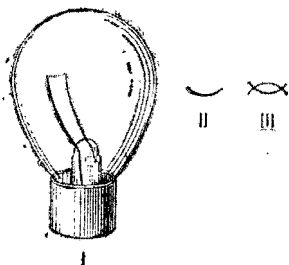


Рис. 163. 12-вольтовая кинопроекционная лампочка.

3. 12-вольтовая лампа (100-ваттная), с цоколем для обычного эдисоновского патрона. У нее тоже светящаяся поверхность очень невелика. Разумеется, рефлектор в виде сферического зеркала, в центре которого расположена светящаяся нить, и в этом случае помогает более рациональному использованию световой энергии.

4. 4-вольтовые лампочки от карманного фонаря (т. III, § 26). Они также обладают очень небольшой светящейся поверхностью.

5. Вольтова дуга (т. I, § 70, 71, 73, 74, 75). Наиболее приближается к точечному источнику дуга постоянного тока, если углы расположены под прямым углом, причем положительный уголь горизонтален (рис. 164).

Рис. 164. Расположение углей в вольтовой дуге.

В этом случае силу тока надо подобрать так, чтобы отрицательный уголь не загорал крatera на положительном угле. Чем толще угли, тем более сильный ток требуется. Другим условием является такая толщина отрицательного угля, чтобы он сам (вернее, его конец) не раскаливался докрасна.

¹ При установке вогнутого зеркала (рефлектора) нужно смотреть на лампочку, непременно надев очки с темными стеклами.

6. Однонитная лампа. В некоторых случаях в качестве точечных источников пригодны однонитные лампы, именно когда их нить накала параллельна щели, через которую в дальнейшем пропускается свет.

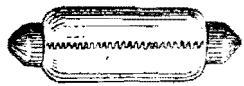


Рис. 165. 12-вольтовая однонитная лампа.

Наиболее распространенными являются однонитные 12-вольтовые 10-ваттные лампочки (рис. 165).

Эти лампочки, пожалуй, из всех однонитных обладают наибольшей яркостью светящейся нити, конечно, при условии правильного питания их током.

В целом ряде опытов, пользуясь этими лампами, можно обойтись без щели (например в опытах по дифракции).

§ 17. Получение параллельного пучка.

1. Источник света близок к точечному (вольтова дуга, 50-ваттная 12-вольтовая кинолампа с рефлектором, 100-ваттная 12-вольтовая лампочка). В этом случае достаточно в конденсоре фонаря оставить одну первую линзу и источник света установить в фокусе этой линзы (рис. 166, I).

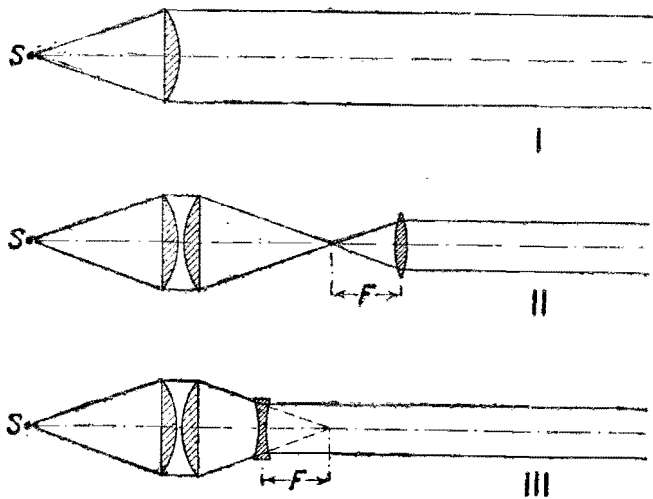


Рис. 166. Схема получения снопа параллельных лучей.

2. Источник света достаточно далек от точечного (500—1000-ваттная 120-вольтовая кинопроекционная лампа, обычная сильная газополная лампа, калильная лампа). Здесь выгоднее оставить весь конденсор. Сходящийся же пучок, даваемый конденсором, обратить в параллельный можно при помощи двояковыпуклой (рис. 167, II) или двояковогнутой (рис. 167, III) линзы. Этими способами получают более интенсивные пучки.

3. Отдельные лучи. Описанные способы дают сноп параллельных лучей, и если бы заставить этот сноп скользить по экрану, то на нем получилась бы одна широкая светлая полоса. В целом ряде случаев

надо показать несколько параллельных друг другу лучей. Для этого нужно только на пути уже полученного одним из только что указанных способов параллельного снопа лучей поставить ширму с рядом отверстий в виде прямоугольных щелей (рис. 167).

В тех случаях, когда желательно проследить за каждым лучом в отдельности, полезно перед разными щелями поставить различно



Рис. 167. Непозрачный экран со щелями.

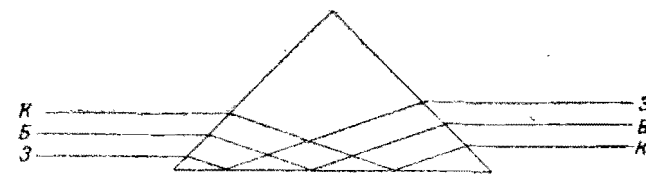


Рис. 168. Оборачивающая призма.

окрашенные (но не очень густо) светофильтры. Пример: нужно продемонстрировать ход лучей в оборачивающей призме; для этого пускают на нее три луча — красный, белый, зеленый; по выходе из призмы получают зеленый, белый, красный (рис. 168).

При подборе светофильтров надо следить, чтобы „луч“, наиболее ослабляемый демонстрируемым оптическим прибором, был наименее ослаблен светофильтром.

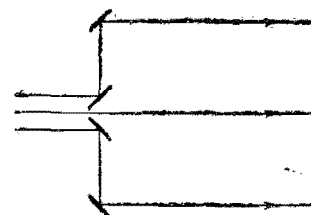


Рис. 169. Схема получения далеко раздвинутых параллельных лучей.

4. Широко раздвинутые лучи. При помощи конденсора невозможно получить край-

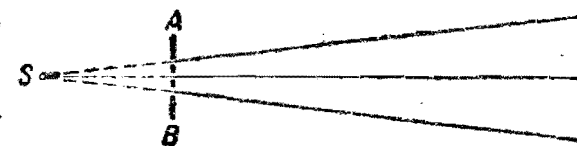


Рис. 170. Ширма со щелями близко от источника света; пучок лучей — расходящийся.

ние лучи на расстоянии, превышающем диаметр конденсора. Если бы мы пожелали получить лучи на большем расстоянии друг от друга, то можно было бы воспользоваться зеркалами (рис. 169). Два средних зеркала поставлены настолько близко друг к другу, что образуют щель для среднего луча. Наклон им придается такой, чтобы отраженные от них лучи пошли вертикально: один вверх, другой вниз. Эти два луча перехватываются крайними зеркалами и направляются вновь горизонтально. Если взять узкие полоски, то можно здесь обойтись без щелей. Само собой разумеется, что крайние зеркала можно раздвигать как угодно.

5. Удаленный источник. При демонстрациях целого ряда явлений, в особенности качественных, нет необходимости в строго параллельных пучках. В этом случае можно ограничиться источником света и щелями. Легко сообразить, что если (рис. 170) мы будем ширму AB со щелями отодвигать от источника света S, то угол между крайними лучами будет

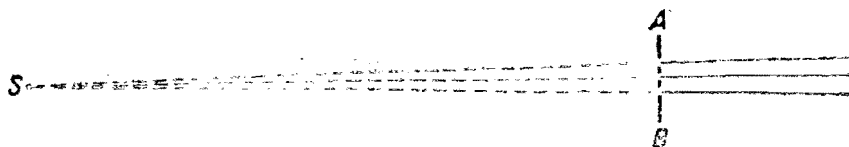


Рис. 171. Ширма со щелями далеко от источника света; пучок лучей близок к параллельности.

все уменьшаться, лучи же все приближаться к параллельным. Источник, удаленный на расстояние, в 25 раз превышающее расстояние между крайними щелями, дает практически уже почти параллельный пучок (рис. 171).

§ 18. Как сделать лучи „видимыми“?

1. Запыление. Лучи света, как известно, невидимы. Видимо только то, что посылает в наш глаз расходящиеся пучки лучей, т. е. то, что рассеивает свет. Если желательно видеть ход луча, то на его пути необходимо поместить тела, которые рассеивали бы свет. Однако эти тела должны быть такими, чтобы, несмотря на их присутствие, лучи не особенно сильно ослаблялись. Такими телами могут с успехом быть пылинки. Однако и этого мало. Облако пыли, поднятое в солнечный день, ни одного светового луча не выявляет. Необходим контраст, необходимо рядом с освещенной пылью иметь и неосвещенную пылью. Другими словами, можно сделать видимыми лишь довольно тонкие пучки лучей.

„Видимость“ тонких пучков лучей в воздухе легко достигается его запылением, которое можно произвести: 1) встряхнув тряпку, которой стирается написанное на классной доске; 2) пустив дым от папиросы; 3) воспользовавшись дымарем (рис. 172) (берется склянка с двумя пропущенными сквозь пробку стеклянными трубками, на одну из трубок, как на мундштук, туго надевают папиросу; зажигают ее и закрывают пробку; продувая через другую трубку слабую струю воздуха, заставляют табак слабо гореть и давать большое количество дыма); 4) получив каким-либо химическим способом мелко раздробленное, взвешенное в воздухе вещество, например поставив рядом два блюдечка: одно — с нашатырным спиртом, другое — с соляной кислотой. Над блюдечками поднимается облако нашатыря. „Видимость“ пучков лучей в воде достигается ее замучиванием или подкрашиванием флюоресцирующей краской. Воду замутить хорошо молоком, раствором канифоли в спирте. Для подкраски воды лучше всего флюоресценци и эозин.

Рис. 172. Дымарь.

Необходимо твердо помнить, что чем меньше вода окрашена или замучена, тем лучше.

2. Следы лучей. Тонкие пучки лучей можно заставить скользить по той или другой рассеивающей поверхности. Тогда на ней будут

отчетливо видны освещенные полосы — следы лучей. В роли такой поверхности хороши: белая бумага (лучше матовая); матовое стекло; поверхности, окрашенные белой клеевой или масляной краской, другими словами, те самые поверхности, которые хороши для экранов (§ 19).

§ 19. Экраны.

Экран является и объектом изучения, и вспомогательным прибором, поэтому и подойдем к нему с двух точек зрения.

1. Роль экрана лучше всего выявить на следующем опыте: получают действительное, обратное, „висящее в воздухе“, изображение какого-либо предмета при помощи вогнутого зеркала (§ 27,8). Показывают его учащимся, для чего придется каждого смотрящего поместить в определенном месте. Стоит смотрящему несколько переместиться в сторону от оптической оси зеркала, и ранее видимое изображение исчезнет. Когда все учащиеся убедятся в том, что действительное изображение, даваемое зеркалом (линзой), видимо только со строго ограниченного места, берут кусок папиросной бумаги (экран) и помещают его в том месте, где получалось изображение. То же самое изображение рисуется на экране. Однако теперь оно видимо всем сразу. Каждая точка экрана может рассматриваться как самосветящаяся, посылающая свет во все стороны, а потому и видимая со всех сторон. Если экран — из папиросной или нетолстой писчей бумаги, матового стекла, кальки, вообще легко просвечивающего вещества, изображение, на нем полученное, будет видно с обеих сторон его. Одинаково ли? Нет. С одной стороны ярче, чем с другой.

Если экран отражает больше света, чем пропускает, то более яркое изображение будет видно со стороны предмета. В противоположном случае — наоборот.

2. Зеркальное отражение от шероховатых поверхностей. 1) Свеча или слабая электрическая лампочка. 2) Кусок бумаги¹⁾. 3) Кусок закопченного стекла. 4) Негатив.

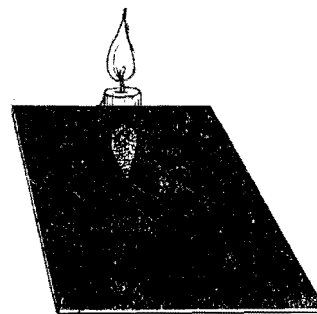


Рис. 173. Изображение свечи в закопченном стекле.



Рис. 174. Отражение при угле падения, близком к прямому.

Если менять угол падения света, идущего от источника, то легко заметить, что все шероховатые тела [бумага, копоть (рис. 173), нанесенная на стекло, желатиновый слой негатива и т. д.] дают зеркальное изображение источников света (свечи) при углах падения, близких к прямому (рис. 174). Значит для почти скользящего луча шерохо-

¹⁾ Для того чтобы опыт удался, поверхность бумаги должна быть плоской, поэтому бумагу полезно наклеить на стекло.

ватости поверхностей как бы сглаживаются, а потому эти поверхности дают больше правильно отраженного света, чем рассеянного.

Естественно возникает вопрос—не дают ли шероховатые поверхности зеркального изображения и при малых углах? Вероятно дают, но увидеть его нельзя, потому что количество рассеянного света значительно больше, чем правильно отраженного. Рассеянный свет как бы слепит нас и не дает возможности заметить слабое изображение. Здесь происходит то же, что в следующем опыте.

3. Пламя свечи не видно на сильно освещенном фоне. 1) Проекционный фонарь. 2) Свеча.

Получим при помощи фонаря слабо расходящийся пучок света (§ 17, 5), расположимся где-нибудь внутри этого пучка и поместим зажженную свечу между собой и конденсором фонаря. Пламя свечи почти не будет видно, так как огромное количество света от фонаря значительно притупит чувствительность глаза (§ 39,6).

4. В каком направлении смотреть на экран? Итак, экран дает и правильно отраженный пучок световых лучей и рассеянный пучок. Правильно отраженный пучок может быть воспринят лишь в строго определенном направлении, значит всеми сразу не может быть виден. Присутствие зеркально отраженного света проявляет себя „бликами“. Там, где появился „блик“, изображение почти пропадает, так как большое количество света нас ослепляет. Значит экран надо помещать так, чтобы зеркально отраженный свет не попадал в глаз наблюдателя.

Совсем другие условия рассматривания изображений на просвет. Здесь через просвечивающий экран часть лучей все же проходит, а потому если глаз помещен в конусе прошедших лучей, то одновременно на одном и том же месте видно и изображение, даваемое прошедшими лучами, и изображение, даваемое экраном как самосветящим телом. Другими словами, здесь выгодно наблюдать в направлении самих лучей.

5. Типы экранов. 1) Белый экран: стена; натянутое на раме полотно, окрашенное белой матовой краской; натянутая простыня; но особенно глянцевиная писчая бумага достаточно хорошо рассеивает свет, почти не давая зеркального отражения.

2) Полотно, покрытое алюминиевой краской, довольно значительный процент падающего света зеркально отражает, а потому дает хорошую картину лишь в некоторых определенных направлениях; дает много бликов; если хотя бы немного уменьшится степень натяжения полотна, т. е. появится где-нибудь почти незаметная выпуклость или вогнутость, блики станут так велики и неправильны, что картину смотреть окажется невозможно.

3) Матовое зеркало, т. е. обычное зеркало, передняя поверхность которого сделана матовой. Этот экран, в сущности, дает три изображения: первое создается светом, рассеянным передней матовой поверхностью; второе создают лучи, прошедшие через матовую поверхность, отразившиеся от задней зеркальной поверхности и упавшие вновь на матовую поверхность; третье—отражение первого изображения в зеркальном слое; это изображение лишь едва-едва может про-

свечивать через матовый слой, а потому почти не играет роли. Зрителю картина представится хорошей только тогда, когда первые две картины окажутся слившимися. Легко сообразить, что это будет лишь в строго определенных направлениях, именно в направлениях зеркально отраженных лучей при достаточно малых углах падения.

4) Зеркало. Плоское зеркало, как известно, не изменяет характера пучков падающего на него света, а только поворачивает их, поэтому,

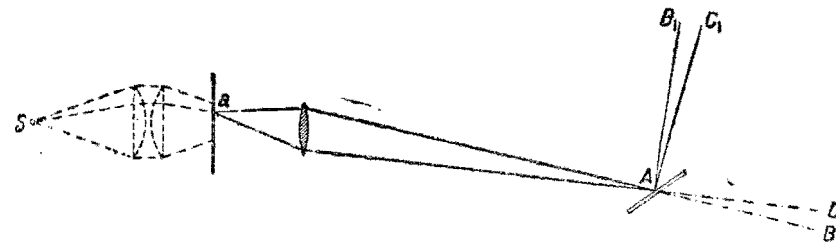


Рис. 175, I. Пучки лучей, правильно отраженные экраном.

если расположиться внутри того конуса, который образуют отраженные лучи, мы будем видеть такое же изображение, какое видели бы, расположившись за экраном. На рисунке 175, I показано, какие лучи рисуют точку a диапозитива, проектируемого фонарем. Если бы экрана не было, изображение точки a , т. е. точку A , можно было бы видеть, поместив глаз где-нибудь внутри конуса BAC . Если поставлено зеркало вместо экрана, то та же точка A будет видна, если поместить глаз внутри конуса B_1AC_1 . Другими словами, в случае экрана-зеркала из каждого данного места можно будет видеть лишь небольшую часть картины. Зеркало экраном служить не может. Для рассматривания в „отраженном“ свете хороши только белые матовые поверхности (случай I).

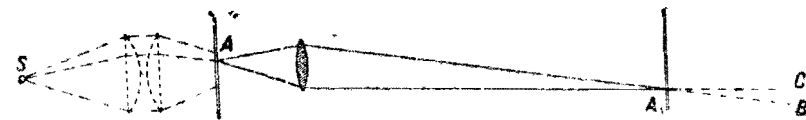


Рис. 175, II. Пучок лучей, прошедших через экран.

5) Матовое стекло, калька, восчанка много света пропускают, немного рассеивают.

Если поместить глаз внутри конуса BA_1C (рис. 175, II), где в глаз будет попадать и прошедший свет и свет, рассеянный точкой A ,—она будет хорошо видна. Где бы в другом месте—спереди или сзади, все равно—мы ни помещали свой глаз, картина будет значительно слабее. Чем больше данный материал пропускает лучей, тем резче разница между картиной, видимой отовсюду, и картиной, видимой внутри конуса BA_1C .

Просвечивающий экран можно рекомендовать только там, где очень мало света, например при проектировании броунового движения. Наблюдение, конечно, придется вести из точно определенных мест.

6. Щели. 1) На рисунке 176, I представлена самая простая раздвижная щель. Она пригодна для проектирования спектров и ряда опытов, не требующих особенно точной установки.

2) Более удобно, если щель сделана в круглой пластинке, могущей быть поджатой в прорез, сделанный в ножке (рис. 176, II).

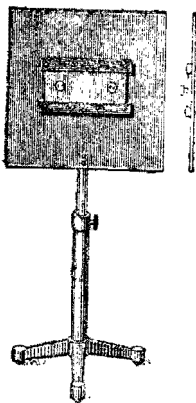


Рис. 176, I. Щель раздвижная.

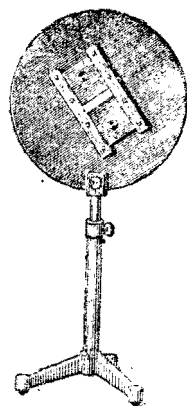


Рис. 176, II. Щель поворачивающаяся.

3) В раздвижной щели более высокого качества (рис. 493, I) подвижная часть связана с микрометрическим винтом, а потому ширина щели очень плавно и точно может быть отрегулирована.

4) Еще более удобной является такая щель, в которой подвижны обе половины, и следовательно, центр щели не смещается (рис. 493, II).

5) Щель из картона. Изготавливают из картона две пластинки (10 см × 10 см) и прорезывают в их серединах круглое отверстие ($d = 2,5 - 3$ см). Между ними у внешних краев вклеивают две картонные полоски (10 см × 3 см). Вырезают еще две пластинки

(4 см × 5 см) и вставляют их в полученные отверстия (рис. 177).

6) В куске фанеры (10 см × 10 см) просверливают круглое отверстие ($d = 12$ мм); половину этого отверстия закрывают лезвием безопасной бритвы. Второе лезвие прикрепляют к хорошо выструганной планке ($l = 8$ см; $b = 1$ см; $h = 0,5$ см). Изготавливают хомутики такого размера, чтобы планка двигалась в них с небольшим трением, и привинчивают хомутики к фанере (рис. 178).

Чем меньше окажется наклон планки (когда лезвия обеих бритв параллельны), тем более плавно можно будет изменять ширину щели.

7) Наклеивают расплавленным воском на стекло (9 см × 12 см) фольгу и в ней при помощи ножа или лез-

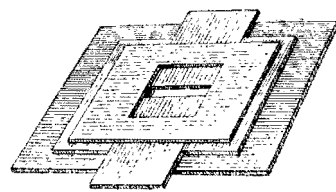


Рис. 177. Щель из картона.

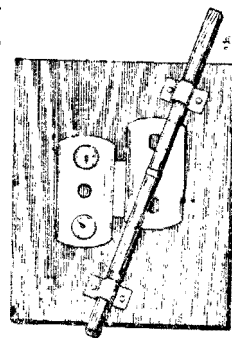


Рис. 178. Щель из лезвий для безопасной бритвы.

бритвы прорезают щель требуемой ширины. При этом надо внимательно следить, чтобы края были параллельны друг другу. Если желают, чтобы щель сохранилась на продолжительное время, фольгу, подобно фотографическому слою, заклеивают вторым стеклом.

8) Такую же щель можно изготовить в плотно зачерненной фотопластинке.

§ 20. Универсальные приборы.

1. Общие свойства универсальных приборов. Для демонстрации явлений отражения и преломления в различных случаях применяются приборы двух типов: 1) индивидуальные приборы, предназначенные лишь для одного частного случая, и 2) универсальные, охватывающие, если не все случаи, то целый ряд их.

Источник света обычно не входит в состав универсального прибора и может быть взят, вообще говоря, любой. Однако всего лучше в качестве источника света применять проекционный фонарь с сильным источником света, например с вольтовой дугой или с мощной электролампой. К источнику света надо предъявить одно требование: он должен давать пучок параллельных лучей или в крайнем случае пучок чуть расходящихся лучей (§ 17, 5). В последнем случае необходимо фонарь ставить на некотором расстоянии (около 1 м) от прибора.

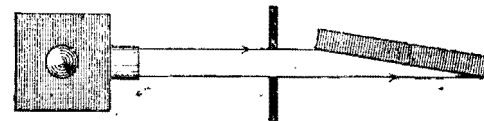


Рис. 179. Положение на экране светящегося следа от пучка лучей.

Во всех (за очень малым исключением) универсальных приборах применен один и тот же прием для получения видимых лучей, а именно: пучок света, идущий от фонаря, пропускается через одну или несколько горизонтальных щелей ($b = 2 - 4$ мм); полученные полоски света направляются на белый экран и в пересечении с ним дают световые линии (следы), которые в данных опытах играют роль лучей; чтобы произошло упомянутое пересечение, экран должен стоять вертикально, но не параллельно лучам, а чуть наискось к ним (рис. 179). На пути этих лучей на экране укрепляются различные тела, отражающие или преломляющие лучи света.

Если луч света проходит через жидкость (обычно через воду), то, чтобы сделать луч видимым, жидкость подкрашивают краской, флюоресцирующей под действием света. Всего удобнее в качестве такой краски применять флюоресцин: он хорошо растворяется в воде, не пачкает сосудов и окрашивает воду в зеленый цвет, а при освещении светится желтоватым цветом; по этой причине луч света, проходящий внутри воды, отчетливо виден в виде желтоватой полоски.

Второй способ делать лучи света видимыми непосредственно в воздухе помимо экрана заключается в примешивании дыма к воздуху (об этом см. § 18, 1).

Наконец иногда, например при измерениях, применяют еще один способ, причем отмечают лишь отдельные точки луча, например крайние — его начало и конец; сам же луч на всем своем протяжении остается невидимым. При таком способе начало луча отмечают диафрагмой, а конец — светлым пятнышком, которое этот луч дает на экране в виде матового стекла или на кусочке белой бумаги. Для точного фиксирования направления луча на экране проводится черта, куда должен попадать луч. Этот прием полезно помнить, так как часто приходится, пользуясь кусочком белой бумаги, следить за ходом луча и проверять правильность установки приборов; светлое пятнышко на

бумаге указывает на то, как идет луч, и позволяет проследить за его ходом на всем его протяжении.

Сообразно с первым (наиболее распространенным) способом наблюдения лучей света необходимой частью универсального прибора является белый экран [металлический — шайба Гартля (рис. 180); стеклянный — прибор Кольбе (рис. 187); деревянный или картонный — прибор Розенберга (рис. 197)]. Форма экрана бывает круглая (рис. 180 и 187) и прямоугольная (рис. 198). Экран круглой формы обычно предназначен также для измерения углов, поэтому круглый экран по

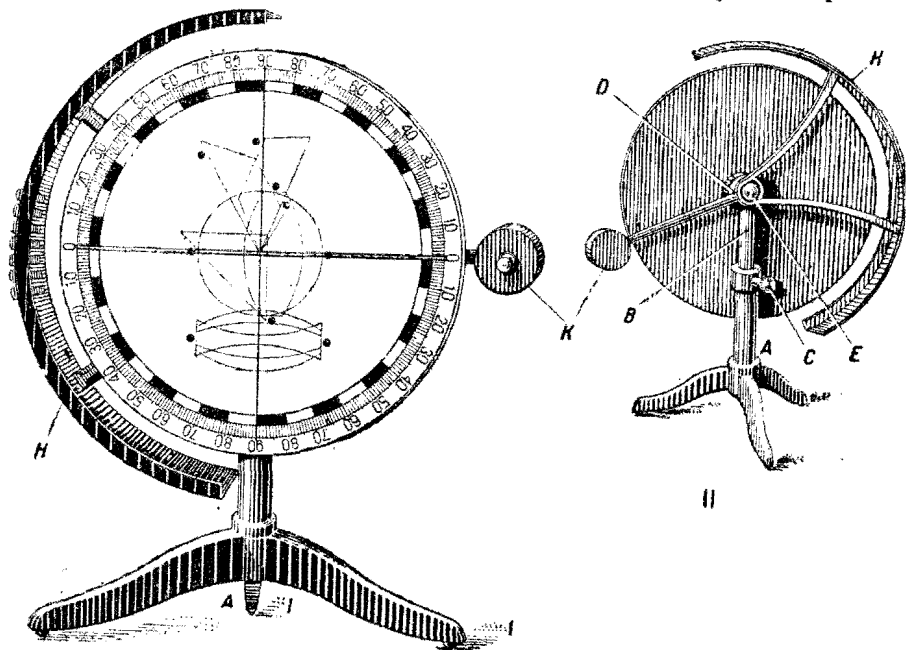


Рис. 180. Шайба Гартля: I — вид спереди; II — вид сзади.

краям снабжается угловыми делениями [по всей окружности (рис. 180)]. Ясно, что при измерении углов луч света обязательно должен проходить через центр экрана.

На экране укрепляются прилагаемые к прибору тела. Обычно эти тела прижимаются к экрану или винтами со спиральными пружинами (рис. 186, шайба Гартля), или при помощи пружинящих лапок (рис. 198, прибор Розенберга), или при помощи скобы с пружинами (рис. 191, прибор Кольбе). Состав набора у всех универсальных приборов примерно один и тот же (рис. 182 и 189).

С этим набором можно показать опыты двоякого рода.

Во-первых, опыты качественного характера, именно: отражение от плоского зеркала; ход лучей в сферических зеркалах; преломление при переходе в более плотную среду и обратно; полное внутреннее отражение; ход лучей в плоско-параллельной пластинке, в призме, в сферических линзах, в шарообразной капле.

Во-вторых, — опыты количественного характера, именно: демонстрация законов отражения и преломления, сопровождаемая измерением углов.

При очень сильном источнике света опыты можно производить при слабом освещении затемненной комнаты, например при освещении одной-тремя электролампами, удаленными от демонстрационного стола; в таком случае угловые деления бывают, хоть и слабо, видны, и потому отсчет углов можно производить без затруднения. При слабом источнике света приходится в комнате гасить все освещение; тогда деления на круге не видны, и при отсчетах для освещения делений надо при помощи белого картона направить на экран свет от фонаря, проходящий помимо ширмы. Очень часто удается картон заменить ладонью руки, при этом предполагается, что экспериментатор стоит перед демонстрационным столом.

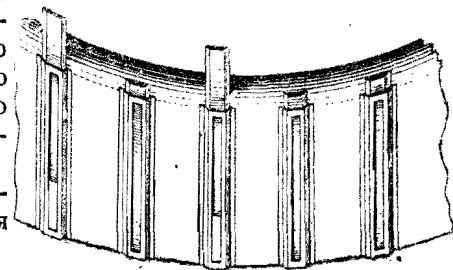


Рис. 181. Щели с задвижками у шайбы Гартля.

Набором от универсального прибора можно воспользоваться для лабораторных работ (§ 36,1).

Дальше описаны главнейшие универсальные приборы.

2. Шайба Гартля. Ввиду распространенности шайбы Гартля в физических кабинетах и наличия ее в продаже — этот прибор преимущественно перед всеми остальными описывается наиболее подробно.

Шайба Гартля (рис. 180) состоит из прочной треногой подставки *A*; внутренний стержень *B* подставки делается выдвижным и при помощи зажимного винта *C* может быть закреплен на различной высоте. Эта высота подбирается так, чтобы средний горизонтальный луч, даваемый источником света, проходил через центр шайбы. На вершине выдвижного стержня имеется горизонтальная муфта *D*, в которую входит ось, приделанная к центру шайбы; в противоположный конец оси ввинчен винт *E* для предохранения оси от выскакивания из муфты (этот винт часто сам вывертывается во время опытов). Вокруг этой оси шайбы свободно вращается поперечный стержень; он раздвоен на одном конце и поддерживает полукруглую ширму *H*, на другом — имеет противовес в виде ручки *K*. В середине ширмы проделано несколько (7—9) горизонтальных щелей (рис. 181); каждая щель закрывается задвижкой; в зависимости от числа отдельных лучей, нужных для опыта, вынимают соответствующее число задвижек.

Сама шайба представляет собой металлический круг ($d = 30$ см), окрашенный белой краской. На круге проведены два взаимно перпендикулярных диаметра; один из них в виде двойной линии является основным и имеет на концах нулевые деления (в дальнейшем его будем называть „нулевым“); все углы отсчитываются от этого диаметра, поэтому зеркала и стекла на шайбе надо устанавливать так, чтобы главная оптическая ось (для плоского зеркала — нормаль) совпадала с нулевым диаметром.

К шайбе Гартля обычно прилагается следующий набор тел (рис. 182): 1) плоское зеркало; 2) цилиндрическое вогнутое зеркало; 3) цилиндрическое выпуклое зеркало (зеркала 2 и 3 часто бывают соединены вместе); 4) стекло в форме полукруга; 5) стекло в форме трапеции, дающее своими параллельными основаниями плоско-параллельную пластинку, а боковыми сторонами с большим основанием — две призмы с преломляющими углами в 45° и в 60° ; 6) стекло, ограниченное выпуклыми цилиндрическими поверхностями — двояковыпуклая линза (наибольшая ширина 3 см); 7) стекло, ограниченное вогнутыми цилиндрическими поверхностями — двояковогнутая линза; 8) такое же стекло, как 6, но большей ширины (4—4,5 см) — толстая линза; 9) стекло в форме прямоугольного равнобедренного треугольника — призма с полным внутренним отражением; 10) стекло в форме круга (модель капли).

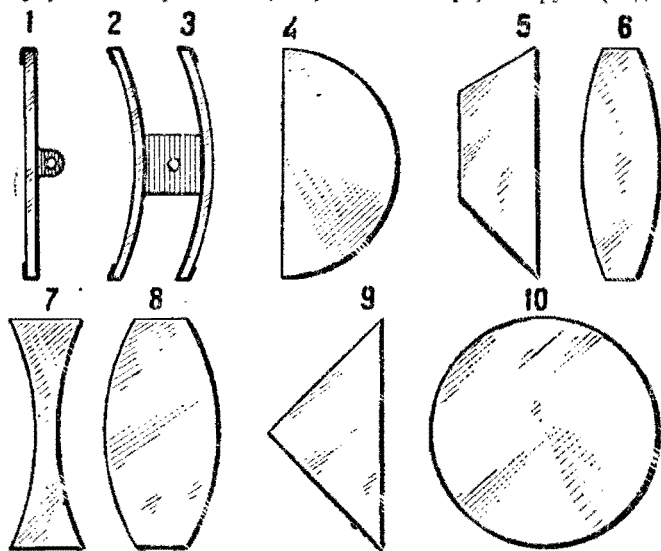


Рис. 182. Набор принадлежностей к шайбе Гартля.

Таков обычный состав набора (длина зеркал и стекол 8,5—9 см, толщина стекол 1,5 см). Набор стекол 4—10 продается отдельно от шайбы; качество зеркал и стекол (в отношении ровности и прозрачности), продающихся в настоящее время, оставляет желать лучшего.

Иногда к перечисленному набору добавляются стеклянные изогнутые палочки для полного внутреннего отражения и приспособления для опытов по поляризации света; эти дополнения упомянуты дальше (§ 31,5).

Указанный набор при шайбе Гартля обладает одним существенным недостатком: в набор не входит сосуд для наблюдения преломления в жидкостях; такой сосуд прилагается к прибору Кольбе (рис. 190).

Все отдельные опыты с шайбой Гартля будут описаны в соответственных местах (рис. 231, 234, 260, 265, 266, 267, 268, 300, 303, 314, 343, 344, 345 и 351). Здесь же указывается общая установка, предшествующая всякому опыту.

Источник света должен давать горизонтальный пучок параллельных или слабо расходящихся лучей (§ 17, 1 и 5); пучок должен захватывать все щели ширмы, т. е. иметь поперечник около 8—9 см. В качестве источника чаще всего приходится применять проекционный

фонарь с вольтовой дугой. Фонарь ставится на некотором расстоянии от шайбы, примерно около 1 м (рис. 183¹⁾; такое расстояние выбирается в предположении, что пучок света все-таки является расходящимся. Средний луч пучка должен идти на одном горизонтальном уровне с центром шайбы, поэтому соответственным образом подбирается высота фонаря и шайбы. Высоту шайбы можно менять в некоторых пределах с помощью выдвижного стержня *B* (рис. 180). Если этого оказывается недостаточно, приходится прибегать к подкладкам (в виде брусков, ящичков или скамеек). Установив шайбу на должной высоте, поворачивают ширму с открытой одной средней щелью (у ней вынута задвижка) так, чтобы луч света прошел через центр шайбы (рис. 184, *I*). Наконец поворачивают шайбу вокруг ее оси в такое положение, чтобы луч света шел вдоль нулевого диаметра (рис. 184, *II*). После этого, не трогая ширмы и шайбы, укрепляют на ней то или иное тело из

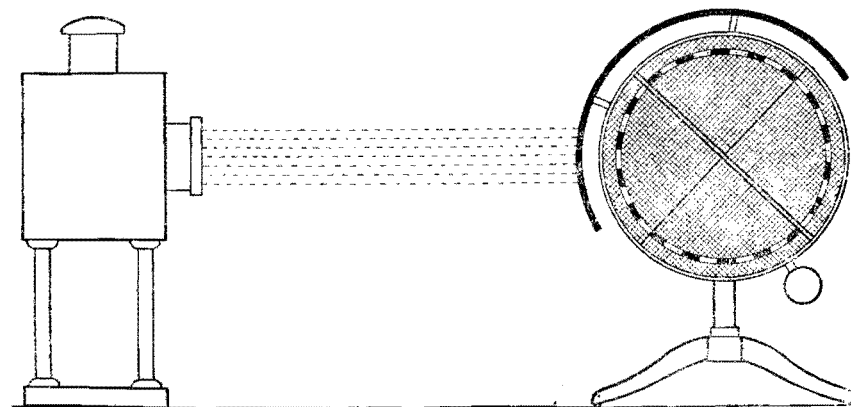


Рис. 183. Основная установка шайбы Гартля и проекционного фонаря.

набора (как надо укреплять, будет сказано при описании отдельных опытов) и приступают к самому опыту. Во время опыта описанная установка часто нарушается по трем причинам: 1) сдвиг источника света (сгорание углей); 2) сдвиг ширмы; 3) поворот шайбы; два последних смещения часто вызываются требованием хода опыта. После сдвигов необходимо возвращаться к основной установке и во все время опыта за ней следить.

Изменение направления луча относительно тела (зеркала или стекла) производится тремя способами:

1) сдвигом одной ширмы, т. е. сдвигом щели вверх или вниз; этим достигается, что луч пойдет выше или ниже центра шайбы (рис. 185, *II*);

2) поворотом одной шайбы (щель остается на прежнем месте); тогда луч будет попрежнему проходить через центр шайбы, но будет идти под некоторым углом к нулевому диаметру (рис. 185, *III*);

¹⁾ Ввиду разнообразия встречающихся конструкций проекционного фонаря и ввиду необходимости поместить его на очень большом числе рисунков, в книге принято условное схематическое изображение проекционного фонаря.

величину этого угла легко определить по угловым делениям, нанесенным на круге.

3) одновременным сдвигом и щели и шайбы; таким путем можно дать лучу любое направление относительно шайбы и укрепленного на ней тела; например можно направить луч параллельно нулевому диа-

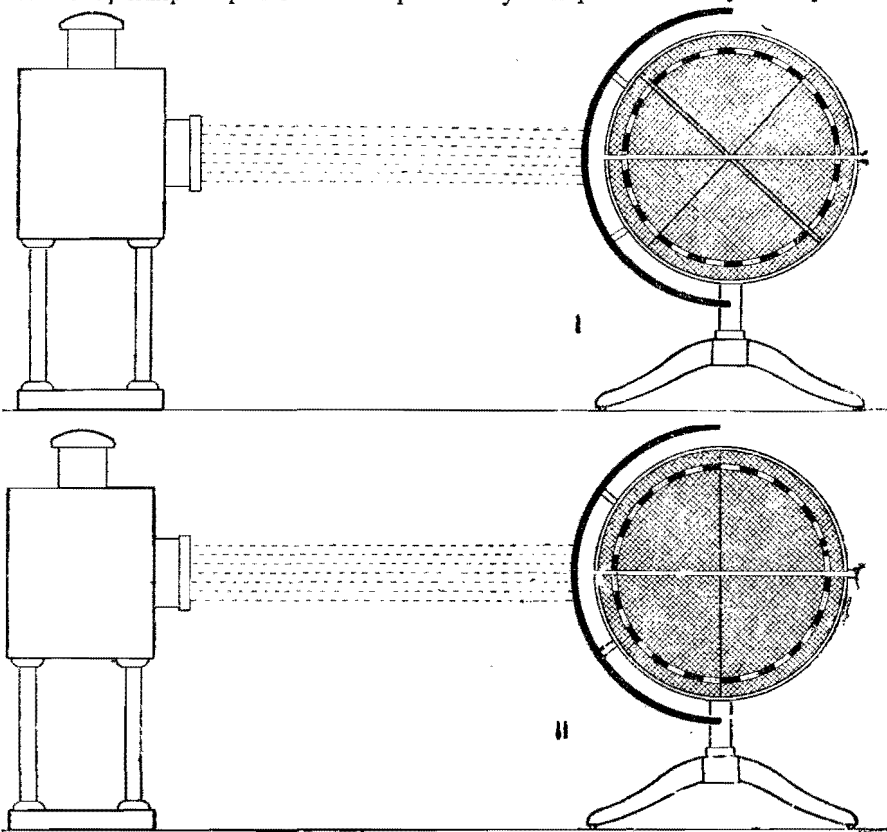


Рис. 184. Основная установка шайбы Гартля: I—световой луч проходит через центр шайбы; II—световой луч направлен по нулевому диаметру.

метру на любом расстоянии от него (рис. 185, IV) или заставить луч пройти через любую нужную точку *A* шайбы (рис. 185, V).

Для установки тел из набора на шайбе обычно нарисованы контуры тел (рис. 180) и проделаны отверстия для ввинчивания зажимных винтов (рис. 186). Однако не всегда положение контуров или отверстий для винта выбрано удачно; весьма часто приходится при установках совершенно не пользоваться нанесенными контурами; кроме того, очень часто нет отверстий для винта на тех местах, где следует укрепить тело, или сделанные отверстия не соответствуют размерам тела (например стекло не умещается между двумя винтами, или плохо держится при данном их положении), тогда приходится просверливать новые отверстия и нарезать в них нарезку (т. I, § 133—134).

3. Прибор Кольбе. Раздвижная стойка *A* несет наверху дугу *BB*, охватывающую немного более полуокружности (рис. 187). На концах и посередине дуги укреплены три ролика; между этими роликами зажимается стеклянный матовый круг *C* ($d=24$ см), который может свободно вращаться вокруг своего центра. На стеклянный круг кон-

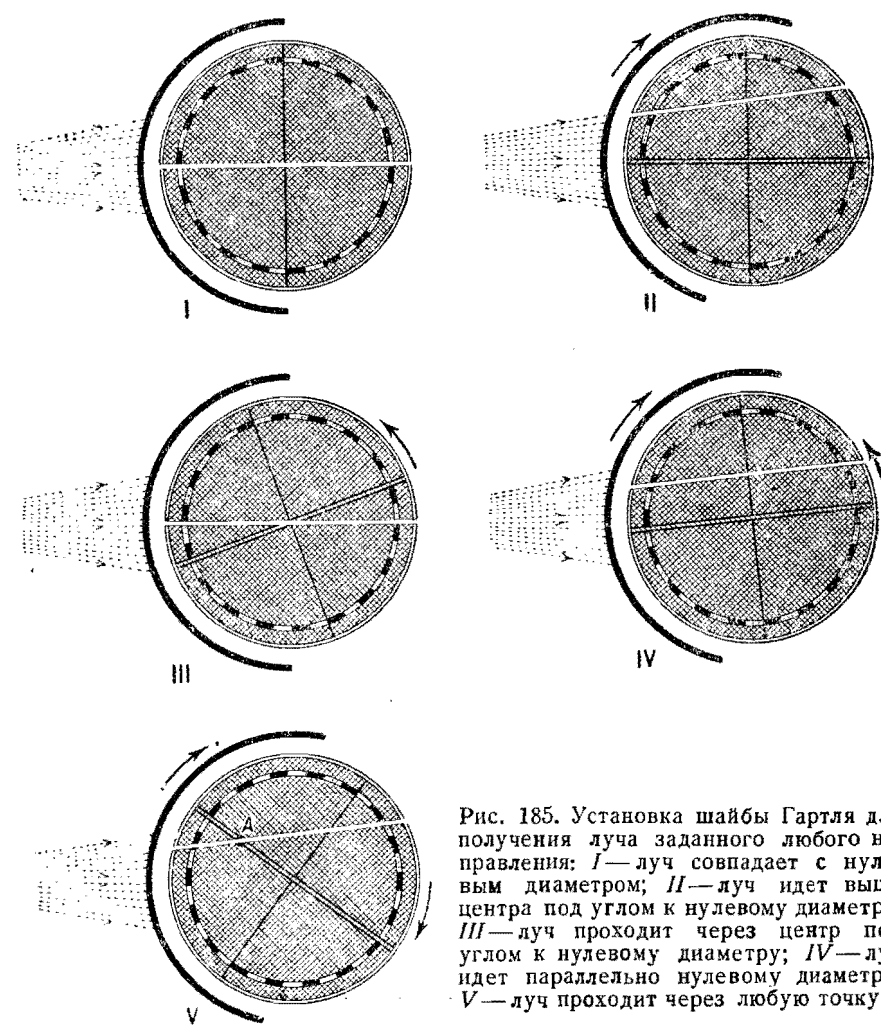


Рис. 185. Установка шайбы Гартля для получения луча заданного любого направления: I—луч совпадает с нулевым диаметром; II—луч идет выше центра под углом к нулевому диаметру; III—луч проходит через центр под углом к нулевому диаметру; IV—луч идет параллельно нулевому диаметру; V—луч проходит через любую точку *A*

центрично наклеен круг ($d=20$ см) из тонкой (полупрозрачной) миллиметровой бумаги. На этом бумажном круге выделены два взаимно перпендикулярных диаметра *KL* и *MN* (рис. 188). Прямые, параллельные диаметру *KL* и отстоящие друг от друга на 1 см, пересекают окружность бумажного круга в точках, отмеченных (начиная от точек *K* и *L* в обе стороны) цифрами 1, 2, 3, ..., 8 и 9; из центра к этим отмеченным точкам проведены радиусы. Радиусы образуют с диамет-

ром KL углы, линии синуса которых равны числу сантиметров, поставленному у конца радиуса. Так радиус с цифрой 5 дает угол, линия синуса которого равна 5 см, а так как длина радиуса 10 см, то радиус с цифрой 5 на конце образует с диаметром угол с синусом 0,5 (т. е. угол в 30°). Таким образом, деления на круге позволяют намечать углы с данной величиной синуса и, наоборот, для данного угла находить по делениям прямо величину синуса. Такой прием отсчета очень удобен при изучении законов преломления, куда входят синусы углов, однако в иных случаях, хотя бы для определения предельного угла, необходимо измерять величину самих углов; поэтому весьма желательно кроме упомянутых делений иметь на круге еще и градусные деления (рис. 188); для лучшей видимости этих делений издали полезно каждые 10° или отмечать цветными ромбами, или закрасить промежутки через один, как шайбе Гартля (рис. 180).

К прибору прилагается набор тел (рис. 189), немного лишь отличающийся от набора шайбы Гартля. Первые 7 номеров в этих двух наборах совпадают

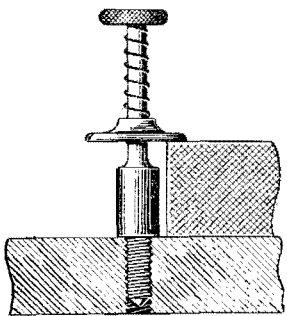


Рис. 186. Зажимной винт к шайбе Гартля.

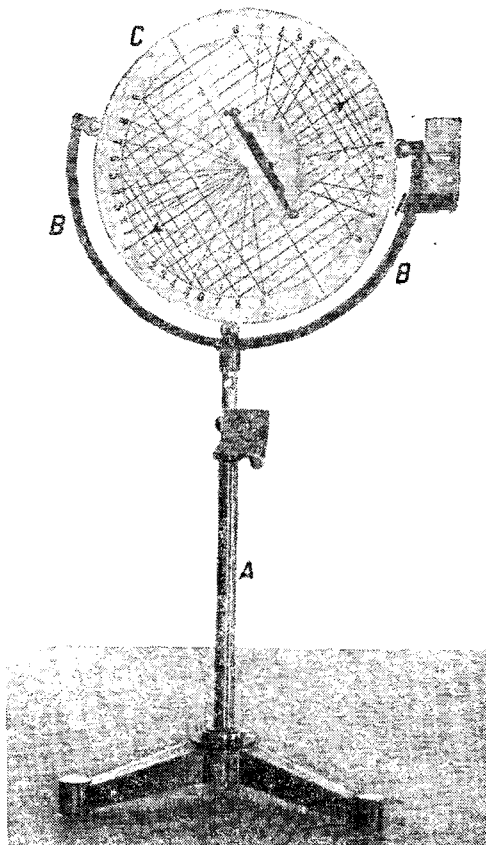


Рис. 187. Универсальный прибор Кольбе.

(только зеркала укреплены на деревянных брусочках и трапециевидное стекло имеет меньший размер); далее в набор входят: 8) стекло в форме равностороннего треугольника (сторона 13 см); 9) стеклянный кубик (ребро 2,5 см); 10) стеклянный полый сосуд полукруглой формы (рис. 190).

Наличие в наборе полого сосуда составляет важное преимущество набора Кольбе, так как позволяет исследовать преломление в жидкостях. Для укрепления перечисленных тел на стеклянном круге имеется металлическая скоба (рис. 191), которая оттягивается в сторону круга

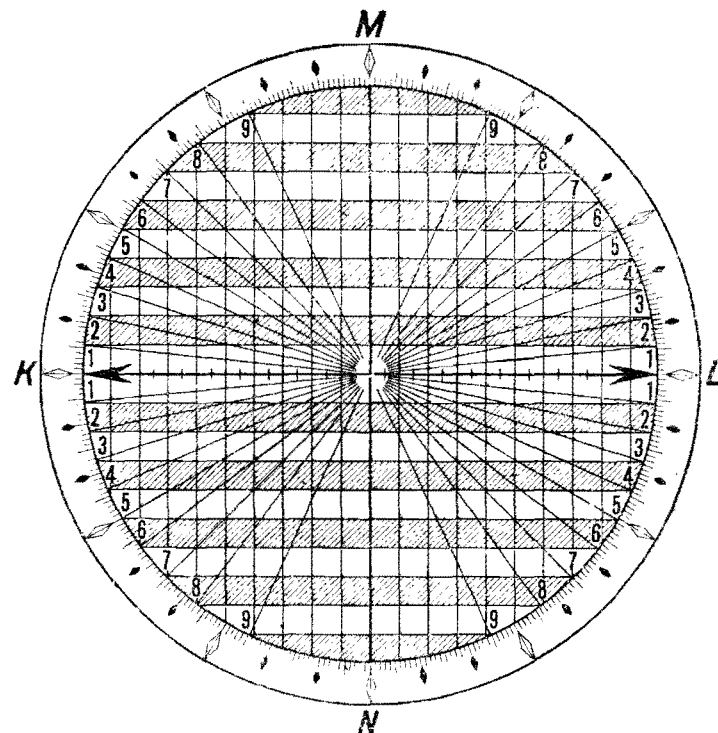


Рис. 188. Деления на круге прибора Кольбе.

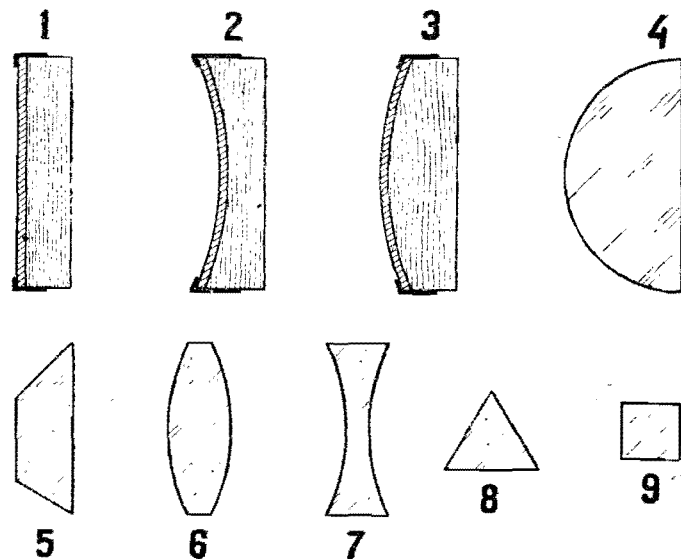


Рис. 189. Набор принадлежностей к прибору Кольбе.

при помощи спиральных пружин *FF*, помещенных сзади круга; натяжение регулируется гайками *HH*.

К прибору прилагаются три ширмочки со щелями (рис. 192); на одной ширмочке (*I*) имеется одна раздвижная щель, на другой (*II*) — девять

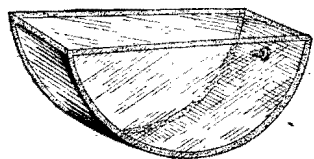


Рис. 190. Полукруглый сосуд к прибору Кольбе.

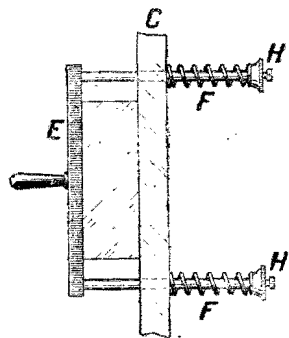


Рис. 191. Зажим на приборе Кольбе.

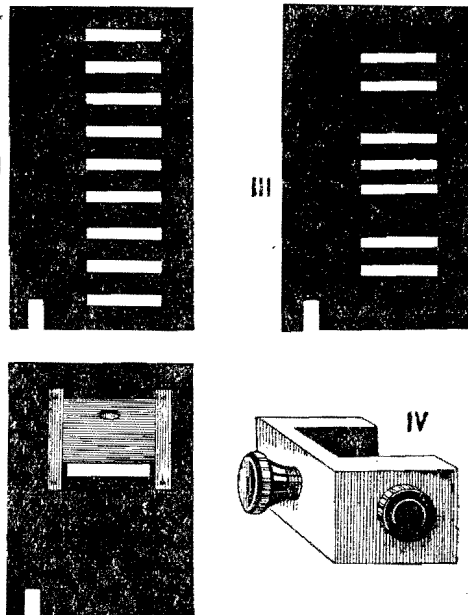


Рис. 192. Щели и трубочки для их укрепления на приборе Кольбе.

щелей ($b = 2$ мм) и на третьей (*III*) — семь щелей с двумя размерами промежутков. Ширмочки при помощи маленьких трубочек (рис. 192, *IV*) укрепляются в должном месте на дуге *BB* (рис. 187). Полезно иметь еще большую ширму (рис. 193) с раздвижной щелью посередине; эта ширма ставится между источником света и прибором, и щель раздвигается настолько, чтобы прошедший через нее пучок лучей целиком закрывался второй ширмочкой, укрепленной на дуге прибора.

Если понадобится луч света направить вертикально (снизу вверх), то в отверстиях, имеющих на стойке, устанавливаются небольшое зеркальце *P*

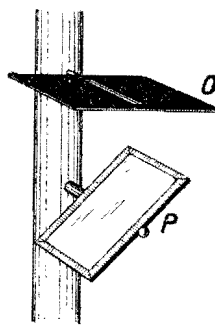


Рис. 194. Зеркало и щель к прибору Кольбе.

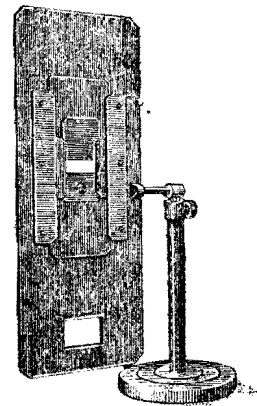


Рис. 193. Ширма с раздвижной щелью для прибора Кольбе.

(рис. 194), свободно вращающееся вокруг горизонтальной оси, и над зеркальцем — ширмочку *O* со щелью; зеркальцу *P* дают такой наклон,

чтобы отраженный луч света, пройдя щель *O*, дальше прошел через центр круга.

На приборе Кольбе должно направление дается лучу света теми же приемами, как и на шайбе Гартля (§ 20, 2). Нулевой диаметр на приборе Кольбе обычно отмечен стрелками на концах.

4. Прибор Шиманского. В физических кабинетах встречается очень близкий по идее к прибору Кольбе набор стеклянных матовых кругов, исторически ему предшествовавший (рис. 195). В середине каждого круга приклеено одно из тел, составляющих в целом почти такой же набор, какой прилагается к прибору Кольбе. В качестве различия можно упомянуть полный стеклянный сосуд в форме равносторонней треугольной призмы. Каждый круг для опыта ставится на особую подставку (рис. 196). Отсутствие ка-

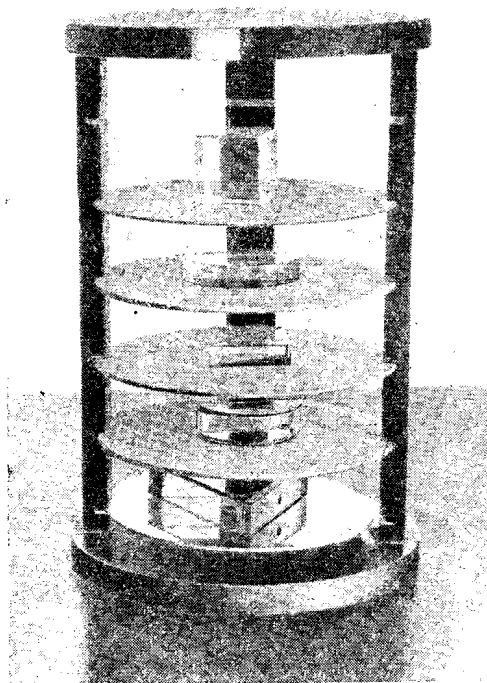


Рис. 195. Набор принадлежностей к прибору Шиманского.

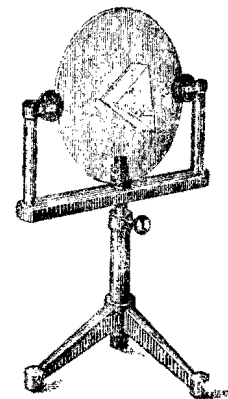


Рис. 196. Прибор Шиманского.

ких-либо делений на кругах делает этот набор непригодным для измерений. Вообще этот набор по удобству наблюдений значительно уступает как прибору Кольбе, так и шайбе Гартля. Перед шайбой Гартля набор имеет лишь одно преимущество — наличие полых сосудов — полукруглого и треугольного.

5. Прибор по Розенбергу. Старинный универсальный прибор Розенберга (рис. 197), рассчитанный на освещение керосиновыми лампами, обладал одной характерной особенностью, составляющей вместе с тем несомненное достоинство прибора, а именно: прибор имел очень большой, широкий, и, что особенно важно, длинный экран

(белый картон на металлической раме, длина около 1 м). Благодаря большой длине экрана на нем можно установить несколько стекол одно за другим и таким путем показать ход лучей в сложных приборах, состоящих из нескольких линз. Сообразно с таким назначением прибора к нему прилагается несколько (до 6) цилиндрических линз с различными фокусными расстояниями.

В своем первоначальном виде прибор Розенберга теперь не встречается, но идея длинного экрана и установка на нем сложных оптических приборов имеют большую методическую ценность и могут быть осуществлены при наличии соответствующего набора стекол. Примерная установка такого типа представлена на рисунке 198.

6. Оптическая скамья. К универсальным приборам надо отнести оптическую скамью. Под таким названием известен прибор, состоящий из рельс или направляющих и ряда подвижных салазок, свободно передвигающихся вдоль рельс (рис. 199 и 200). Рельсы на концах укреплены в стойках; такое устройство придает прибору подобие скамьи. Оптическая скамья составляет обычную принадлежность проекционного фонаря (т. 1, § 86).

Основными требованиями, каким должна удовлетворять оптическая скамья, являются: 1) большая длина скамьи (более 1 м); 2) большое число салазок; 3) устойчивость салазок. Чтобы придать салазкам устойчивость, делают или два рельса (обычно круглых), или придают рельсу треугольное сечение, или салазки снабжаются зажимными винтами (рис. 201).

Рис. 197. Прибор по Розенбергу.

Оптическая скамья предназначена для демонстрации многочисленной группы явлений по геометрической и физической оптике и по фотометрии. Для возможности охватить большое число как простых, так и сложных установок салазки должны иметь раздвижные стойки и потому съемные стержни (рис. 200). Так как источником света в большинстве случаев служит проекционный фонарь, то скамья снабжается высокими ножками в расчете на соответствующую высоту фонаря. Во всех тех многочисленных демонстрациях и лабораторных работах, изложенных

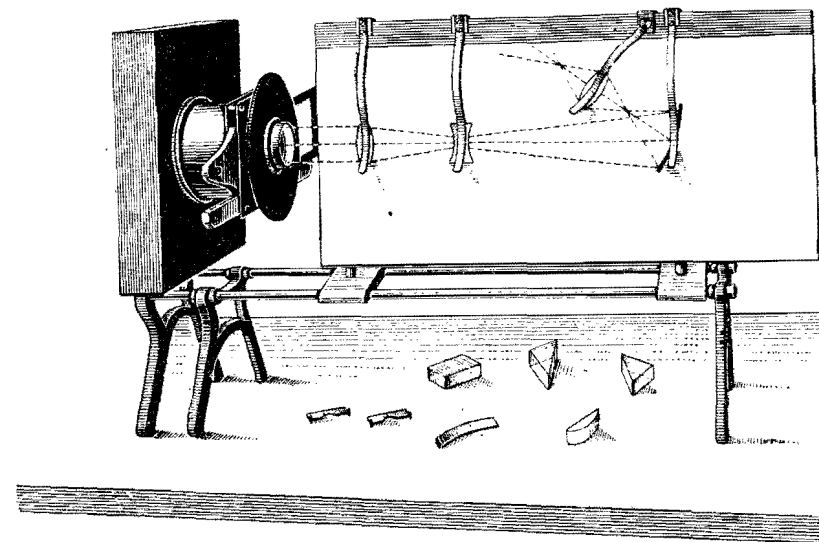


Рис. 198. Установка по Розенбергу.

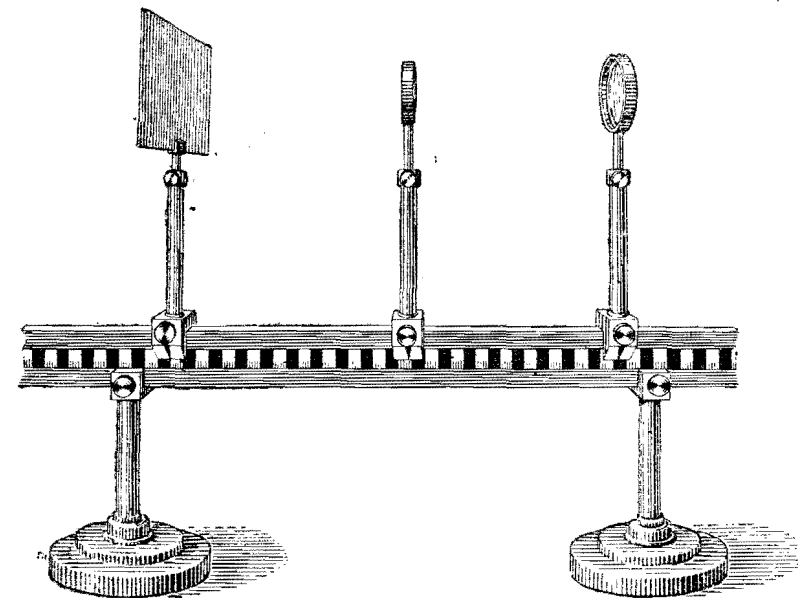


Рис. 199. Большая оптическая скамья.

далее, где требуется установка нескольких оптических приборов (линзы, зеркала, экраны, диафрагмы, щели, решетки и т. д.) вдоль одной и той же прямой линии, там весьма удобно применять оптическую скамью. Только надо заметить, что большинство демонстрацион-

ных оптических скамеек не имеет шкалы с делениями, нужными для измерительных и лабораторных работ. Препятствием к широкому распространению обычно является высокая цена оптической скамьи, вследствие чего и приходится обходиться без нее. Прекрасную универсальную оптическую скамью выпустил в продажу московский Станкоинструментальный институт (Станкин); она снабжена большим числом

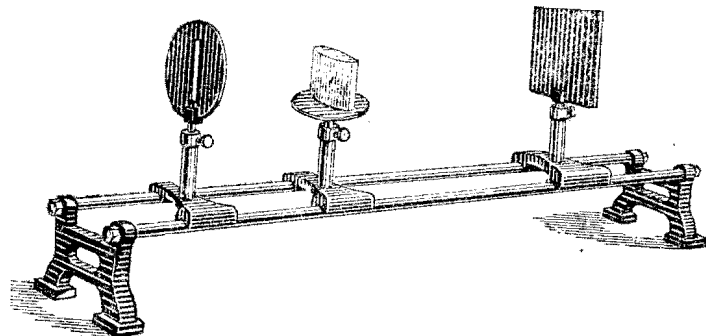


Рис. 200. Демонстрационная оптическая скамья (производства Главучтехпрома).

принадлежностей для опытов с линзами, со сложными оптическими приборами для опытов по физической оптике (кольца Ньютона, зеркала Френеля, дифракционные решетки, поляризация); скамья копирует скамью фирмы Spindler und Hoyer (т. I, рис. 240). По своей цене (более 5000 руб.) скамья доступна очень немногим учебным заведениям. Дешевую оптическую скамью можно составить из частей бунзеновских штативов — из муфт и держателей (рис. 202); в качестве рельса надо взять железный круглый стержень соответствующего диаметра; можно воспользоваться стержнем от штатива.

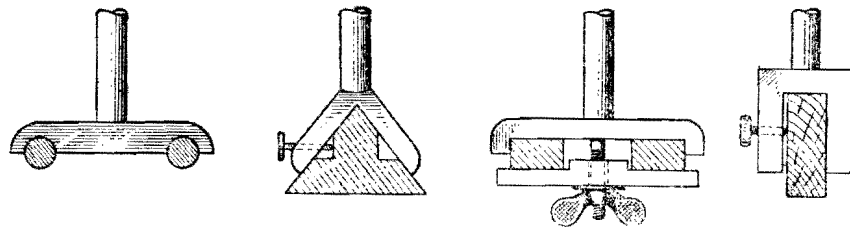


Рис. 201. Типы салазок и их закрепление на оптической скамье.

Оптическая скамья для лабораторных работ должна удовлетворять иным требованиям, чем скамья для демонстрационных опытов. Прежде всего для лабораторных работ нужно иметь несколько скамеек на каждый класс. Это условие ставит главное требование — оптическая скамья для лабораторных работ должна быть, насколько возможно, дешева. Затем при выборе типа оптической скамьи для лабораторных работ надо отказаться от скамьи на высоких ножках ввиду их неустойчивости. Правда, можно сделать массивные и широко расставленные метал-

лические (чугунные) ноги, но они крайне удорожают прибор без иных преимуществ. В силу сказанного устройство скамьи сводится к изготовлению длинной деревянной планки из хорошего толстого дерева

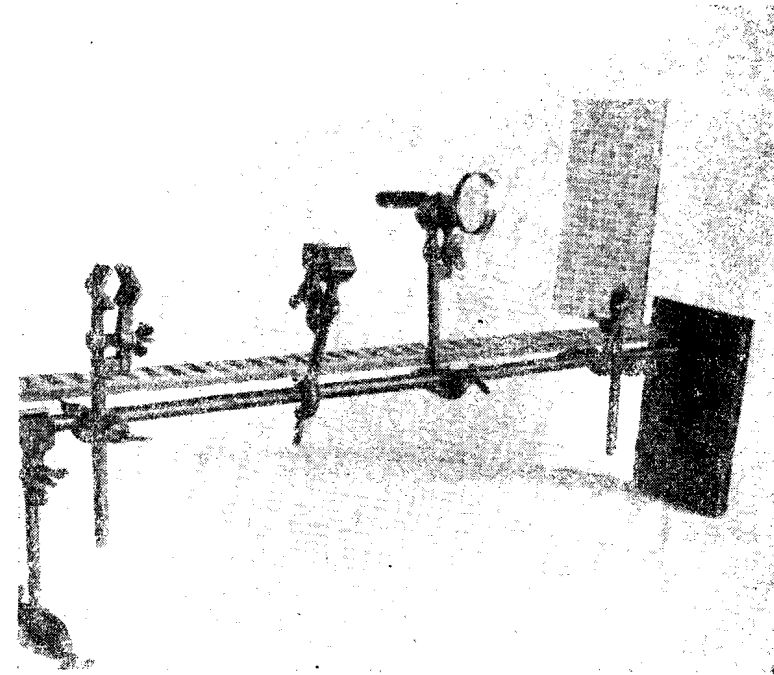


Рис. 202. Упрощенная оптическая скамья

($l = 100-130$ см; $h = 2-3$ см, ширина зависит от конструкции салазок). Вдоль планки должны иметься деления (сантиметровые с подразделением на миллиметры). Для получения делений можно наклеить полосу

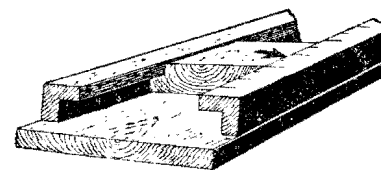


Рис. 203. Неудачная конструкция паза.

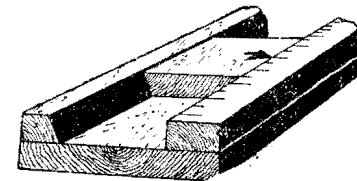


Рис. 204. Удобная конструкция салазок.

миллиметровой бумаги; очень удобно применять портновский метр (т. II, § 2, 5, рис. 6). Вдоль скамьи должны передвигаться салазки (их надо иметь не менее 5).

От салазок требуется, чтобы они были: 1) устойчивы, 2) не шатались, 3) легко перемещались и переставлялись и 4) позволяли

точно отсчитывать их положение по шкале. Третье требование заставляет отказаться от таких пазов (вроде изображенных на рисунке 203), при которых для замены одних салазок приходится выдвигать все другие салазки, находящиеся на пути по направлению к концу скамьи.

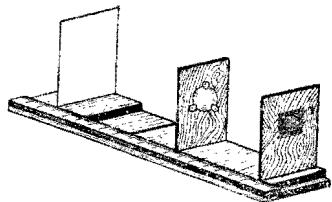


Рис. 205. Оптическая скамья для лабораторных работ.

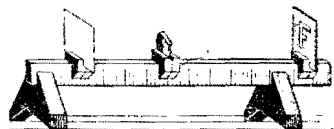


Рис. 206. Упрощенная оптическая скамья для лабораторных работ.

Первое требование обычно достигается заливкой свинца или заделкой металлического куска в нижнюю часть салазок. Второе требование сводится к применению широких оснований (до 10 см) салазок, а также к применению направляющих со скошенным краем (рис. 204). Удобный тип салазок представлен на рисунке 205.

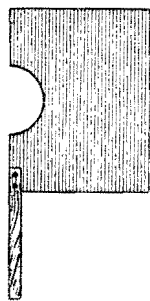


Рис. 207. Экран от оптической скамьи для вогнутого зеркала.

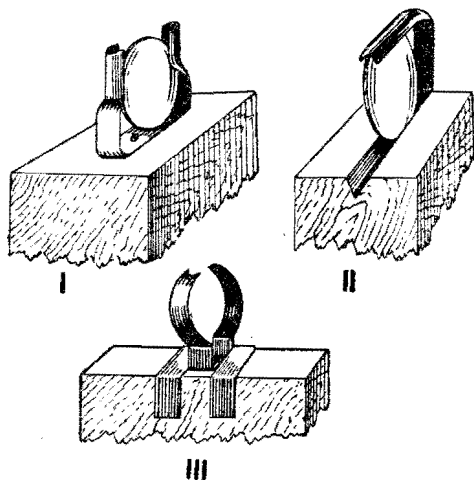


Рис. 208. Способы укрепления линз на салазках оптической скамьи.

При самой упрощенной конструкции берут метровый масштаб (т. II, § 2, 8) и к нему изготовляют две подставки и несколько салазок (рис. 206). У прибора Гримзея нет никаких направляющих (рис. 366 и 372). Для возможности точного отсчета расстояний необходимо, чтобы край салазок скользил непосредственно вдоль делений шкалы (рис. 204, 205, 206 и 372) и на салазках делалась метка (черта, стрелка, треугольник, ромб); заостренный конец метки должен лежать

в той плоскости, положение которой определяется на шкале — таковы плоскости предмета, экрана, зеркала, линзы; конец метки должен непосредственно касаться делений шкалы.

О предметах для получения изображений — см. § 27, 7. В качестве экрана берется лист картона белого цвета или оклеенного белой бумагой; можно применить матовое стекло или кусок кальки на рамке. Для вогнутого зеркала, так как на скамье предмет, зеркало и экран расположены на одной прямой, необходимо экран расположить по одну сторону от стержня, на котором экран укреплен в салазках (рис. 207), и, кроме того, в экране сделать полукруглый вырез, чтобы свет от предмета мог попасть на зеркало.

Для установки линз на салазках можно сделать пружинящие металлические зажимы (из латуни, жести) (рис. 208, I—III). Способы укрепления линз на деревянных стойках изображены на рисунке 209, I—III. Из этих способов наиболее сложный последний — в доске вырезано круглое отверстие с пазом для линзы; верхняя часть доски на пазах выдвигается кверху и освобождает линзу. Наилучшим надо считать такой способ, который позволяет вставлять линзы разных размеров (рис. 208, II и 209, I).

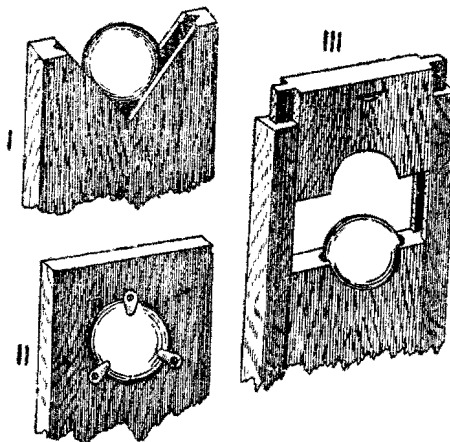


Рис. 209. Способы укрепления линз на салазках оптической скамьи.

ПРЯМОЛИНЕЙНОСТЬ ЛУЧЕЙ СВЕТА.

§ 21. Прямолинейные лучи света.

1. Понятие о „световом луче“. 1) Ящик со стеклянной стенкой и боковыми отверстиями. 2) Источник света. 3) Небольшой белый экран.

Показывая учащимся световой луч и вообще говоря о луче света, необходимо точно выяснить, что понимается под словом „луч“ и что мы видим, наблюдая луч света. Учащиеся всегда твердо убеждены, что они „видят“ своими собственными глазами лучи света; в невидимости лучей света чрезвычайно трудно убедить учащихся. Для этой цели весьма полезен опыт, показывающий, что луч света виден только при условии, если на пути луча находятся какие-либо тела, например частицы пыли, дыма, или если луч света пересекает поверхность какого-либо твердого тела, например белого экрана, листа бумаги и т. п. и дает на поверхности световую полоску.

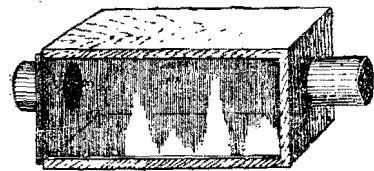


Рис. 210. Ящик для наблюдения лучей света.

Для опыта берется фанерный прямоугольный ящик (размеры примерно $60 \text{ см} \times 20 \text{ см} \times 20 \text{ см}$) с двумя отверстиями (диаметр 5 см) по бокам и со стеклянной передней стенкой (рис. 210). Отверстия закрыты стеклами и снабжены снаружи картонными трубками ($l = 10—15 \text{ см}$).

Переднее стекло делается выдвижным и вставляется в пазы. Внутренние стенки ящика покрыты черной матовой краской.

Если в темной комнате пропустить луч света от фонаря через боковые отверстия так, чтобы луч вошел в ящик через одно из них и вышел через другое, то ящик внутри будет оставаться совершенно темным и никакого света внутри не будет видно, но только при условии, что воздух внутри ящика совершенно лишен пыли; лучи света до входа в ящик и после выхода из него видны. Чтобы очистить от пыли воздух в ящике, надо за 3—4 дня до опыта смазать внутренние стенки ящика липкой, медленно высыхающей жидкостью; тогда пыль постепенно осядет на стенках; лучше всего годится глицерин.

Если в ящик на пути луча поставить небольшой экран из белой бумаги, то рассеянные лучи освещают стенки внутри ящика.

Если ящик наполнить дымом, то луч света внутри становится ясно видимым.

2. Прямолинейное распространение света. 1) Три-четыре экрана (на подставках) с круглыми отверстиями ($d = 1 \text{ см}$). 2) Источник света. 3) Просвечивающий экран. 4) Нитка или ровная прямая палочка (например стеклянная) длиной не менее 1 м .

Экраны с отверстиями делаются из фанеры или из картона (размер $40 \text{ см} \times 30 \text{ см}$) и прибиваются к деревянным брусочкам. У всех экранов отверстия должны лежать точно на одной и той же высоте, так что, если два экрана придвинуть вплотную друг к другу, то отверстия должны вполне совпадать друг с другом.

На демонстрационном столе помещают источник света (например электролампу) на такой же высоте над столом, на какой находятся отверстия в экранах. Перед источником по направлению к учащимся ставят экраны (с отверстиями) с промежутками в $20—30 \text{ см}$ (рис. 211). Перед последним экраном со стороны учащихся устанавливают просвечивающий экран (без отверстия).

Располагают экраны с отверстиями так, чтобы на просвечивающем экране появилось светлое пятно, даваемое источником света, и показывают учащимся, что свет проходит через все отверстия только тогда, когда все эти отверстия расположены на одной прямой линии, проходящей через источник света. Чтобы подтвердить эту прямолинейность, надо, отодвинув в сторону просвечивающий экран, но отнюдь не сдвигая с места остальные экраны, продернуть нитку сквозь отверстия и туго ее натянуть так, чтобы она прошла через центры всех отверстий, начинаясь у источника света. Вместо нитки можно применить тонкую длинную палочку, но она должна быть совершенно ровной и строго прямолинейной. Палочку просовывают сквозь все отверстия, и она своим концом упирается в источник света.

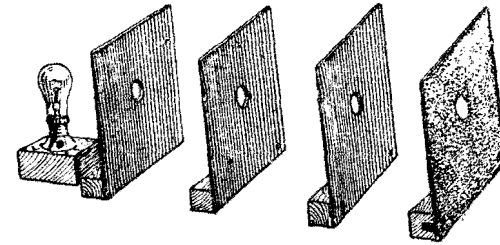


Рис. 211. Установка для демонстрации прямолинейного распространения света.

Если вместо просвечивающего экрана взять непрозрачный, то надо луч света направить не поперек стола, а почти вдоль с таким отклонением от продольной оси стола, чтобы учащимся было видно светлое пятно на заднем непрозрачном экране. В этом случае источник света приходится поместить на переднем плане — перед отверстиями, считая со стороны учащихся; с этой стороны источник света надо закрыть чем-нибудь непрозрачным, чтобы он не давал света непосредственно в глаза учащимся.

Если в промежутке между двумя отверстиями на пути светового луча поместить толстую стеклянную пластинку под острым углом к лучу, то луч отклонится в сторону и дальше через отверстия не пройдет.

3. Проверка прямолинейности на-глаз. Масштабная линейка (в 1 м) или кусок планки.

Полезно указать учащимся, что прямолинейность световых лучей, как не возбуждающая сомнения, весьма часто используется в жизненной практике. Так, например, прямолинейность доски или планки после строгания проверяется путем сравнения со световым лучом. Для этой цели смотрят вдоль кромки планки так, чтобы крайние точки планки

оказались на луче зрения; тогда всякое отклонение других точек планки от этого луча служит признаком нарушения прямолинейности планки.

4. Проведение горизонталей. Нивелир из сообщающихся сосудов (т. II § 13, 6).

Прямолинейностью светового луча пользуются при проведении горизонтальных линий. Луч зрения направляют вдоль уровня жидкости, налитой в сообщающиеся сосуды (т. II, рис. 131); тогда видимая глазом точка (B) будет лежать на одном горизонтальном уровне с глазом (A).

5. Провешивание прямых линий. Три-четыре вехи.

Не мешает напомнить учащимся прием проведения (провешивания) прямых линий на земной поверхности при межевании. Двух учащихся ставят у противоположных стен классной комнаты и заставляют держать вертикально по вехе. Вехами служат круглые палки (длина около 2 м), обычно раскрашенные попеременно в две краски. Третий учащийся смотрит из-за одной вехи на другую и указывает, где надо поставить третью, четвертую и т. д. веху, чтобы все они расположились вдоль одной и той же прямой линии.

6. Фиксирование лучей зрения булавами. 1) Несколько булавок. 2) Толстый картон или кусок линолеума.

Способ фиксирования луча зрения при помощи двух булавок учащимся придется применять при лабораторных работах на отражение и преломление света. Чтобы фиксировать луч зрения, смотрят одним глазом вдоль того направления, по которому должен пройти луч зрения, и на пути луча зрения втыкают вертикально две булавки (возможно дальше друг от друга) так, чтобы одна булавка в точности закрывала собою вторую булавку.

Чтобы этот прием удавался без всяких затруднений, необходимо, чтобы было легко втыкать булавки в ту плоскость, на которой производится опыт. Надо, чтобы булавку можно было воткнуть и притом достаточно прочно голыми пальцами, не прибегая к вколачиванию при помощи постороннего предмета. К этому приходится прибегать в крайнем случае, за неимением подходящей плоскости. По этой причине нельзя в качестве плоскости применять твердое дерево или плотный картон. Очень удобными оказываются небольшие чертежные доски, которые изготавливаются из мягкого дерева — из липы. Фанера обычно не годится. Можно взять линолеум — в него булавка вкалывается достаточно легко, но лишь на малую глубину и потому держится непрочно. Из картонов надо брать самый мягкий (ломкий), но в виде достаточно толстого слоя. Весьма подходят для данного опыта толстые и мягкие пластины (обычно прессованные из торфа и обклеенные бумагой), применяемые в энтомологических коллекциях для втыкания булавок с насекомыми.

7. Провешивание линий диоптрами. 1) Линейка с диоптрами. 2) Лист картона. 3) Карандаш.

На линейке с двумя выступами укреплены (перпендикулярно к линейке) две планки (из картона, жести) с диоптрами, т. е. с отвер-

ствиями, через которые можно смотреть (рис. 212). Середины отверстий должны лежать в одной вертикальной плоскости с внутренним краем линейки. Отверстия имеют форму щелей ($b = 1,5-2$ мм). Всего лучше на одном диоптре (ближайшем к глазу) сделать очень узкую щель ($b = 1$ мм), а на другом — более широкую (5—6 мм), но посередине натянуть волос (конский); для этого над и под щелью на ее средней линии просверливаются дырочки ($d = 0,5-1$ мм); в них продевается волос и заклинивается деревянными колышками (рис. 212, справа).

Линейку устанавливают по должному направлению, наблюдая через диоптры (причем волос должен казаться лежащим по середине узкой щели), и затем на картоне или бумаге проводят остро очиненным карандашом черту вдоль внутреннего края AB линейки. Проведенная прямая фиксирует направление луча зрения.

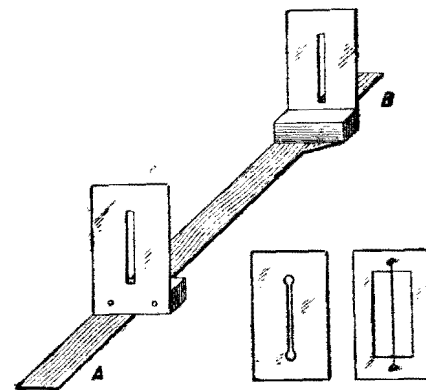


Рис. 212. Диоптры.

§ 22. Тень и полутень.

1. Тень при точечном источнике света. 1) Точечный источник света. 2) Непрозрачная фигура. 3) Просвечивающий экран.

Для опыта нужен точечный источник света или источник с небольшой светящей поверхностью (§ 16, 1—4). Непрозрачная фигура делается из фанеры или толстого картона; форма ее произвольная, но лучше брать несимметричную фигуру; проще всего взять разносторонний треугольник; в качестве такой фигуры удобно применить собственную руку с растопыренными пальцами.

Учащимся показывают, что при точечном источнике света вследствие прямолинейности лучей: 1) форма тени повторяет форму тела (если непрозрачная фигура параллельна экрану); 2) размер тени тем больше, чем дальше экран от фигуры; 3) тень имеет резкие границы, как бы далеко ни отстоял экран от фигуры. Тень от руки получается резко очерченной даже при проектировании тени на потолок или на самую отдаленную стену комнаты.

2. Тень при нескольких точечных источниках света. 1) Подставка с несколькими малыми источниками света. 2) Непрозрачная фигура. 3) Просвечивающий экран.

Чтобы постепенно подойти к выяснению процесса образования полутени, надо после одного точечного источника взять несколько (3—4) таких источников и рассмотреть получение тени в этом случае. В данном опыте удобно взять 4 лампочки от карманного фонарика и расположить на специальной стойке — 3 лампочки по вершинам разностороннего треугольника, а четвертую поместить в его середине (рис. 213). Патроны для лампочек можно взять самодельные (т. III,

§ 26, 3, рис. 389) или купить готовые (рис. 214) в радиомагазине. В качестве непрозрачной фигуры, дающей тень, можно взять кружок (из фанеры или картона), укрепленный на стойке при помощи толстой проволоки. По размеру кружок должен примерно подходить к размерам того треугольника, по вершинам которого расположены лампочки. Лампочки соединяются между собой параллельно и питаются от трансформатора, дающего напряжение в 4 в (т. V, рис. 80).

Поперек демонстрационного стола ставят подставку с лампоч-

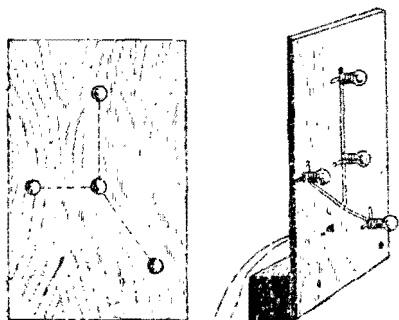


Рис. 213. 4-точечный источник света.

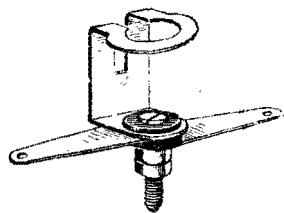


Рис. 214. Патрон для лампочки от карманного фонаря.

ками, перед нею — стойку с непрозрачным телом, и наконец у края стола, обращенного к учащимся, — просвечивающий экран. Все надо расположить так, чтобы на экране не только уместились все четыре (по числу отдельных источников света) тени от кружка, но чтобы они налегли друг на друга в соответственных местах по две, по три и по четыре (рис. 215).

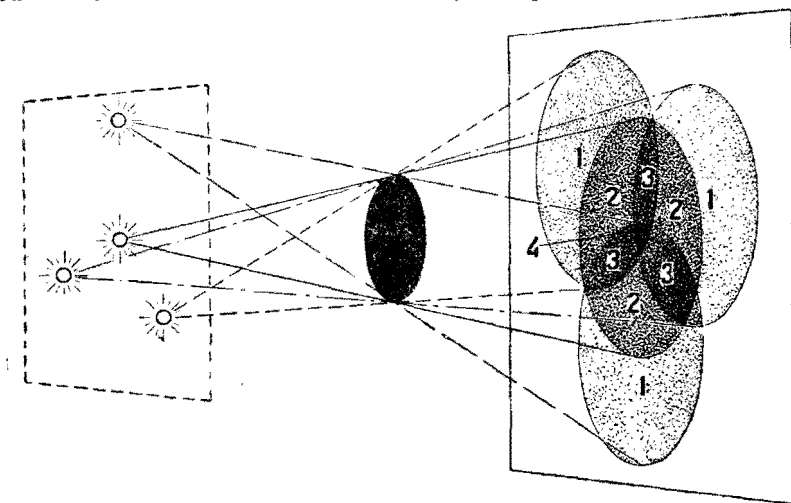


Рис. 215. Получение тени и полутени при 4 источниках света.

На этом опыте надо выяснить, что тенью (полной) называют место (4 на рисунке 215), не освещенное ни одним источником, или место, где налегли друг от друга тени, даваемые всеми отдельными источниками (в данном случае всеми четырьмя). Места экрана, где

лежат тени лишь от нескольких источников, в данном случае от одного (1), от двух (2) и от трех (3), создают ступенчатый (в 3 ступени) переход от полного света к полной тени (4) и образуют так называемую полутень. При увеличении числа отдельных источников света до бесконечности переход от света к полной тени становится постепенным, плавным, как это видно на следующем опыте.

3. Тень и полутень. 1) Источник света с большой светящей поверхностью. 2) Непрозрачное тело. 3) Просвечивающий экран.

Для опыта необходим источник света, обладающий большой светящей поверхностью. Для этой цели удобно применить шарообразный колпак из молочного стекла, внутри которого помещается электролампа. В качестве непрозрачного тела всего лучше взять шар (крокетный шар, мячик и т. п.); размер шара должен быть не очень мал по сравнению с колпаком.

Источник света, непрозрачное тело и экран надо на демонстрационном столе расположить так, чтобы учащиеся на экране видели тень тела, окруженную довольно широкой (в несколько сантиметров) полутенью (рис. 216). Если экран непрозрачный и потому к учащимся обращен непосредственно источник света, то его надо закрыть со стороны учащихся.

Полезно, выбрав на полутени произвольную точку А (рис. 216, I), провести из нее при помощи нитки или тонкой палочки ряд прямых линий, касательных к непрозрачному телу. Эти прямые линии при пересечении с поверхностью источника света наметят линию ВС (ее полезно начертить карандашом для писания на стекле), разделяющую все светящее тело на две части: одна из них (верхняя на рисунке 216) освещает точку А полутени, другая (нижняя) закрыта непрозрачным телом и точки А не освещает. Это указание дает возможность понять, что представляет собой полутень.

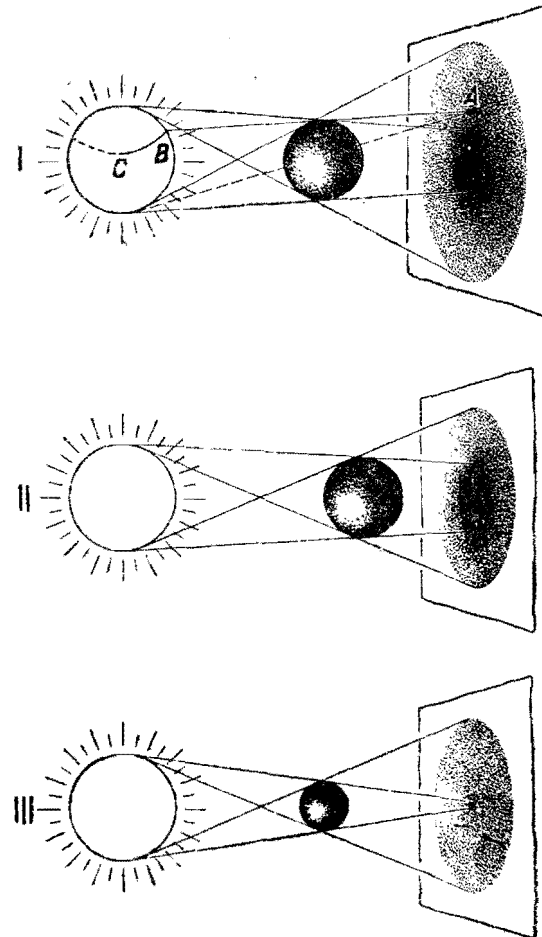


Рис. 216. Тень и полутень.

На этом опыте надо выяснить, при каких условиях полутень становится меньше или больше. Меняя расстояние непрозрачного тела от экрана, можно убедиться, что полутень делается более узкой по мере уменьшения этого расстояния (рис. 216, I). Заменяв непрозрачный шар меньшим по размеру, увидим, что при прочих равных условиях полутень становится шире, а полная тень уменьшается и может совсем отсутствовать (рис. 216, III).

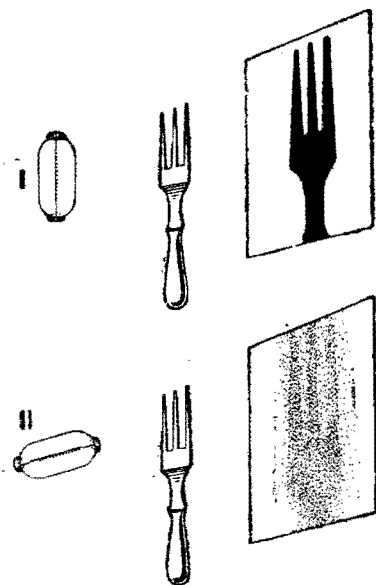


Рис. 217. Тень и полутень вилки от источника света, имеющего удлиненную форму.

пендикулярны к нити лампочки — тени нет, одна общая полутень, на фоне которой зубья едва можно различить (рис. 217, II). Во втором случае непрозрачное тело очень мало по сравнению с размерами источника.

5. Затмения. 1) Теллурий. 2) Стенная таблица затмений. 3) Электрoлампa. 4) Два шара.

Для объяснения явления солнечных и лунных затмений обычно пользуются специальным прибором — теллурием (рис. 218). На неподвижной подставке укреплен источник света (свеча, электролампа), изображающий Солнце. Вокруг этого источника вращается Земля, одновременно вокруг Земли — Луна. Вращение обычно производится при помощи заводного пружинного механизма. Масштаб расположения планет и Солнца, конечно, не соблюден.

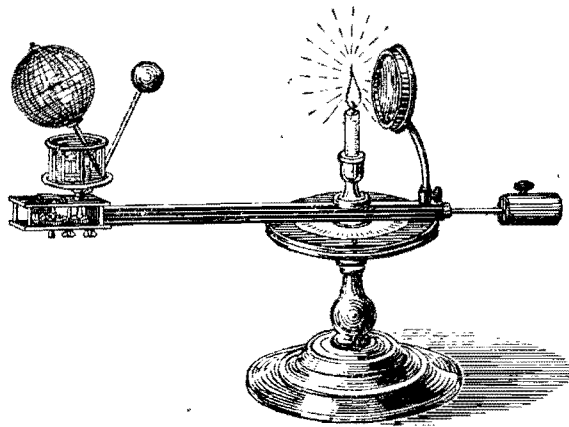


Рис. 218. Теллурий.

Приведя прибор во вращение, надо остановить его в тот момент, когда на приборе окажется расположение планет, соответствующее лунному или солнечному затмению. На приборе надо разобрать, какие условия в расположении планет осуществляют то или другое затмение. На опыте надо показать, что лунное затмение видно одновременно и одинаково во всех точках той половины Земли, которая обращена к Луне; с другой стороны солнечное затмение видно лишь в тех местах земной поверхности, куда попал конус лунной тени, и для других мест солнечное затмение не происходит совсем. На приборе же надо выяс-

СОЛНЕЧНЫЕ И ЛУННЫЕ ЗАТМЕНИЯ

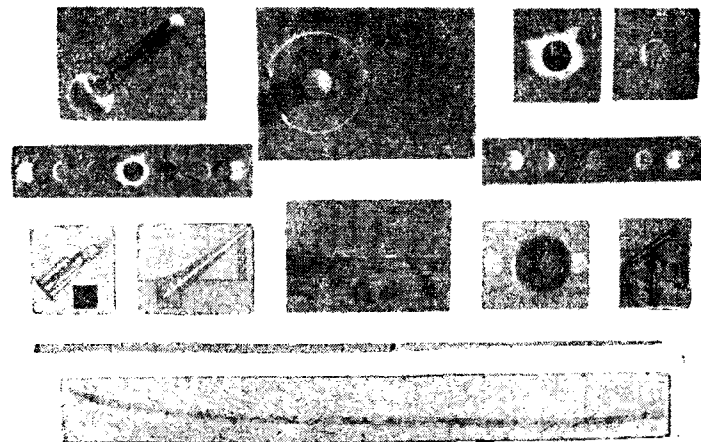


Рис. 219. Стенная таблица затмений.

нить условия, когда наблюдается полное солнечное затмение, частное и кольцеобразное.

В дополнение к теллурию полезно показать учащимся стенную таблицу, изображающую расположение светил при затмениях (рис. 219).

Теллурий обладает тем недостатком, что в нем, если иногда сохраняется точное соотношение размеров Земли и Луны, во всяком случае не соблюдается тот же масштаб в расстоянии между этими планетами. По этой причине гораздо лучше для изображения Земли и Луны взять два шара (деревянных) разного размера — у одного диаметр в 4 раза меньше другого (в действительности диаметр Луны составляет 0,27 земного). В шарах вдоль одного из радиусов просверливаются отверстия и шары этими отверстиями насаживаются на тонкие палочки, чтобы было удобнее держать шары во время опыта, сохраняя между ними расстояние, равное 30 диаметрам большего шара. При помощи этих двух шаров и пучка сходящихся лучей (в качестве Солнца) надо показать все случаи лунного и солнечного затмений.

Лучи должны сходиться так, чтобы конус лунной тени своей вершиной как раз касался поверхности Земли. Тогда при изменении расстояния Луны от Земли в небольших пределах конус лунной тени будет или пересекаться земной поверхностью (полное солнечное затмение), или не доходить до земной поверхности (кольцеобразное затмение).

§ 23. Малые отверстия.

1. Изображение при одном точечном источнике. 1) Темная камера. 2) Точечный источник света. 3) Просвечивающий экран.

К „малым“ надо отнести отверстия, поперечник которых заключается примерно в пределах от 0,5 до 2 мм. Чем меньше этот поперечник, тем в большей степени отверстие заслуживает название „малого“ и тем резче и полнее наблюдаются все те явления, какие сопровождают прохождение света через малые отверстия. По этой причине желательнее применять отверстия возможно малого диаметра, например получаемые от прокола булавкой или иголкой. Однако очень маленькие отверстия могут вызвать явление дифракции и, кроме того, пропускают сквозь себя крайне незначительное количество света; поэтому яркость даваемых ими изображений будет весьма мала. Вследствие этого применение очень малых отверстий требует: 1) возможно более яркого источника света; 2) заключения источника света в темную камеру; 3) полнейшего затемнения в комнате.

Приступая к подготовке этого опыта, надо прежде всего выбрать подходящий источник света. Можно воспользоваться упомянутым раньше (§ 22, 2) источником, состоящим из 4 лампочек для карманного фонаря. Хотя для данного опыта нужна лишь одна лампочка, но камера рассчитана и на последующие опыты с несколькими источниками. Можно лампочки заменить более мощными (например 12-вольтовыми), имеющими малую светящую поверхность (§ 16, 3). Когда источник света выбран, тем самым установлен размер поперечного сечения темной камеры, куда придется поставить этот источник. Длина камеры делается примерно в 40—50 см. Камера (рис. 220) делается из фанеры; для скрепления стенок во всех углах помещаются брусочки (поперечное сечение 2 см × 2 см), к которым прибиваются фанерные стенки. Одна продольная стенка делается на пазах и потому является выдвижной. На боковой стенке пропиливается отверстие (диаметр 5 см), закрываемое выдвижной фанерной дощечкой, ходящей в пазах. Таких дощечек надо иметь несколько и снабдить их малыми отверстиями разного диаметра. Чтобы сделать малое отверстие, надо в фанере просверлить отверстие диаметром в 1 см и это отверстие забить или заклеить тонким металлическим листиком (можно взять станиоль) или непрозрачной бумагой. Наконец в последнем тонком материале прокалывается отверстие булавкой, толстой иголкой, шилом и т. п. или прорезается острым ножом, безопасной бритвой. Края отверстия должны быть ровные — без всяких заусениц. Чтобы питать ток источник света, стоящий внутри камеры, можно поступить двояко: 1) заранее наглухо без просветов заделать прохода в отверстие, проделанном в одной из стенок, или 2) укрепить на стенке две клеммы, снабженные головками с обеих сторон (рис. 221); снаружи к клеммам подводятся провода от источника тока, а внутри — провода от источника света. Внутренние

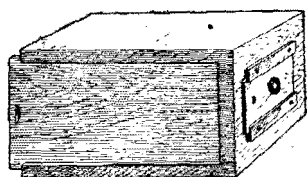


Рис. 220. Камера для источника света.

стенки камеры окрашиваются черной матовой краской. Эту камеру можно объединить с ящиком, описанным раньше (§ 21, 1), тогда придется только длину несколько увеличить (до 60 см), а боковые трубки ящика (рис. 210) приделать к отдельным выдвижным дощечкам; выдвижная стенка будет заменяться стеклом.

Чтобы показать действие малого отверстия в камере, зажигают одну среднюю лампочку (остальные немного вывинчивают из патронов), в боковую стенку вставляют дощечку с малым отверстием в форме треугольника (стороны около 3 мм); камеру направляют этим отверстием к учащимся и перед отверстием ставят просвечивающий экран. На экране учащиеся увидят светлое пятнышко в виде треугольника; следовательно точечный источник дает на экране изображение отверстия. Это явление еще лучше заметно, если взять отверстие большего размера, например в виде треугольника со сторонами по 5—7 мм. Так как у лампочки волосок далеко не является одной точкой, то в данном опыте, где надо показать изображение отверстия, а не волоска, нельзя брать очень малое отверстие (меньше 3—4 мм).

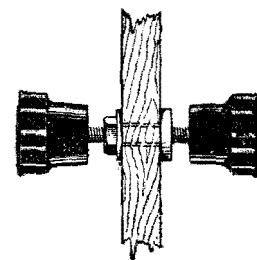


Рис. 221. Ввод с двумя клеммами.

2. Изображение при нескольких точечных источниках. 1) Темная камера. 2) 4-точечный источник света. 3) Просвечивающий экран.

Данный опыт является продолжением предыдущего. Выдвинув продольную стенку, зажигают все лампочки, ввернув их в патроны. Отверстие оставляют самое большое (треугольник со сторонами в 5—7 мм). На экране видны 4 светлых пятнышка в форме треугольника. Это 4 (по числу светящихся точек) изображения отверстия, расположенные соответственно расположению этих точек, но обратно им. Выражение „обратное расположение“ означает, что изображение, даваемое верхней лампочкой, лежит внизу, правой — налево, левой — направо и т. д. Такое расположение является следствием прямолинейности лучей, проходящих в данном случае через одну общую точку — отверстие.

Заменяя отверстие меньшим (треугольник со сторонами в 2—3 мм), заметим, что общая картина явления осталась прежней, но, ввиду уменьшения размеров отверстия, каждое его изображение тоже уменьшилось и потому форма этого изображения (а значит и форма отверстия) становится менее заметной, приближаясь к светлой точке. Отсюда легко сделать переход к тому случаю, когда число отдельных точечных установок или светящихся точек станет бесконечно большим, т. е. перейти к светящему телу.

3. Получение изображения через малое отверстие. 1) Темная камера. 2) Светящее тело. 3) Просвечивающий экран.

Так как в данном опыте форма и размеры светящего тела имеют существенное значение, то на выбор тела надо обратить особое внимание. Обычно в качестве источника света приходится применять электролампу. В этом случае надо выбрать лампу с таким волоском,

чтобы он имел достаточно большие размеры и соответственно ясно выраженную форму. В этом отношении были весьма удобны угольные лампы (т. III, рис. 380) с волоском характерной формы. Если в физическом кабинете сохранилась еще угольная лампочка, ее следует тщательно беречь для опытов по оптике.

На втором месте надо поставить пустотную лампу (т. III, рис. 375). Так как повидимому придется пользоваться электролампой со спиральным волоском (т. III, рис. 374), то необходимо лампу установить так, чтобы плоскость, в которой лежит подковообразный волосок, была перпендикулярна к продольной оси камеры. Тогда изображение волоска на экране будет иметь форму подковы.

Опыт начинают с большого отверстия и доходят до самого маленького — укол булавки. В каждом случае на экране получается изображение волоска, составленное из бесчисленного количества изображений отверстия. По мере уменьшения размеров отверстия уменьшается размер его изображения, поэтому изображение волоска составляется все из более и более мелких светлых пятнышек. В результате резкость и отчетливость изображения увеличиваются, но яркость уменьшается.

Необходимо обратить внимание учащихся на то обстоятельство, что изображение является обратным. Для этой цели необходимо перед началом опыта убедиться, как расположен подковообразный волосок относительно стенок камеры.

4. Опыт Тиндаля. 1) Проекционный фонарь. 2) Диффрагма с несколькими малыми отверстиями.

У проекционного фонаря с вольтовой дугой удаляют конденсор и объектив, а отверстие закрывают металлической диффрагмой с не-

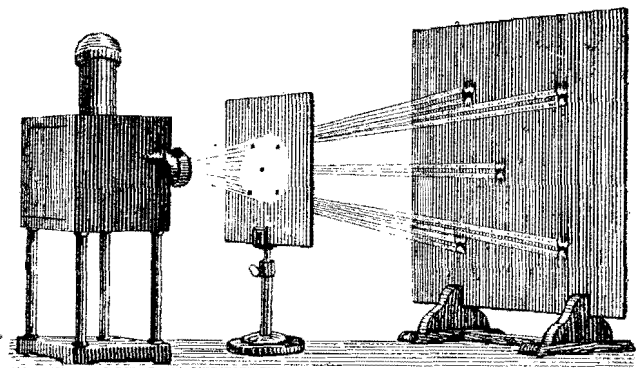


Рис. 222. Опыт Тиндаля.

сколькими (6—10) очень маленькими отверстиями. На экране получается несколько (по числу отверстий) изображений раскаленных концов углей вольтовой дуги (рис. 222). Изображение будет тем отчетливее, чем меньше отверстия. Это обстоятельство будет еще заметнее, если сделать отверстия разных размеров.

Если для этого опыта взять менее мощный источник, то можно ограничиться более крупными отверстиями, например применить сиденье (с отверстиями) от венского стула.

5. Опыт с двумя щелями. 1) Темная камера. 2) Трубка с двумя щелями. 3) Светящее тело. 4) Просвечивающий экран.

Выдвижная дощечка с отверстием заменяется дощечкой с картонной трубкой ($d = 5$ см; $l = 5-6$ см); в эту трубку плотно входит картонная же трубка ($l = 8-12$ см), заклеенная с обеих сторон картонными кружками; в этих кружках прорезаны узкие щели *A* и *B* ($l = 2-3$ см; $b = 2-3$ мм), направленные перпендикулярно друг к другу (рис. 223).

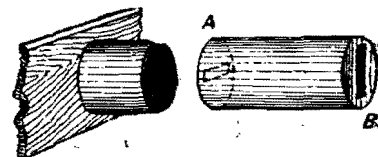


Рис. 223. Две взаимно перпендикулярные щели.

На экране получается изображение тела, но его форма оказывается искаженной. Если ближе к нему расположена горизонтальная щель (т. е. трубка со щелями расположена, как на рисунке), то в горизонтальном направлении изображение тела сжато (рис. 224, I). Если же трубку повернуть вокруг продольной оси на 90° , то ближе к телу расположится вертикальная щель и изображение тела окажется сплюснутым по вертикальному направлению (рис. 224, II). Объяснение этого явления дает ход лучей на рисунке 224.

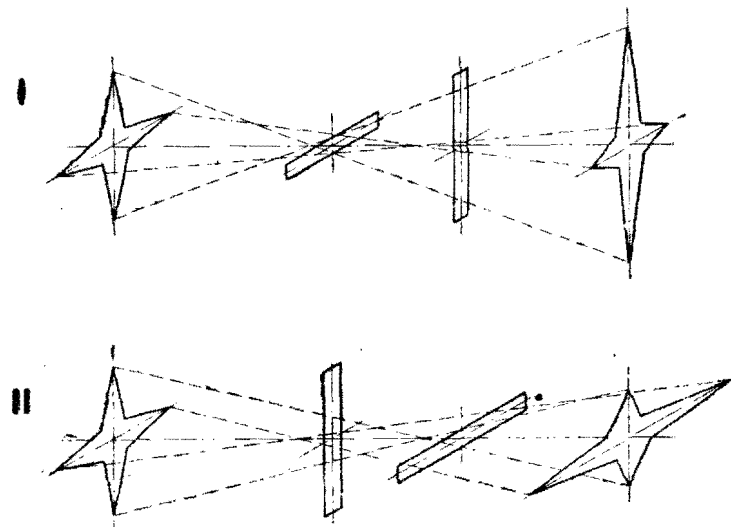


Рис. 224. Ход лучей при двух взаимно перпендикулярных щелях.

Если обе щели (взаимно перпендикулярные) приложить вплотную друг к другу, то они будут действовать просто как одно малое отверстие.

6. Камера-обскура. Камерой-обскурой (или по-русски темным ящиком) называют ящик или коробку, покрашенную внутри черной краской и предназначенную для получения изображения. Если хотят

камеру использовать не только для данного опыта, но и для следующего, то ее надо делать так, чтобы внутрь ее не мог проникнуть свет. С этой целью из картона или фанеры делаются две коробки (без крышек), плотно входящие друг в друга; внутри большей из них вставляются вторые стенки так, чтобы в промежутки между двойными стенками вдвигались стенки меньшей коробки. Продольное сечение камеры имеет вид, изображенный на рисунке 225, I. Внутренний размер меньшей коробки надо подогнать к размеру фотографических пластинок, т. е. или $6\text{ см} \times 9\text{ см}$, или $9\text{ см} \times 12\text{ см}$, или $13\text{ см} \times 18\text{ см}$, прибавив по 5 мм к каждой стороне. У задней стенки внутри делаются внизу и сверху пазы для вкладывания фотопластинки (рис. 225, II); в одном пазу

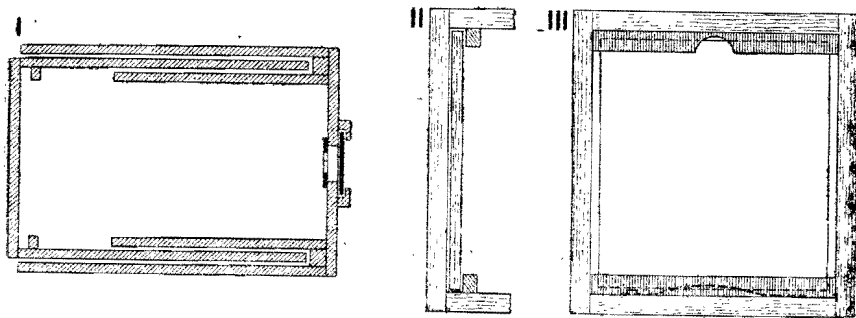


Рис. 225. Разрез раздвижной камеры-обскуры.

укрепляется пружинка, удерживающая пластинку (рис. 225, III). В передней стенке просверливается отверстие ($d = 1\text{ см}$) и заклеивается изнутри черной бумагой (в нее завертывают фотопластинки) или листом станиоля (проверить на свет, нет ли в станиоле дырочек); полезно для прочности наклейки прибить на нее изнутри кольцо из фанеры (внутренний диаметр около 2 см). В станиоле (в центре) прокалывается булавкой отверстие. Для закрывания отверстия снаружи к стенкам коробки приделывается два паза; вдоль этих пазов двигается плотно пригнанная дощечка.

Камера, описанная здесь, нужна, главным образом, для последующего опыта. В данном случае вместо фотопластинки нужно матовое стекло. Поэтому меньшую коробку заменяют рамкой с матовым стеклом. К рамке приделываются закраины, которые должны входить в промежутки между двойными стенками камеры.

Вставив в камеру матовое стекло и выдвинув задвижку, закрывающую отверстие, направляют отверстие на ярко освещенный предмет или на пейзаж, видимый из окна, и получают изображение (обратное) на матовом стекле. Изображение вследствие малости отверстия крайне слабое, поэтому при наблюдении необходимо тщательно закрываться с головою при помощи плотной черной материи.

Если в физическом кабинете имеется фотоаппарат, то специальной камеры делать не надо. В фотоаппарате объектив заменяется куском картона с малым отверстием.

Весьма удобно и поучительно описанным способом показать учащимся изображение Солнца, особенно во время солнечного затмения.

7. Фотографирование через малое отверстие. 1) Камера-обскура. 2) Фотопластинка. 3) Принадлежности для фоторабот.

В темной комнате (при красном свете) в камеру вставляют фотопластинку и, тщательно закрыв отверстие задвижкой, выходят с камерой на двор или направляют из окна на улицу; поставив камеру на

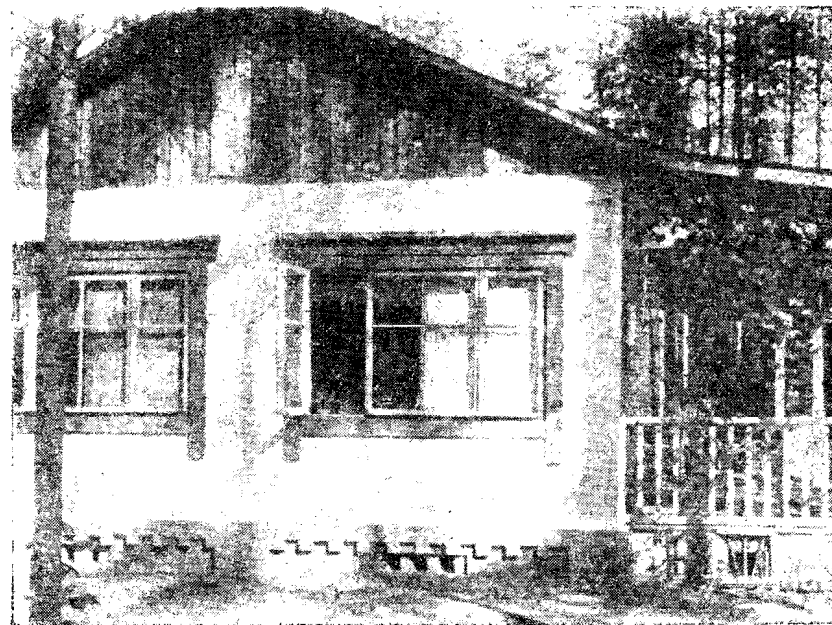


Рис. 226. Фотоснимок при помощи малого отверстия ($d = 0,6\text{ мм}$). Сделан 26 сентября в 12 час. в солнечный день. Экспозиция 3 мин. на пластинках чувствительностью около 170.

прочную подставку (стол, подоконник), осторожно отодвигают задвижку и оставляют камеру с открытым отверстием на 1—5 мин. в зависимости от размера отверстия (от $0,5$ до $1,5\text{ мм}$) и яркости освещения, наименьшая экспозиция возможна в яркий летний солнечный день (рис. 226).

Вместо камеры удобнее применить фотоаппарат, заменив в нем объектив дощечкой с малым отверстием.

При фотографировании через малое отверстие на фокус устанавливать не приходится. Четкость изображения зависит от размера отверстия. Величина изображения обуславливается расстоянием отверстия от фотопластинки.

ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА.

§ 24. Опыты по отражению света.

1. Общие указания. Чтобы показать явление отражения, необходимо иметь: 1) источник света (проекторный фонарь, дающий один или несколько, желательных параллельных, лучей и 2) плоское зеркало в форме полоски (любого размера; достаточно $2 \text{ см} \times 10 \text{ см}$).

Если надо продемонстрировать закон отражения, то необходимо иметь: 3) приспособление для измерения углов (т. е. транспортир или разделенный круг).

Чтобы опыт выходил отчетливо и эффектно, зеркало должно обладать следующими качествами: 1) сделано из белого ровного (с параллельными плоскостями) стекла; 2) стекло должно быть возможно тоньше. Неровные зеркала искажают ход лучей; толстые зеркала дают два отраженных луча, заметно сдвинутых относительно друг друга.

Хорошие зеркала в продаже попадаются крайне редко. Если преподаватель имеет возможность серебрить стекла для изготовления зеркал, то всего лучше сделать зеркало из предметного стекла для микроскопа. В крайнем случае можно применять стеклянные черные зеркала, покрывая одну сторону стекла черным спиртовым лаком.

Вместо стеклянного зеркала можно взять металлическое в виде ровной металлической полоски (латунной или цинковой), очень хорошо никелированной; однако металлическое зеркало не в состоянии вполне заменить собой стеклянное при всех опытах.

У стеклянного зеркала необходимо тщательно оберегать зеркальный слой от царапин, поэтому зеркало должно быть закреплено в металлической оправе (рис. 182, 1) или в деревянной (рис. 189, 1).

Пучок лучей, падающих на поверхность тела, делится на три части: 1) отражаемую от поверхности тела (назад в воздух); 2) проходящую сквозь тело; 3) входящую в тело и там поглощаемую (задерживаемую). Относительная величина этих частей зависит от свойств тела и от угла падения (§ 30, 1). Если поверхность ровная (зеркальная), то все лучи отражаются одинаково (под одним и тем же углом к поверхности), — такое отражение называют правильным. Если поверхность шероховатая (как у матового стекла), то лучи отражаются по всем направлениям или рассеиваются, такое отражение называют рассеянным. Различие между этими двумя видами отражения можно просто показать при помощи матового стекла, отражая пучок света сперва гладкой поверхностью стекла, а затем — матовой; в первом случае получаем (на стене или потолке) светлое пятно („зайчик“), а во втором зайчик нигде не наблюдается, но та часть комнаты, куда направлены рассеянные лучи, становится несколько более освещенной.

2. Прибор Тиндаля. 1) Прибор. 2) Источник света. 3) Источник дыма.

Самым простым прибором для демонстрации явления отражения света является прибор Тиндаля (рис. 227). Прибор состоит из плоского зеркала, вращающегося вокруг горизонтальной оси. Вместе с зеркалом вращается стрелка, укрепленная перпендикулярно к плоскости зеркала; конец стрелки перемещается вдоль угловых делений (в 10° каждое).

Чтобы лучи света были заметны, пространство около зеркала заполняют дымом. Опыт производится в темноте.

Луч света из фонаря направляют на среднюю линию зеркала, совпадающую с его осью вращения, и показывают учащимся, что 1) падающий и отраженный лучи совпадают друг с другом и с направлением стрелки тогда, когда угол падения равен нулю, т. е. луч падает (и отражается) под прямым углом к зеркалу; 2) при любых поворотах зеркала угол отражения равен углу падения.

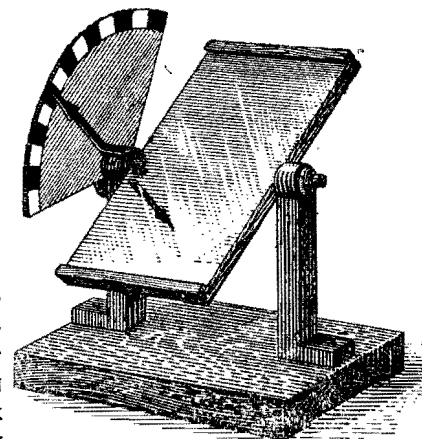


Рис. 227. Прибор Тиндаля.

3. Прибор Вейнгольда. Этот прибор (рис. 228) можно сделать самим, для чего надо взять толстую доску ($h = 2-3 \text{ см}$) и выпилить из нее полукруг ($d = 20-30 \text{ см}$). С плоской стороны прибивается полоса фанеры ($b = 8-9 \text{ см}$); на полукруглой стороне должна находиться полоса картона (или тонкой фанеры) той же ширины, как и на плоской стороне. Но предварительно надо на внутренней поверхности картона нанести деления, для чего намечается середина полосы и, считая от середины, в обе стороны откладываются равные части. Размер частей собственно произволен, но всего лучше нанести деления через 10° , для чего, измерив длину полуокружности, делят ее на 18 равных частей. Деления, начиная от среднего, обозначаются цифрами: 0, 10, 20, ..., 80. На одной половине картонной полосы точно на месте делений (начиная с нулевого) пробиваются пробойником (т. 1, рис. 278) или сверлом для пробок (т. 1, рис. 89) 9 дырочек ($d = 5-7 \text{ мм}$). Дырочки нумеруются с наружной стороны.

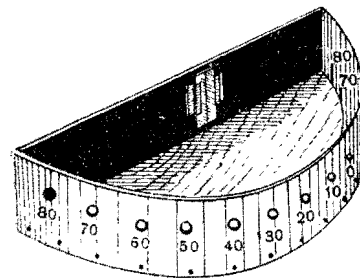


Рис. 228. Прибор Вейнгольда.

На плоской стороне прибора точно в центре полукруга укрепляется (шурупами) полоска хорошего зеркала ($6 \text{ см} \times 1 \text{ см}$). Укрепив зеркальце, правильно устанавливают картонную полосу, для чего смотрят в нулевую дырочку и закрепляют полосу в таком положении, при котором эта дырочка и ее изображение в зеркале точно совпадают друг с другом; после этого полосу прибивают.

Прибор Вейнгольда предназначен для индивидуального наблюдения. Через одну из дырочек смотрят одним глазом на середину зеркала, совпадающую с центром полукруга (полезно середину зеркала отметить чертой, например прорезав ножом зеркальный слой). В зеркале увидим деление с тем же числом градусов, какое соответствует отверстию, выбранному для наблюдения.

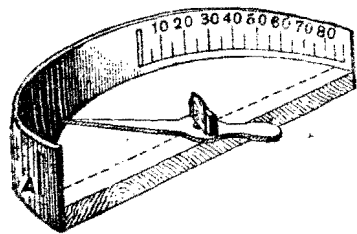


Рис. 229. Прибор Мюллера.

со щелью ($b = 2$ мм) посередине и с градусными делениями на внутренней стороне (рис. 229). В центре полукруга проделано отверстие; в него входит ось ($d = 1$ см), на которой насажена планка ($h = 1,5 - 2$ см) в форме кружка, имеющего вдоль одного из диаметров стрелку с одной стороны и ручку для вращения — с другой (рис. 230); стрелка должна доходить до делений. С верхней стороны к вращающемуся кружку приделан брусочек. Плоскость его должна быть перпендикулярна к плоскости кружка и проходить через ось вращения. К этой плоскости брусочка прикрепляется зеркальце ($4 - 8$ см \times 3 см). Средняя линия зеркала, совпадающая с осью вращения, отмечается, как у прибора Вейнгольда. Зеркальце должно быть установлено так, чтобы при наблюдении через щель и при положении стрелки на нулевом делении изображение щели сливалось с самою щелью.

Опыт с прибором заключается в следующем: поворачивают (ручку) зеркало так, чтобы стрелка указывала определенное деление (например 20°) и затем одним глазом смотрят в щель на зеркало; тогда на средней линии зеркала видно деление с номером, вдвое большим (например 40°).

Вместо наблюдения глазом можно через щель пустить луч света на зеркало и, смотря на прибор со стороны зеркала, найти на шкале место, куда упадет отраженный луч.

Если щель проделать не в середине полукружности, а на самом ее краю — на конце диаметра A (рис. 229), тогда можно получать углы падения до 90° ; при этом деления должны охватывать всю полукружность.

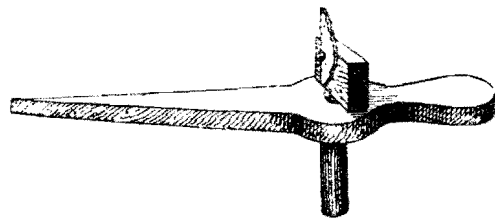


Рис. 230. Деталь устройства прибора Мюллера.

5. Шайба Гартля. 1) Прибор. 2) Источник света. 3) Плоское зеркало (№ 1 из набора).

Плоское зеркало при помощи зажимного винта закрепляют так, чтобы его середина совпадала с центром шайбы. Чтобы отраженные

от зеркала лучи пересекали плоскость шайбы, надо зеркало чуть наклонить вперед. С этой целью под задний край оправы надо подложить кусочек тонкого картона. Установив шайбу и ширму с одной (средней) щелью так, чтобы световой луч шел вдоль нулевого диаметра, придают зеркалу такое направление, при котором отраженный луч совпадает с падающим (рис. 231, I).

Не трогая щели, вращают шайбу и показывают учащимся несколько случаев равенства углов отражения и падения (рис. 231, II).

6. Прибор Кольбе. 1) Прибор. 2) Источник света. 3) Плоское зеркало (№ 1 из набора).

Оттянув скобу вперед, под нее подкладывают зеркало и устанавливают его так, чтобы отражающая поверхность совпадала с вертикальным диаметром; установку выполняют и проверяют и опыт производят так же, как на шайбе Гартля (опыт 5).

7*. Закон отражения. 1) Плоское зеркало. 2) Лист картона. 3) Булавки. 4) Транспортир. 5) Чертежный треугольник. 6) Остро очиненный карандаш. 7) Циркуль.

На листе картона (§ 21, 6) ставят вертикально плоское зеркало (примерно 5 см \times 10 см), привинченное двумя шурупами (с полукруглой головкой и шайбочками) или прикрепленное жестяными уголками к деревянному брусочку (12 см \times 6 см \times 4 см). Перед зеркалом наискось к нему втыкают две булавки 1 и 2 (рис. 232); затем учащийся смотрит в зеркало одним глазом (держа голову на уровне стола) так, чтобы видеть обе булавки 1 и 2 совпадающими друг с другом, и втыкает еще две булавки 3 и 4 так, чтобы все четыре булавки казались расположенными на одной прямой линии. Проверку правильности установки производят, перемещая глаз вправо и влево от прямой, вдоль которой стоят булавки. Все булавки должны стоять вертикально. Булавки 2 и 3 выгодно помещать поближе к зеркалу (на расстоянии $1 - 2$ см).

Отнюдь не сдвигая зеркала, убирают булавки и обводят небольшим кружком 4 укола, сделанных окончательно установленными булавками; осторожно придерживая зеркало левой рукой, проводят карандашом

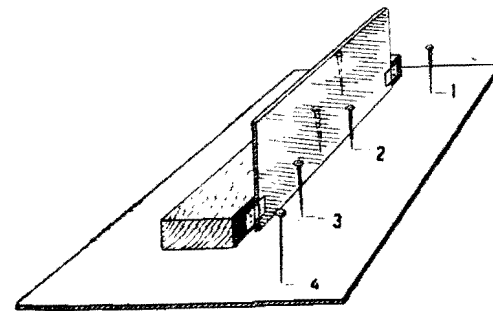


Рис. 232. Установка лабораторной работы на закон отражения.

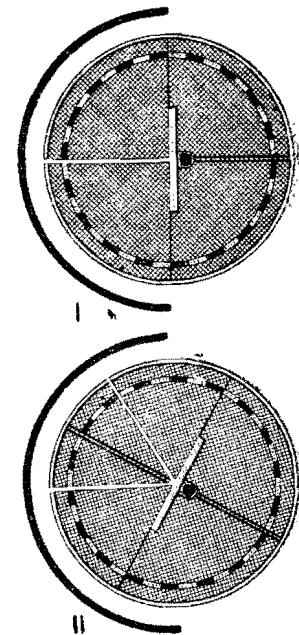


Рис. 231. Демонстрация на шайбе Гартля закона отражения.

черту AB вдоль переднего края зеркала, которое затем удаляют (рис. 233). Через уколы 1—2 и 3—4 проводят возможно тщательнее две прямые CO и EO , пересекающиеся в точке O , лежащей на отражающей задней поверхности зеркала

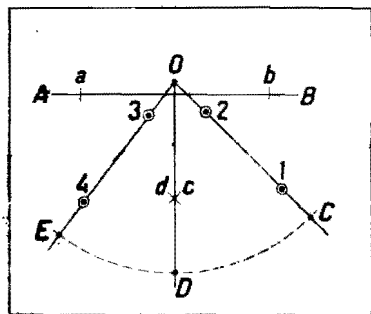


Рис. 233. Чертеж к лабораторной работе на законе отражения.

(чтобы уменьшить влияние преломления лучей, происходящего на поверхности зеркала, надо применять зеркала из возможно более тонкого стекла). Через точку O проводят перпендикуляр DO к линии AB (для этого сделаны циркулем засечки a , b , c и d). При помощи транспортира измеряют угол падения COD и угол отражения EOD ; углы эти должны (в пределах ошибки в 1°) оказаться равными.

Вместо измерения углов транспортиром можно из точки O описать дугу

CDE и сравнить между собой две дуги CD и ED .

Вместо булавок можно применять линейки с диоптрами в виде щелей (§ 21, 7).

§ 25. Плоское зеркало.

1. Шайба Гартля. 1) Прибор. 2) Источник света. 3) Плоское зеркало.

Данный опыт служит продолжением опыта § 24, 5, только вместо одного луча берут несколько (3—5), вынимая соответственные задвижки.

1) Направляют на зеркало пучок параллельных лучей и показывают, что отраженные лучи тоже остаются параллельными (рис. 234, I).

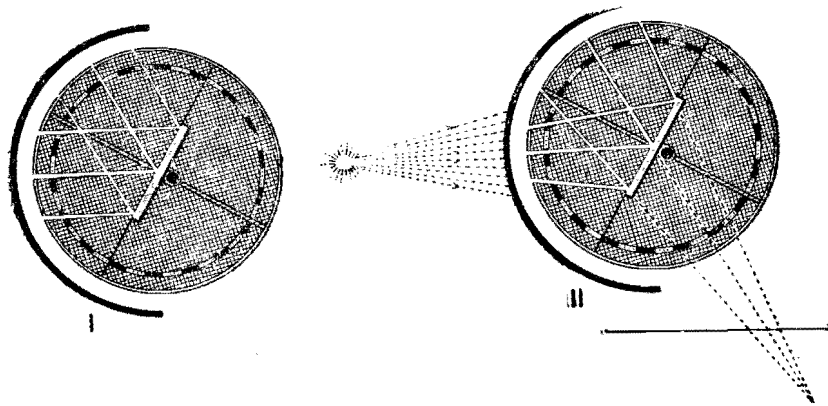


Рис. 234. Демонстрация на шайбе Гартля отражения от плоского зеркала.

2) Берут сильно расходящийся пучок лучей; для этой цели источник, дающий расходящийся пучок, приближают вплотную к ширме со щелями. Тогда можно наметить положение светящей точки, из которой выходят все видимые лучи (рис. 234, II). После отражения

от зеркала лучи продолжают расходиться попрежнему (т. е. с тем же углом между любой парой лучей). Представляя себе отраженные лучи продолженными за зеркало, можно наметить положение мнимого изображения светящейся точки.

2. Прибор Кольбе — см. § 24, 6.

Опыт производится, как и с шайбой Гартля (опыт 1).

Для получения источника света в виде светящей точки с пучком расходящихся лучей Кольбе предложил применить электролампочку с однонитным волоском (т. III, § 8, 8, рис. 134, правый). Лампочка помещается в жестяной цилиндр с несколькими щелями (для дальнейших опытов полезно иметь два цилиндра; один — с двумя щелями, другой — с целой решеткой из щелей числом до 25 на протяжении 120 — 140°

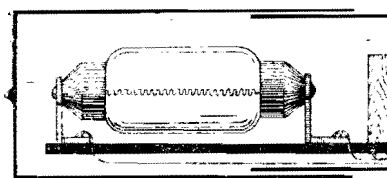


Рис. 235. Установка однонитной лампочки.

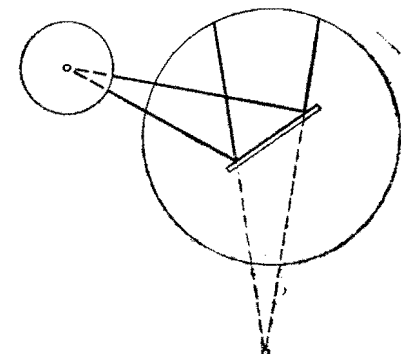


Рис. 236. Схема опыта с плоским зеркалом на приборе Кольбе.

по окружности цилиндра). Цилиндр закрывается крышкой, так что помимо щелей свет от лампочки пройти не может. Лампочка зажимается своими острыми концами между двумя латунными пластинками с отверстиями (по принципу телефонного предохранителя — см. т. III, § 25, 1, рис. 368). Пластинки привинчены к изолирующей (эбонитовой) полоске, приделанной к крышке цилиндра; провода выведены через крышку (рис. 235). Волосок лампочки должен находиться как раз на оси цилиндра; на передней стенке цилиндра положение его оси надо отчетливо отметить, напаяв небольшой конус.

Схема установки опыта ясна из рисунка 236.

3. Опыт Розенберга. 1) Стекло (не менее $40\text{ см} \times 40\text{ см}$). 2) Два штатива. 3) Две свечи. 4) Метровый масштаб. 5) Спички.

На столе при помощи двух штативов устанавливается вертикально стекло параллельно переднему краю стола, обращенному к учащимся (рис. 237). Под стекло кладется масштаб перпендикулярно к плоскости стекла так, что оно стоит на среднем делении масштаба. Установка стекла и масштаба повернется наблюдением в стекле над изображением масштаба — изображение должно полностью сливаться с масштабом, видимым сквозь стекло.

Рядом с масштабом перед стеклом ставят свечу на любом расстоянии от стекла (например 30 см); точно такую же (такой же высоты) свечу ставят за стеклом также рядом с масштабом и на таком же расстоянии (30 см) от стекла. Если смотреть на эту вторую

свечу через стекло, то ее фитиль должен точно совпадать с изображением фитиля свечи, стоящей перед стеклом. Если установка производится заранее в отсутствии учащихся, то надо так установить свечу, чтобы при зажигании передней казалось, что загорается и вторая. Это произойдет при одинаковых расстояниях свечей от стекла. Этим опытом при одинаковых расстояниях свечей от стекла. Этим опытом при зажигании учащихся не должны видеть.

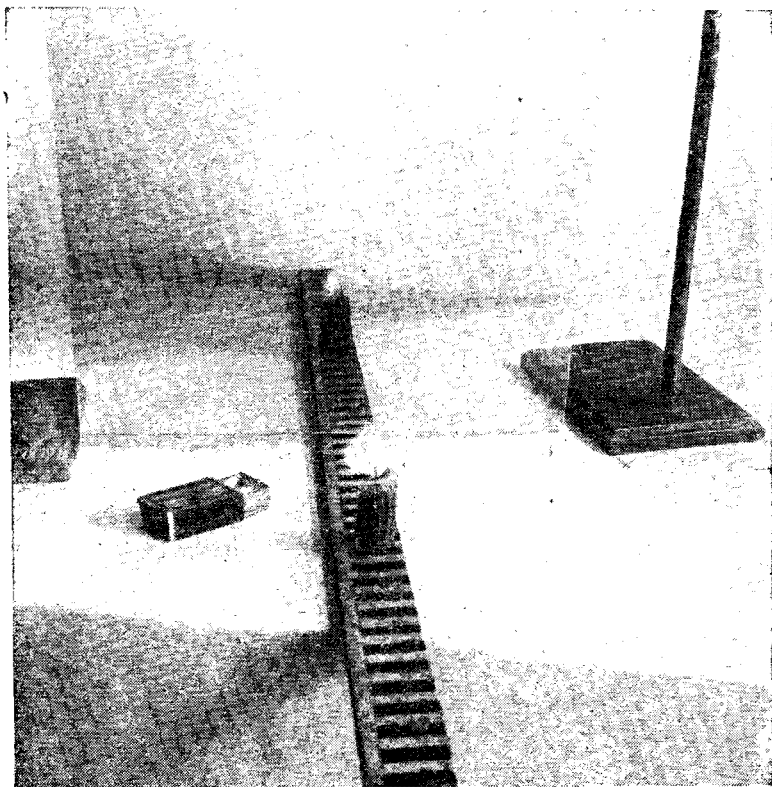


Рис. 237. Опыт Розенберга.

На глазах учащихся, которые должны смотреть на стекло, зажигают переднюю свечу, и учащимся кажется, что одновременно загорается задняя. С боковых мест задняя свеча видна помимо стекла, и вообще опыт виден не вполне хорошо, поэтому надо сгруппировать учащихся ближе к направлению, перпендикулярному к стеклу, но очень близко подходить не требуется. Опыт надо повторить несколько раз и позволить учащимся посмотреть на заднюю свечу (при зажигании передней) помимо стекла. Для эффекта опыта можно заднюю свечу поставить в химический стакан, наполненный водой. Масштаб следует взять с раскраской двумя цветами через каждые 5 см, чтобы равенство расстояний было видно издали.

4*. Определение места изображения в плоском зеркале. 1) Стекло. 2) Лист картона. 3) Два брусочка. 4) Булавки. 5) Два чертежных треугольника. 6) Масштабная линейка. 7) Карандаш.

Предшествующий опыт 3 можно, несколько видоизменив, поставить в виде лабораторной работы с булавками.

На листе картона (§ 21, 6) устанавливается вертикально полоска тонкого стекла от старого негатива (1—3 см × 5 см), укрепленная в прорезах двух деревянных брусочков (рис. 238). Перед стеклом втыкают булавку в произвольном месте и затем, поймав изображение булавки в стекле, втыкают вторую булавку сзади стекла в таком месте, чтобы эта вторая булавка точно совмещалась с изображением первой.

Для успешного выполнения установки необходимо, чтобы 1) луч зрения отклонялся не очень сильно от перпендикуляра к стеклу; 2) стекло было освещено главным образом спереди; 3) булавки имели ясно видимые головки, например из стекла, сургуча, менделеевской замазки; такие головки можно наплавить самим.

После установки булавок их удаляют, посредством карандаша обводят кружочками места уколов и, проведя вдоль стекла линию AB , убирают стекло (рис. 239). Точки уколов C и D соединяют между собой и убеждаются: 1) во взаимной перпендикулярности прямых AB и CD при помощи угольников и 2) в равенстве расстояний CE и DE (при помощи масштабной линейки).

5*. Способ параллакса — см. опыт 4.

В предшествующей лабораторной работе 4 так же, как и в некоторых дальнейших работах, приходится отыскивать место, где находится изображение. Для такой цели весьма удобно применять способ параллакса. Для этого берут длинную (вязальную) спицу и, либо укрепив ее в небольшой подставке (например пробке, деревянной

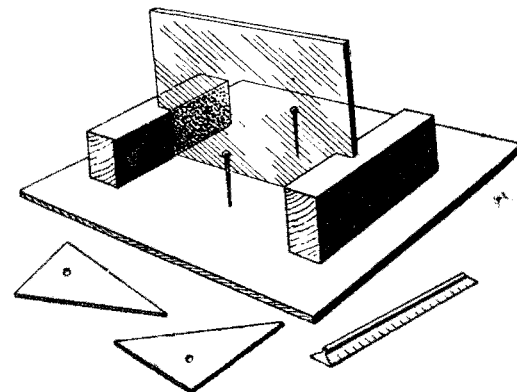


Рис. 238. Установка лабораторной работы на плоское зеркало.

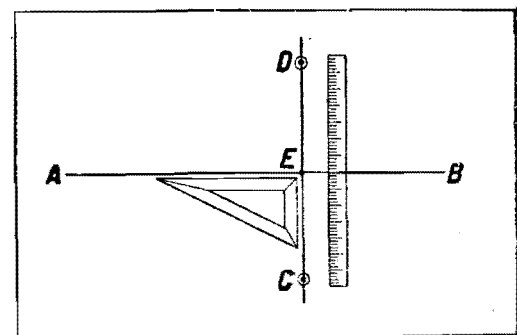


Рис. 239. Чертеж к лабораторной работе на плоское зеркало.

розетке), либо просто, держа спицу в руке, помещают спицу там, где должно находиться изображение — в данном случае за стеклом. Смотри сквозь стекло по нормали к его плоскости, спицу ставят так, чтобы она казалась совпадающей с изображением булавки, стоящей перед стеклом. Можно смотреть на верхний край стекла, тогда спица должна служить продолжением изображения булавки в стекле. В обоих случаях изображения булавки и спицы окажутся установленными на одной прямой — на луче зрения, но это еще не означает, что они совпадают совершенно: они могут лежать на разных расстояниях от глаза. Чтобы этот вопрос решить, прибегают к способу параллакса, именно: смещают глаз K (рис. 240) в какую-нибудь сторону (например налево) в положение L ; тогда, если изображение D и спица F не совпадают, они сместятся относительно друг друга; из рисунка 240 видно, что более далекий предмет смещается в ту же сторону, куда сместился глаз, а более близкий — в противоположную сторону. Это правило и этот прием позволяют, таким образом, выяснить различие в расстоянии двух предметов от наблюдателя.

Рис. 240. Способ параллакса.

Вывод такой: надо для спицы найти такое место, при котором не будет происходить параллактического смещения ее относительно искомого изображения.

6. Опыт Сильвануса Томсона. 1) Стекло. 2) Два штатива. 3) Две свечи. 4) Гвоздь ($l = 8-10$ см) или палочка на небольшой подставке. 5) Спички.

Установив стекло и две свечи так же, как в опыте 3, перед стеклом ставят вертикально гвоздь или вообще стержень (палочку, карандаш) (рис. 241). При зажигании передней свечи получаем от гвоздя две тени: A — от непосредственно падающих лучей и B — от отраженных стеклом лучей. Убирая стекло и зажигая заднюю свечу, увидим, что она даст такую же тень B , какую давали отраженные лучи, т. е. какую давало изображение передней свечи в стекле.

7. Симметричность предмета и его изображения в плоском зеркале. 1) Большое плоское зеркало (около 30 см \times 40 см). 2) Фигура, начерченная на белом картоне.

Вопрос о том, какое изображение получается в плоском зеркале, разрешается учащимися с большим трудом. Часто они высказывают мнение, что изображение как-то повертывается, и мысль о симметричности совсем не приходит им в голову; поэтому эту симметричность надо показать на нескольких примерах.

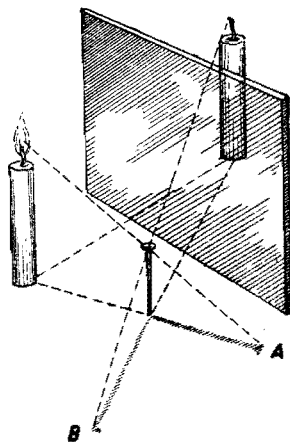


Рис. 241. Опыт Сильвануса Томсона.

1) На белом картоне чертится тушью (толщина линий около 3 мм) разносторонний треугольник ABC (рис. 242, I, справа). В зеркале виден треугольник, симметричный с данным (рис. 242, I, слева).

2) В зеркале показывают изображение правой руки — видна левая.

3) Французская буква „эр“ (R) в зеркале принимает форму буквы „я“ (Я) (рис. 242, II).

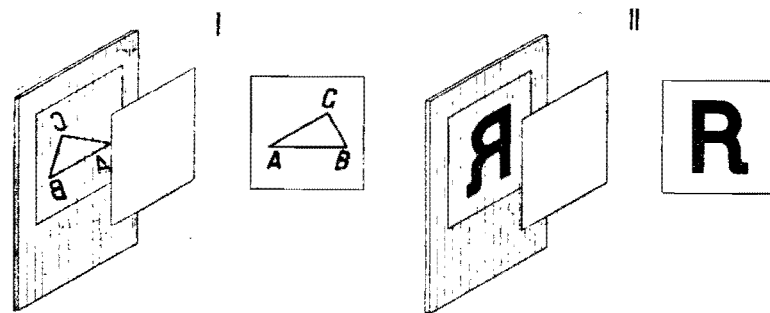


Рис. 242. Изображения в плоском зеркале.

§ 26. Плоские зеркала под углом.

1. Изображение в двух плоских зеркалах под углом. 1) Прибор. 2) Свеча или электролампочка в стоячем патроне.

Для демонстрации изображений в двух плоских зеркалах, образующих между собой некоторый угол, существует в продаже особый прибор (рис. 243). Если в кабинете такого прибора нет, то покупать его не следует, ибо прибор обладает крупным и существенным недостатком, именно: так как зеркала заделаны в широкие рамки, то внутренние края зеркал очень на много не доходят

до общей оси вращения, и потому во многих случаях часть изображений, расположенных близко к линии соприкосновения зеркал, не будет видна.

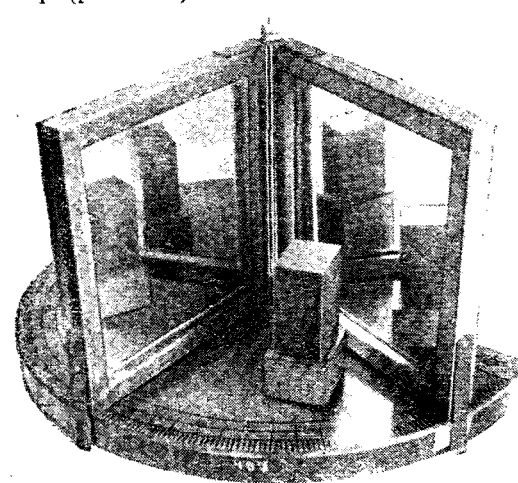


Рис. 243. Плоские зеркала под углом.

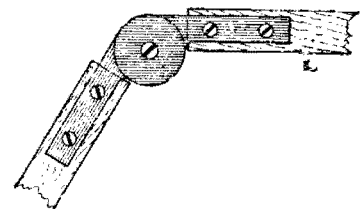


Рис. 244. Петля для скрепления двух зеркал под углом.

Ввиду этого полезнее сделать прибор самим так, чтобы на двух дощечках, скрепленных на особых петлях (рис. 244), находились пазы

для зеркал и чтобы зеркала можно было свободно сдвигать до их взаимного соприкосновения (рис. 245). Петли можно сделать из жестяных полосок по форме рисунка 244, и ось сделать из гвоздя, расклепав его, или из небольшого болтика (от радиопринадлежностей); петли врезаются в дощечки, чтобы можно было их ставить на плоскость. Для измерения углов подкладывается бумажный круг с делениями или большой транспортир (применяемый для черчения на доске). Зеркала надо выбирать из возможно тонкого стекла. Размер зеркал безразличен, достаточно взять $15 \text{ см} \times 20 \text{ см}$.

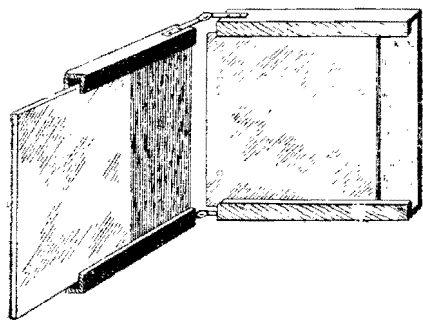


Рис. 245. Крепление плоских зеркал под углом.

Перед зеркалами ставят какой-либо предмет, например большой фарфоровый ролик, колбочку с подкрашенной водой и т. д.; лучше взять светящее тело — свечу или небольшую электролампу. Из даль-

нейшего (§ 26, 3) будет вытекать, что весьма полезно взять предмет, имеющий разный вид (разную окраску) с противоположных сторон, и эти стороны направить к разным зеркалам. Можно, например, закрыть лампочку цилиндром, склеенным из двух кусков тонкой бумаги разного цвета. Меняя величину угла между зеркалами и положение предмета, показывают, что число изображений меняется в зависимости от этих двух условий, именно: 1) число изображений тем больше, чем меньше угол; 2) сдвигая предмет в ту и другую сторону от биссектрисы угла, мы изменяем на единицу число изображений.

2. Замечания. Вопрос о числе изображений в зеркалах под углом занимает очень незначительное место в курсе школьной физики. Однако ввиду того, что обычно в учебниках этот вопрос решается неправильно (утверждается, что число изображений равно частному от деления 360° на число градусов в угле между зеркалами), полезно поручить кому-нибудь из учащихся вне классных занятий исследование этого вопроса.

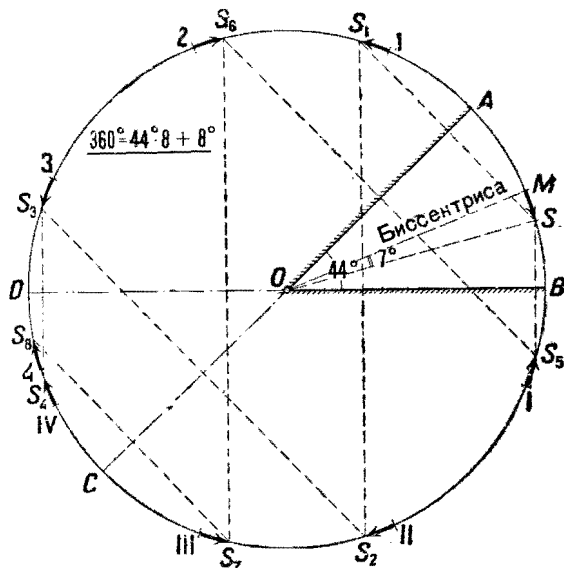


Рис. 246. Построение всех изображений для двух плоских зеркал под углом.

Достаточно легко выяснить, что число и положение всех изображений геометрически находятся путем следующего построения (рис. 246): дуга AB между зеркалами делится в точке M пополам, и дуга AB откладывается последовательно от точки M в обе стороны вдоль окружности, причем откладывание заканчивается в пределах угла COD (вертикального для угла AOB между зеркалами); тогда около каждой отложенной точки попеременно с одной и с другой стороны будет лежать изображение точки S на одном и том же расстоянии, равном дуге SM (рис. 246).

Если обозначить: через a число градусов в угле между зеркалами; через n — целое частное (или целую часть частного) от деления 360° на a° ; через $2q$ — остаток от этого деления и через $2p$ — дополнение этого остатка до числа a (т. е. $360^\circ = a \cdot n + 2q$ и $2q + 2p = a$), то все случаи могут быть представлены в следующей сводке (в скобках даны произвольные числовые примеры):

Угол между зеркалами	Частное n	Расстояние SM светящей точки от биссектрисы	Число изображений	Из всех изображений два
$a (= 60^\circ)$	целое четное (6)	любое	$n (= 6)$	совпадают
$a (= 40^\circ)$	целое нечетное (9)	более 0	$n (= 9)$	
		равно 0	$n (= 9)$	совпадают
$a (= 50^\circ)$	нечетное (7) с остатком $2q (= 10^\circ)$	меньше $q (5^\circ)$	$n + 1 (= 8)$	
		равно q	$n + 1 (= 8)$	совпадают
		больше q	$n (= 7)$	
$a (= 56^\circ)$	четное (6) с остатком $2q (= 24^\circ)$ и с дополнением $2p (= 32^\circ)$	меньше $p (16^\circ)$	$n (= 6)$	
		равно p	$n + 1 (= 7)$	совпадают
		больше p	$n + 1 (= 7)$	

При счете числа изображений сливающиеся (они видны в обоих зеркалах) считаются за два, а сам предмет не считается совсем.

3*. Исследование зеркал под углом. 1) Станочек для зеркал. 2) Два зеркала (не менее $3 \text{ см} \times 9 \text{ см}$). 3) Булавка. 4) Небольшой (бумажный) транспортир. 5) Красно-синий карандаш.

Два куса фанеры (размер зависит от величины зеркал) скрепляются под прямым углом при помощи брусочка (рис. 247). К одному куску прикладывается зеркало и укрепляется гвоздиками или шурупами. На другой кусок (он кладется на стол) приклеивается половина транс-

портيرا так, чтобы нулевой радиус шел вдоль отражающей поверхности зеркала, а центр совпадал с концом зеркала. Второе зеркало приставляется под нужным углом к первому зеркалу так, чтобы вертикальная линия их соприкосновения проходила через центр градусных делений. Чтобы подвижное зеркало не падало, надо вдоль линии соприкосновения вбить два гвоздика. В качестве предмета берется булавка с небольшим бумажным флажком, у которого одна сторона закрашена синим карандашом, а другая — красным. Флажок должен располагаться вдоль радиуса.

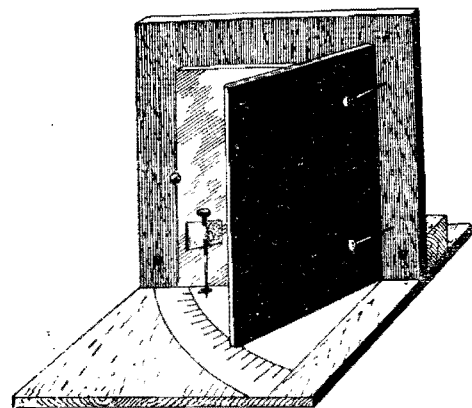


Рис. 247. Прибор для лабораторной работы с зеркалами под углом.

Меняя угол между зеркалами и положение булавки, считают число изображений сперва в одном, потом в другом зеркале, причем надо заглядывать в зеркала с разных мест, так как некоторые изображения лежат не только очень близко к линии соприкосновения зеркал, но и за этой линией (в пределах вертикального угла). Совпадающие изображения будут считаться за два, так как один раз изображение войдет в число синих, видимых в одном зеркале, а другой раз — в число красных, видимых в другом зеркале.

Зеркала должны быть тонкими.

4. Зеркало, дающее прямое изображение¹⁾.

1) Два зеркала под углом. 2) Часы карманные. 3) Книга.

Если смотреть в два зеркала, поставленные под прямым углом друг к другу, то видимый в зеркале человек имеет правый глаз на правой стороне лица. Циферблат часов,

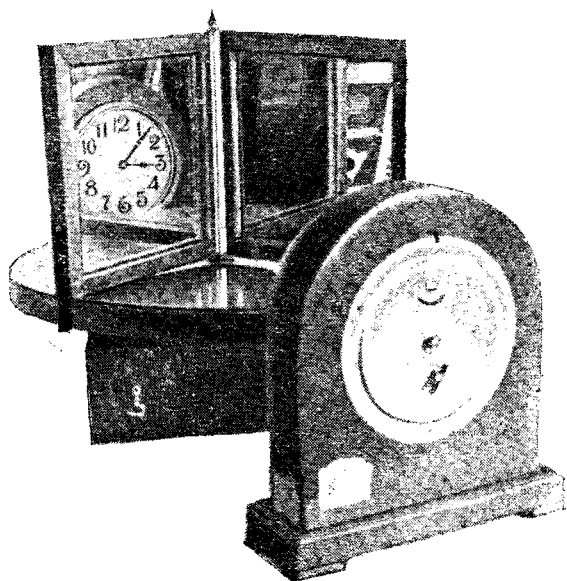


Рис. 248. Изображение в двух плоских зеркалах под прямым углом.

¹⁾ Прямым здесь названо изображение, представляющее собой копию изображаемого предмета, подобно фотокарточке

помещенных перед таким зеркалом, имеет свой обычный вид (рис. 248). Книгу, поставленную перед зеркалом, можно читать, как обычную печать.

Объясняется это явление тем, что мы видим не обычное изображение в зеркале (рис. 249), а полученное после двукратного отражения. Различие в ходе лучей и в получении изображения при одном плоском зеркале и при двух взаимно перпендикулярных зеркалах представлено на рисунке 250 I и II.

5. Калейдоскоп Брюстера. Прибор.

Если в физическом кабинете нет калейдоскопа фабричного изготовления (рис. 251), можно сделать этот прибор самостоятельно. Для этого склеивается картонная трубка ($d = 5-8$ см, $l = 15-18$ см); один конец заклеивается картонным кружком с отверстием ($d = 5$ мм). В трубку вставляются во всю длину полоски плоского зеркала (ширина на одном конце 4 см, на другом — 2 см; длина, как у трубки) под углом в 60° ; для укрепления зеркал

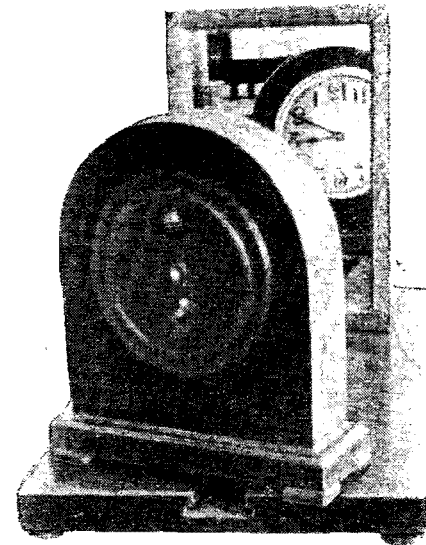


Рис. 249. Изображение в плоском зеркале.

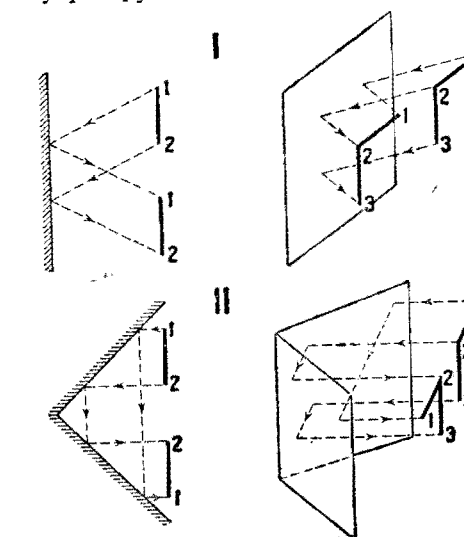


Рис. 250. Ход лучей в плоском зеркале (I) и в двух плоских зеркалах под прямым углом (II).

от ее концов две круглые перегородки с прорезами в форме равнобедренных треугольников со сторонами немного больше 2 см и меньше 4 см; расположение отверстий таково (рисунок 252), чтобы место сопри-

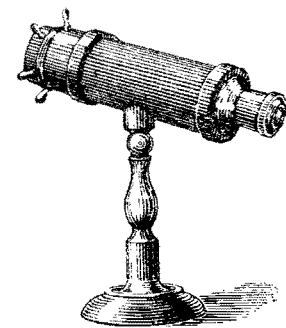


Рис. 251. Калейдоскоп (общий вид).

косновения зеркал пришлось на одном конце трубки около отверстия, на другом — около края (рис. 252). На открытый конец надевается

хорошо пригнанная трубка ($l = 5$ см), у которой в дно вклеено матовое стекло, затем вставлено картонное кольцо (прилегающее вплотную к стенкам), на кольцо положен стеклянный кружок и затем все это надето на открытый конец длинной трубки. Между двумя стеклами (расстояние 1 см) положено несколько самых

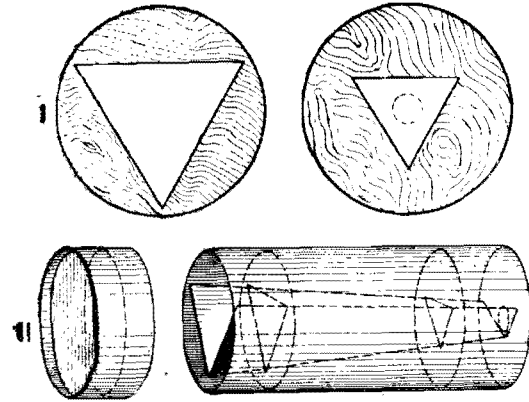


Рис. 252. Внутреннее устройство калейдоскопа.

разнообразных кусочков — завитушки из цветного стекла, кусочки цветной материи или бумаги, кусочек кружев и т. д., чем разнообразнее и затейливее по форме, тем лучше; очень много кусочков класть не следует. При наблюдении калейдоскоп направляют на яркий свет и вращают весь прибор для получения новых фигур. Кружочки из стекла вырезаются алмазом. Подбирают круглый невысокий предмет (коробочка, баночка) с диаметром примерно на 7—6 мм меньше, чем у вырезаемого кружочка. Прижав предмет к стеклу, приставляют к предмету оправу алмаза (такой стороной и с таким уклоном, как это требует данный инструмент) и затем обводят алмазом вокруг предмета, все время надрезая стекло. Прорезав алмазом несколько касательных к проведенной окружности, начинают осторожно и постепенно обламывать стекло вокруг кружочка; мелкие оставшиеся уголки удаляют плоскогубцами. При хорошо прорезанной линии удастся, ударяя ребром ручки алмаза, вызвать в одном месте прореза трещину и затем ее распространить такими же ударами на всю окружность; таким путем можно вынуть кружочек из остального стекла. Не следует брать стекло толще 1,5 мм.

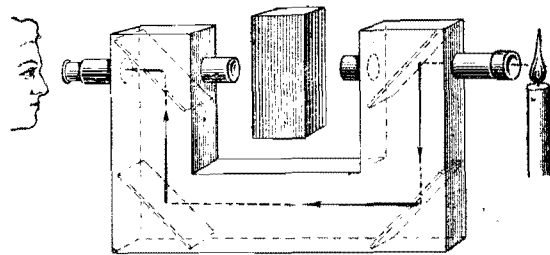


Рис. 253. Коленчатая труба.

6. Коленчатая труба.

1) Прибор. 2) Источник света. 3) Непрозрачное тело (кирпич, книга, металлическая пластина).

Устройство коленчатой трубы, сделанной из фанеры и картона, понятно (без описания) по рисунку 253. Внутри трубы помещены четыре плоских зеркала под углом в 45° к основному лучу зрения; пунктирная линия изображает ход лучей света.

Примечание. Во всех приборах, где лучи света испытывают многократное отражение от плоских зеркал (§ 26, 6, 7, 8), происходят сильное поглощение и искажение, особенно, если зеркала не отличаются прекрасными качествами; с обычными житейскими зеркалами изображения получаются слабые, мутные, искаженные. По этой

причине для получения хороших результатов в применяемых на практике приборах плоские зеркала заменяются призмами с полным внутренним отражением (§ 31, 7).

7. Перископ. Устройство перископа представлено на рисунке 254. В длинной коробке

причине для получения хороших результатов в применяемых на практике приборах плоские зеркала заменяются призмами с полным внутренним отражением (§ 31, 7).

7. Перископ. Устройство перископа представлено на рисунке 254. В длинной коробке

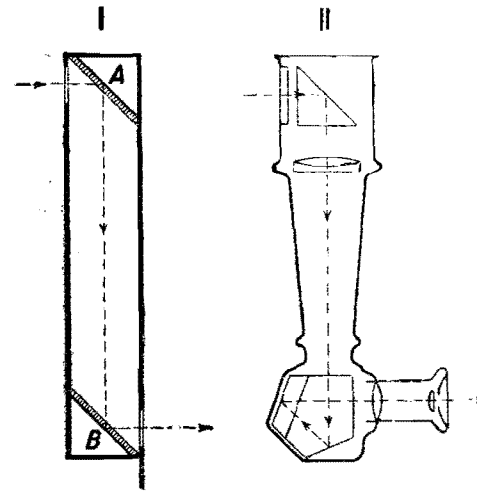


Рис. 254. Перископ с плоскими зеркалами (I) и с призмами (II).

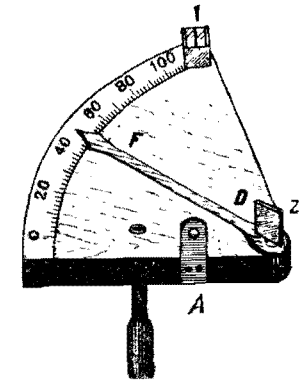


Рис. 255. Секстант (школьная модель).

(квадратного сечения) из фанеры укреплены два плоских зеркала, параллельные друг другу и образующие углы в 45° с продольной осью прибора (или две призмы полного внутреннего отражения). Ход лучей изображен пунктирной ломаной линией.

8. Секстант. Школьная или самодельная модель.

Секстант служит для измерения углов между двумя лучами зрения (до 120° , хотя деления на приборе до 60°); прибор использует свойство зеркала при своем повороте на некоторый угол поворачивать луч

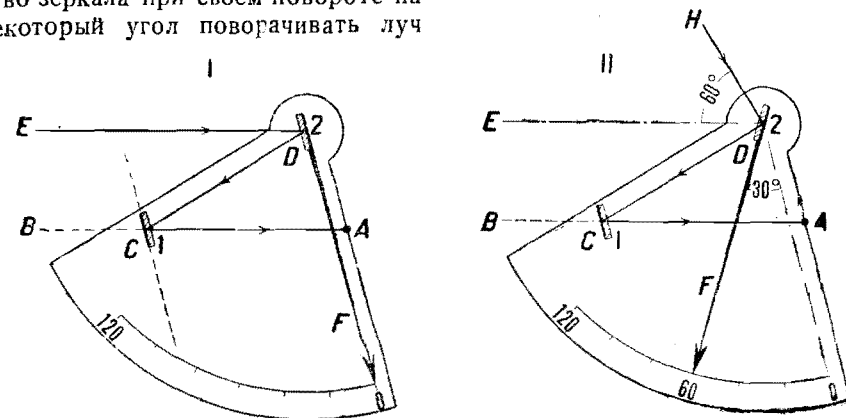


Рис. 256. Ход лучей в секстанте при наводке на горизонт (I) и на предмет с угловой высотой в 60° (II).

зрения на угол, вдвое больший. Школьная модель секстанта (с диоптрами вместо зрительной трубы) представлена на рисунке 255. Действие

прибора схематично изображено на рисунке 256. Через диоптр A с круглым отверстием ($d = 3-4$ мм) смотрят на отдаленный предмет (чаще всего на линию горизонта, когда измеряют высоту Солнца) по направлению AB . Это направление определяется волоском или линией C , нанесенной на стекле над зеркальцем I , неподвижно укрепленным в месте C так, чтобы луч ED , идущий от того же отдаленного предмета, параллельно лучу AB , после отражения от обоих зеркал 2 и 1 попал в отверстие A . При этом линейка DF (прямая DF совпадает с плоскостью зеркала 2) должна указывать нулевое деление шкалы. Не сдвигая прибора, вращаем линейку DF и скрепленное с ней зеркальце 2 вокруг оси D до того положения, когда в зеркальце I увидим второй отдаленный предмет (например Солнце), лежащий на направлении DH . Если линейка с зеркальцем повернулась на угол в 30° , то луч зрения DH отклонился от своего прежнего направления ED на вдвое больший угол в 60° ; на приборе

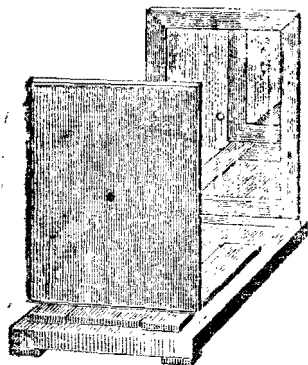


Рис. 257. Параллельные зеркала.



Рис. 258. Одно из двух параллельных зеркал заменено стеклом.

у делений наносятся эти двойные значения, так что отсчет прибора сразу дает угловое расстояние между двумя наблюдаемыми удаленными предметами.

9. Параллельные зеркала. 1) Два плоских зеркала. 2) Стекло. 3) Небольшая электролампа или свеча.

Приобретать специальный прибор с двумя параллельными зеркалами (рис. 257) не следует, так как опыт с таким же успехом можно показать на двух любых зеркалах. Их надо поставить вертикально на стол и между ними поместить светящее тело (свечу или электролампу). Смотреть надо

как в одно, так и в другое зеркало. Для удобства наблюдения можно (как это сделано в приборе на рисунке 257) посередине каждого зеркала проскоблить в зеркальном слое отверстие ($d = 5-8$ мм) и смотреть через эти отверстия. Опыт требует индивидуального наблюдения.

Для демонстрации сразу несколькими лицами можно зеркало, ближайшее к зрителям, заменить простым стеклом (рис. 258).

10. Множественность изображений в зеркале. 1) Зеркало из толстого стекла. 2) Кусок толстого зеркального стекла.

Каждое стекло и зеркало имеют две отражающие поверхности и потому дают вообще несколько изображений подобно параллельным зеркалам. Однако, чтобы заметить и показать эту множественность изображений, надо, во-первых, применять толстые стекла ($h = 1,5-2$ см).

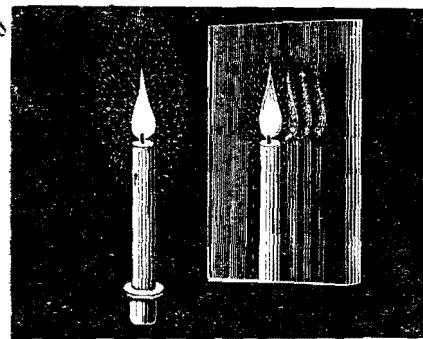


Рис. 259. Множественность изображений в зеркальном стекле.

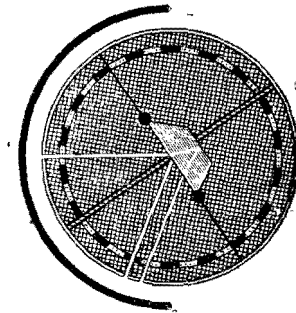


Рис. 260. Шайба Гартля (отражение от наружной и внутренней поверхностей стекла).

Во-вторых, необходимо смотреть не перпендикулярно к зеркалу, а под возможно меньшим углом к его плоскости. Для наблюдения надо взять предмет, оканчивающийся острием (рис. 259).

При сильном источнике света удастся показать два луча, отраженных от передней и задней поверхностей плоско-параллельной пластинки (рис. 260) на шайбе Гартля (рис. 180).

§ 27. Сферические зеркала.

1. Собираение и рассеивание лучей при помощи плоских зеркал. 1) Несколько зеркальных полосок на сгибаемой ленте. 2) Источник света. 3) Экран.

Несколько ($5-7$) полосок ($l = 5-7$ см, $b = 1$ см), нарезанных из стеклянного плоского зеркала, прикрепляются (все лучше пришить по концам при помощи резиновых шнурочков) к картонной, легко сгибаемой ленте ($l = 25$ см, $b = 7$ см); между соседними зеркальцами оставляются промежутки по 2 см (рис. 261).

Ленту с зеркалами держат около белого экрана и на зеркала направляют (от фонаря) пучок (желательно параллельный) света так, чтобы он не освещал экрана. Наклоном ленты с зеркалами отраженные лучи направляют на экран, где и появляется несколько (по числу зеркал) светлых полос. Не сгибая ленты, показывают отражение лучей от плоского зеркала; сгибая ленту в ту и другую сторону, воспроизводят

собираение лучей плоскими зеркалами, лежащими на вогнутой поверхности (рис. 262, I), и рассеивание лучей плоскими зеркалами, расположенными на выпуклой поверхности (рис. 262, II).

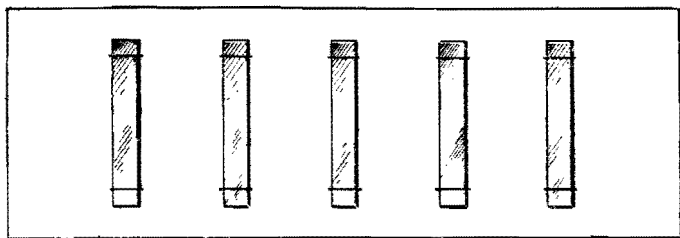


Рис. 261. Плоские зеркала на картоне.

Для данного опыта существует специальный прибор Остинга фабричного производства, состоящий из ряда (15) плоских зеркал ($b = 1$ см), свободно вращающихся около параллельных осей (рис. 263). Поворотом зеркал можно отраженные лучи направить как угодно.

2. Свойства цилиндрического зеркала. 1) Жестяная пластинка. 2) Источник света. 3) Экран.

Для перехода от ряда плоских зеркал к сферическим выясняются

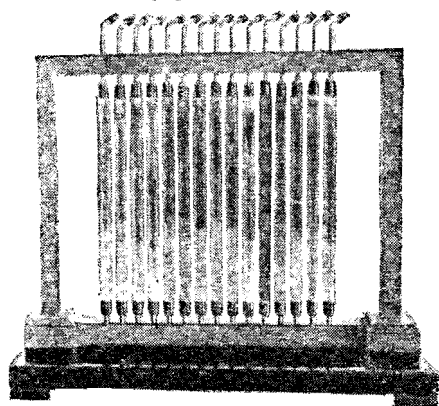


Рис. 263. Прибор Остинга.

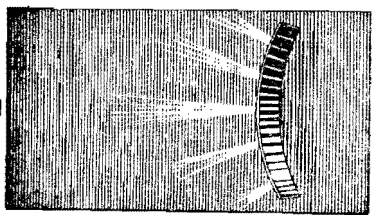
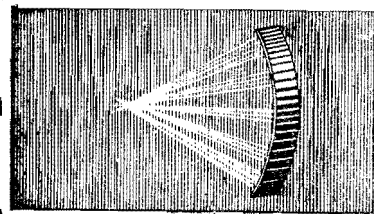


Рис. 262. Отражение от зеркальных волосок, расположенных по кривой линии.

свойства цилиндрического зеркала. Берется жестяная пластинка ($l = 10$ см; $b = 3$ см) или (что лучше) латунная, или цинковая, хорошо никелированная и закрашивается черным спиртовым лаком или клеивается черной бумагой так, чтобы осталось несколько (5—7) свободных полосок, — они будут выполнять роль зеркал. Подготовив пластинку, с ней повторяют предыдущий опыт.

Далее берут чистую металлическую пластинку (без черных полос) и снова повторяют тот же опыт, но на пластинку направляют несколько (3—5) отдельных лучей, полученных пропусканием света через ряд

щелей. Держа пластинку за края двумя пальцами (рис. 264), показывают отражение лучей в трех случаях, когда отражающая поверхность плоская, вогнутая и выпуклая.

3. Ход лучей в сферическом вогнутом зеркале. 1) Шайба Гартля. 2) Вогнутое зеркало (№ 2 из набора). 3) Источник света.

Вогнутое цилиндрическое зеркало (рис. 182, 2) при помощи одного или двух зажимных винтов укрепляется на шайбе так, чтобы: 1) середина зеркала лежала на нулевом диаметре и 2) главная оптическая ось зеркала совпадала с нулевым диаметром. Эта установка проверяется так: один падающий луч (открыта одна средняя щель) направляется вдоль нулевого диаметра на зеркало, а последнее поворачивается так, чтобы отраженный луч совпадал с падающим и вместе с тем с нулевым диаметром (рис. 265, I). После этой предварительной установки показывают три случая хода лучей.

Случай 1. Луч, проходящий через геометрический центр зеркала, после отражения идет по тому же направлению.

Поворотом ширмы и шайбы (§ 20, 2) направляют падающий луч через геометрический центр зеркала (рис. 265, II). Этот центр полезно отыскать заранее и наметить на шайбе, хотя можно найти его непосредственно во время опыта, пользуясь указанным свойством центра — отраженный луч совпадает с падающим. Опыт надо повторить с несколькими падающими лучами, направляя их на разные места зеркала.

Случай 2. Луч, идущий параллельно главной оптической оси, после отражения проходит через фокус (лежащий на середине радиуса).

Падающий луч направляют параллельно оптической оси, т. е. нулевому диаметру (рис. 265, III). Отраженный луч пересекает этот диаметр в фокусе зеркала. Эту точку надо отметить и показать, что фокусное расстояние равно половине радиуса. Опыт повторяют с несколькими лучами.

Случай 3. Луч, проходящий через фокус, после отражения идет параллельно главной оптической оси.

Падающий луч должен пройти через фокус, найденный в предыдущем опыте. Отраженный луч идет параллельно нулевому диаметру (рис. 265, IV). Часто положение фокуса определяется не совсем точно и поэтому целесообразнее в третьем случае установку производить по

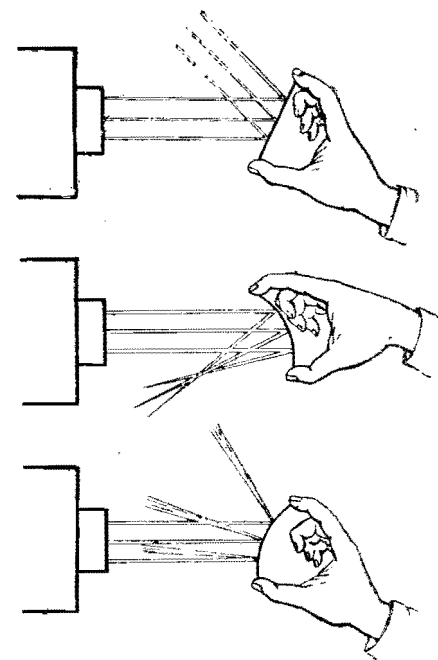


Рис. 264. Отражение от жестяной полоски.

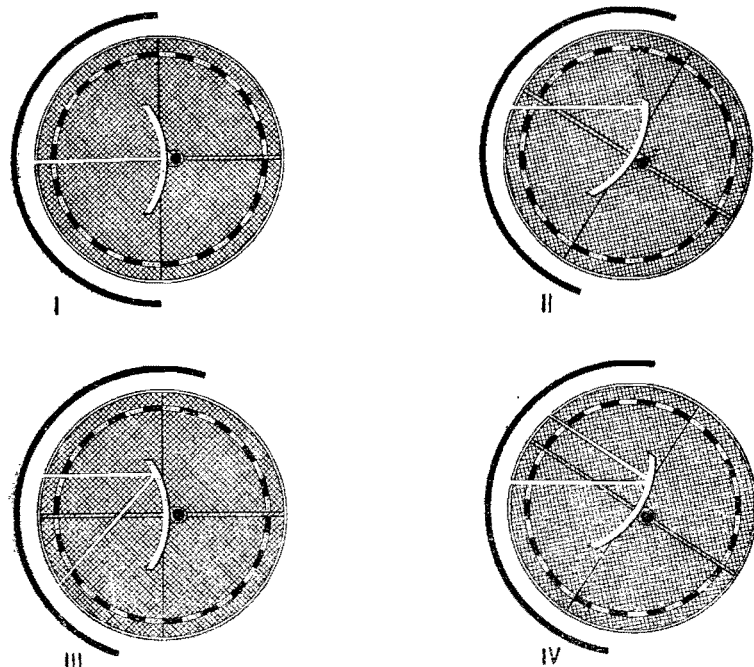


Рис. 265. Шайба Гартля (ход лучей в вогнутом зеркале).

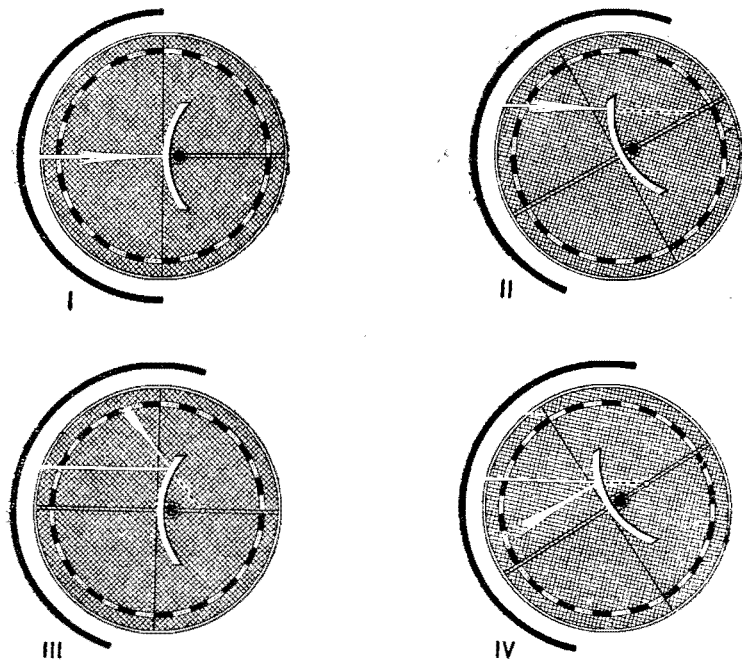


Рис. 266. Шайба Гартля (ход лучей в выпуклом зеркале).

отраженному лучу, направляя его параллельно нулевому диаметру. Опыт повторяют несколько раз.

Совершенно таким же образом описанные опыты производятся с прибором Кольбе (рис. 187).

4. Ход лучей в выпуклом зеркале. 1) Шайба Гартля (или прибор Кольбе). 2) Выпуклое зеркало (№ 3 из набора). 3) Источник света.

Выпуклое цилиндрическое зеркало устанавливается на шайбе так же и таким же приемом, как и вогнутое (опыт 3). При этом надо иметь в виду, что выпуклое зеркало рассеивает падающие на него лучи, поэтому на шайбе полоска отраженного света будет становиться все шире по мере удаления от зеркала. Такой отраженный луч можно проследить лишь на малом расстоянии (рис. 266, I). Демонстрируются три случая хода лучей.

Случай 1. Луч, продолжение которого проходит через геометрический центр зеркала, после отражения идет по тому же направлению.

Поворотом ширмы и шайбы направляют падающий луч так, чтобы отраженный луч совпал с падающим. Повторив такую установку несколько (3—4) раз, убеждаются, что продолжения падающих лучей за зеркало проходят через одну и ту же точку — геометрический центр зеркала (рис. 266, II). Полезно положение центра заранее наметить на шайбе.

Случай 2. Если падающий луч идет параллельно главной оптической оси (или соответственно основной установке — параллельно нулевому диаметру), то продолжение отраженного луча проходит через мнимый фокус, лежащий за зеркалом (на главной оси) на середине радиуса (рис. 266, III). Положение фокуса полезно заранее отметить карандашом на шайбе.

Случай 3. Луч, продолжение которого проходит через фокус, после отражения идет параллельно главной оптической оси.

Щель и шайбу устанавливают так, чтобы отраженный луч шел параллельно нулевому диаметру; тогда при всех повторениях этой установки продолжения падающих лучей за зеркало пройдут через одну и ту же точку — фокус зеркала (рис. 266, IV), положение фокуса было найдено в случае 2.

5. Собираение и рассеивание лучей сферическими зеркалами. 1) Шайба Гартля (или прибор Кольбе). 2) Вогнутое и выпуклое зеркала. 3) Источник света.

Установив вогнутое зеркало на шайбе, открывают несколько щелей (3 или 5) и направляют пучок параллельных (или слабо расходящихся) лучей на зеркало вдоль его оптической оси; все отраженные лучи сходятся в одной точке — в фокусе зеркала или близ него (рис. 267, I).

В случае выпуклого зеркала отраженные лучи расходятся во все стороны, но если все лучи продолжить за зеркало, то эти продолжения тоже сойдутся в одной точке — в мнимом фокусе зеркала (рис. 267, II) или близ него (если падал пучок слабо расходящихся лучей).

Если взять пучок сильно расходящихся лучей (§ 25, 1 и 2) так, что можно наметить положение светящей точки, лежащей недалеко от шайбы, то точка, где сойдутся лучи, отраженные от вогнутого зеркала, будет являться действительным изображением светящей точки (рис. 267, III),

или точка, где сойдутся продолжения лучей, отраженных от выпуклого зеркала, будет служить мнимым изображением светящей точки (рис. 267, IV).

6. Сферическая абберация — см. опыт 5.

В опыте 5 применялись центральные лучи, идущие параллельно оптической оси (или под небольшим углом к ней) и падающие на зеркало недалеко от его середины. Повторяют тот же опыт, но берут крайние лучи, падающие на края зеркала далеко от его середины (в этом случае нулевой диаметр уже не совпадает с оптической осью). Опыт показывает, что при таком условии отраженные лучи в случае

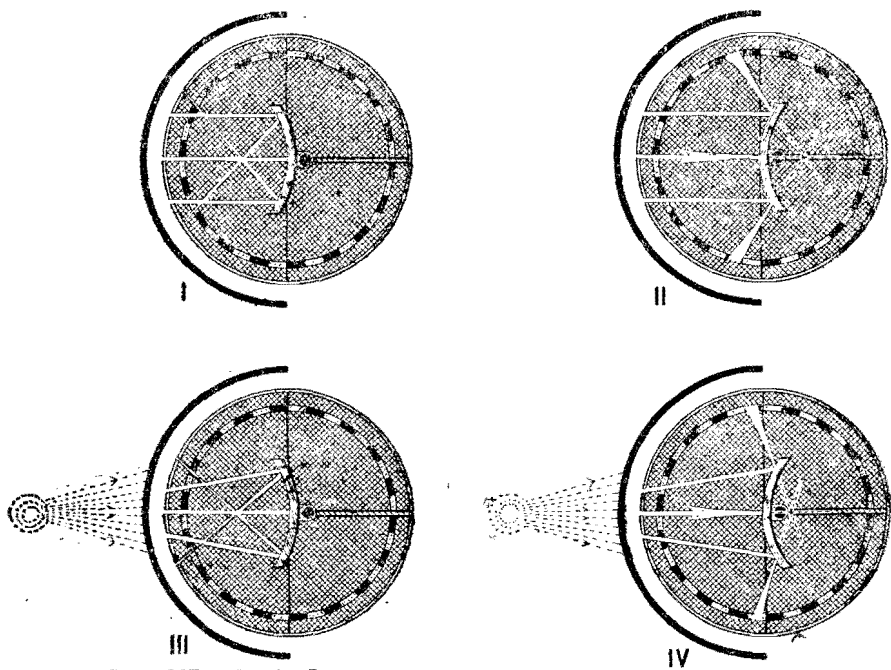


Рис. 267. Шайба Гартля (ход лучей в сферических зеркалах).

вогнутого зеркала (рис. 268, I) и продолжения лучей в случае выпуклого зеркала (рис. 268, II) не сходятся в одной точке, обнаруживая явление сферической абберации. При этом надо показать, что чем более к краю падает луч, тем ближе к зеркалу идет отраженный луч. Чтобы легче было отличать лучи друг от друга, полезно сделать лучи разноцветными, вставив на место вынутых задвижек полоски цветных стекол.

Если на вогнутое зеркало падают не отдельные лучи, а целый поток света шириной во все отверстие зеркала, то вследствие абберации все точки пересечения соседних отраженных лучей располагаются на так называемой фокальной поверхности характерной формы с остроконечной вершиной, лежащей в фокусе зеркала. Пересекая фокальную поверхность плоскостью экрана, получим в сечении кривую особой формы (рис. 269); эта кривая называется каустической

(зажигательной). Ее можно увидеть, если направить солнечные лучи на вогнутую жестяную полоску, поставленную на лист бумаги, или осветить внутренность полированного круглого сосуда.

7. Предметы для наблюдения изображений. При демонстрации изображений, даваемых сферическими зеркалами и линзами, необходимо иметь предмет, самосветящийся или хорошо освещенный другим источником света.

В качестве предмета всего проще взять пламя стеариновой свечи. Удобно применять накаленный волосок электрической лампы. В этом

отношении были хороши угольные лампочки с волоском, закрученным в спираль (т. III, рис. 380). В настоящее время приходится пользоваться лампами со спиральным волоском, имеющим форму подковы (т. III, рис. 374, II). Такую лампу надо так устанавливать, чтобы плоскость подковы была перпендикулярна к лучам зрения. Все перечисленные самосветящиеся предметы обладают тем недостатком, что отдельные светящиеся части их лежат в разных плоскостях и потому не дают одновременно одинаково четких изображений.

В качестве предмета удобно применять источник света, состоящий из четырех маленьких электроламп (рис. 213).

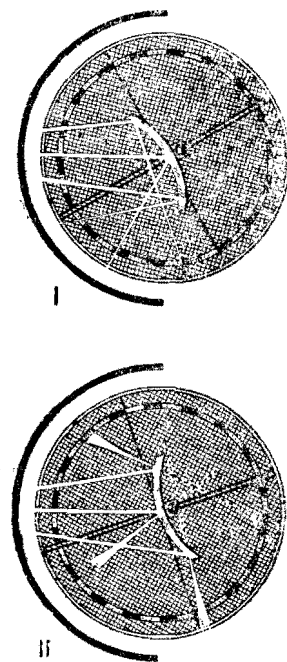


Рис. 268. Шайба Гартля (сферическая абберация при отражении от сферических зеркал).

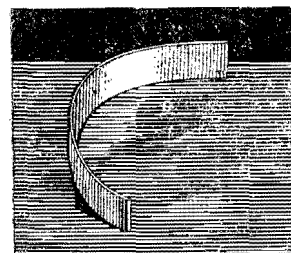


Рис. 269. Каустическая линия.

Гораздо лучше, особенно для лабораторных работ, взять в качестве источника света электрическую кинолампочку на 12 в и вместе со специальным стеклянным рефлектором поместить в жестяной сосуд — цилиндрической или, что лучше, прямоугольной формы (вроде фонаря). Во избежание чрезмерного нагревания полезно сделать внизу и сверху в боковых стенках ряд отверстий для вентиляции, но тогда надо устроить двойные дно и крышку, чтобы свет не мог пройти непосредственно через отверстия (рис. 270). В передней стенке делается отверстие (2,5 см × 5 см), закрываемое куском матового стекла; на стекле (на матовой стороне) тушью или черным лаком рисуется какая-нибудь простая фигура, например крест, стрела (рис. 271, I), квадрат, сетка пересекающихся прямых и т. д. Можно вдоль стекла натянуть крест

нитей из волоса или тонкой проволоки. Матовое стекло можно заменить молочным или белой бумагой (если нагревание не очень сильно). Очень хорошие результаты дает проволочная (латунная или железная) сетка, затягивающая отверстие (рис. 271, II). Размер квадратных ячеек сетки можно брать разный ($b = 0,5—2 \text{ мм}$). Можно сделать круглое отверстие ($d = 1 \text{ см}$) с ровными краями и заклеить его белой бумагой; полученный белый кружок будет служить предметом. Полезно на отверстии натянуть крест нитей. Если лампочка закрыта жестяным цилиндром, то можно пробить или просверлить в стенке ряд дырочек ($d = 1—2 \text{ мм}$), образующих какую-нибудь фигуру (рис. 271, III). Все симметричные фигуры—крест, квадрат, круг, сетка—пригодны лишь для опытов, где качественная сторона явления не разбирается, а производится лишь измерение, напри-

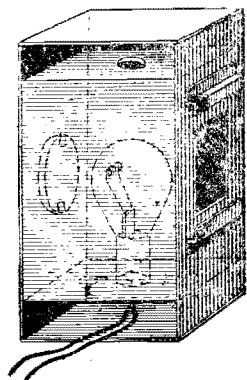


Рис. 270. Футляр для лампочки у оптической скамьи.

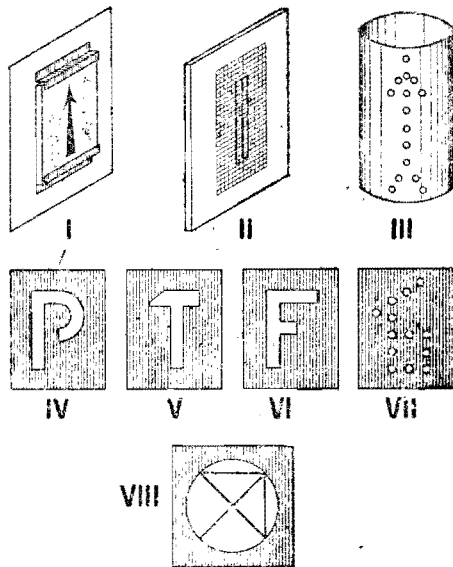


Рис. 271. Типы предметов для получения изображений.

мер, фокусного расстояния. Там же, где хотят выяснить различие прямого и обратного изображений, необходимо применять несимметричные фигуры (рис. 271, IV—VII) или натянуть нити с наклонной осью симметрии (рис. 271, VIII). Тогда можно будет показать, что при обратном изображении верх оказывается внизу и правая сторона—слева.

Тщательно закрывать источник света со всех сторон приходится, когда в одной комнате несколько групп учащихся производят лабораторные работы по оптике. Но даже в таком случае бывает достаточно окружить источник защитой с боков, не закрывая его сверху; при таком устройстве футляра почти отсутствует его нагревание.

8. Получение изображений в сферических зеркалах. 1) Сферические зеркала—вогнутое и выпуклое. 2) Предмет для получения изображения. 3) Просвечивающий экран.

Для получения изображений применяются сферические зеркала с фокусным расстоянием в 30—40 см с отверстием в 10—12 см. Зеркала

продаются в круглой деревянной оправе, и обычно вогнутое и выпуклое бывают соединены в одной оправе, будучи сложены вместе задними сторонами (рис. 272). Пользоваться более короткофокусными зеркалами для классных демонстраций весьма неудобно. Для лабораторных работ еще возможно брать маленькие вогнутые зеркала с фокусным расстоянием в несколько сантиметров (менее 5); таковы, например, рефлектор для киноламп; таковы зеркала, сделанные самодельно (путем серебрения или зачернения) из часовых стекол.

Для лабораторных работ со сферическими зеркалами (§ 27, 10) и с линзами (§ 36, 4—5) нужна оптическая скамья; при классной демонстрации вполне можно обойтись без нее.

Предмет (электроламп), сферическое зеркало и экран на отдельных подставках размещают на демонстрационном столе (рис. 273) и показывают следующие случаи изображения.

Случай 1. Предмет лежит от зеркала дальше двойного фокусного расстояния (т. е. дальше геометрического центра), — изображение действительное, обратное, уменьшенное и лежит между фокусом и центром.

Предмет и его изображения не должны лежать на главной оптической оси, так как при таких условиях экран, где получается изобра-



Рис. 272. Сферическое зеркало.

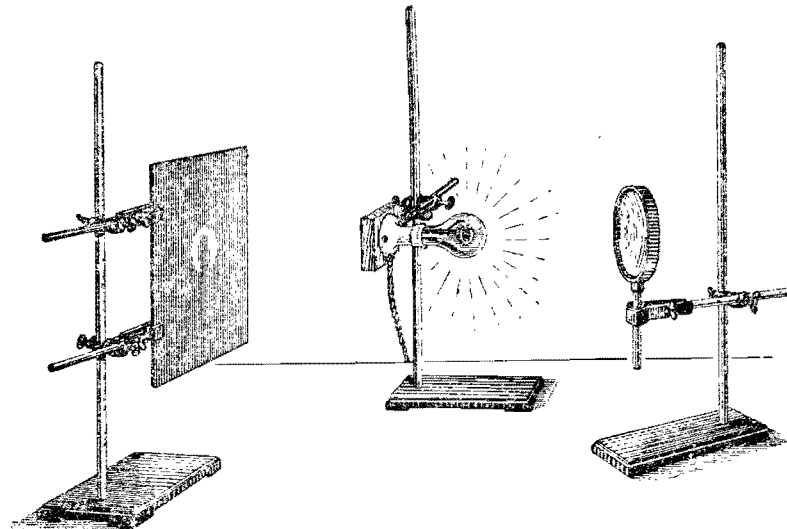


Рис. 273. Получение изображения при помощи сферического зеркала.

жение, заслонял бы свет, идущий от предмета; поэтому необходимо зеркало несколько повернуть и направить отраженные лучи в сторону от падающих (рис. 274). Чтобы это отклонение во избежание сферической аберрации было невелико, приходится изображение проекти-

ровать на самый край экрана; поэтому экран не должен (хотя бы с одной стороны) иметь рамки (на рисунках 273 и 274 для удобства изображения отклонение лучей взято большое).

Случай 2. Предмет лежит между центром и фокусом — изображение действительное, обратное, увеличенное и лежит за центром.

Приходится с экраном выходить за пределы стола и проектировать изображение на самую отдаленную стену.

Случай 3. Предмет лежит между фокусом и зеркалом — изображение мнимое, прямое, увеличенное и лежит за зеркалом.

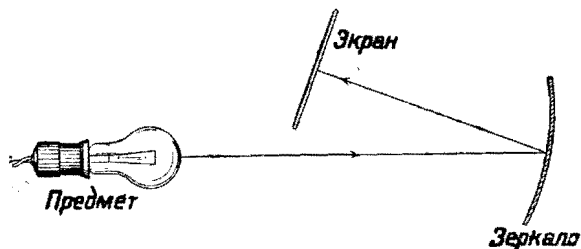


Рис. 274. Установка экрана в опыте со сферическим зеркалом.

В этом случае на экране нельзя получить изображение ввиду его мнимости, поэтому необходимо направить зеркало отверстием к учащимся и перед зеркалом (ближе фокуса) поместить предмет. Учащиеся увидят его изображение в зеркале; всему классу сразу увидеть это изображение нельзя, и надо зеркало поворачивать, направляя его отверстие в разные части класса (примерно достаточно трех отдельных установок). Можно также передать зеркало в руки учащимся, чтобы они индивидуально увидели свое изображение в зеркале.

Случай 4. Предмет находится в центре — изображение действительное, обратное, равное и находится также в центре.

Этот случай дает приближенный способ определения радиуса (а значит, и фокусного расстояния) зеркала. Установка сводится к отысканию таких условий, когда изображение (резкое) получается на экране, помещенном рядом с предметом (на одинаковых расстояниях от зеркала). Это расстояние предмета или экрана от зеркала и дает его радиус.

Случай 5. Предмет в фокусе — получается пучок параллельных отраженных лучей; никакого изображения нет.

Случай представляет собой пример применения зеркала в качестве рефлектора.

Случай 6. На зеркало падает пучок параллельных лучей — все отраженные лучи сходятся в фокусе.

В этом случае всего лучше пользоваться солнечным светом и при помощи небольшого кусочка белой бумаги поймать на нем изображение Солнца. Таким путем мы найдем положение фокуса зеркала и получим возможность измерить его фокусное расстояние.

Если зеркало имеет достаточное отверстие (около 10—20 см), то можно продемонстрировать зажигание Солнцем тел (спички, бумаги темного цвета, лучинки, куски киноленты), помещенных в фокусе зеркала.

В этом опыте можно показать также ход пучка падающих и отраженных лучей в воздухе, применив один из приемов обнаруживания лучей в воздухе — запыление воздуха дымом или помещение белой

В этом случае на экране нельзя получить изображение ввиду его мнимости, поэтому необходимо направить зеркало отверстием к учащимся и перед зеркалом (ближе фокуса) поместить предмет. Учащиеся увидят его изображение в зеркале; всему классу сразу увидеть это изображение нельзя, и надо

бумаги в разных местах пучка (светлое пятнышко на бумаге будет указывать размер поперечного сечения пучка).

9. Оптический обман. 1) Вогнутое зеркало (с большим отверстием). 2) Букет искусственных цветов. 3) Вазочки для цветов. 4) Ящик или коробка. 5) Электролампа.

Перед вогнутым зеркалом на расстоянии его радиуса ставится ящик отверстием к зеркалу (рис. 275); на ящик помещают пустую вазу для цветов. Внутри ящика под верхней его крышкой укрепляют букет цветов стеблями вверх; ящик внутри окрашивается черной матовой краской. Букет со стороны зеркала освещается электролампой. Середина (по высоте) вазы должна лежать на одном уровне с серединой зеркала. Зеркало устанавливают так, чтобы действительное изображение букета оказалось расположенным как раз над вазой. Если смотреть на зеркало спереди (по направлению примерно его оптической оси), то кажется, что в вазе стоит реальный букет.

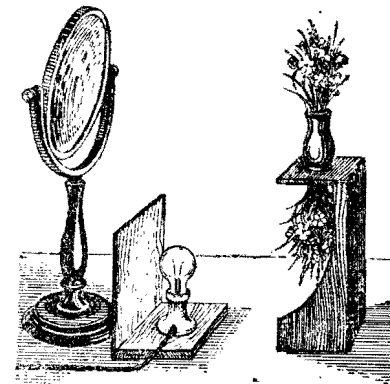


Рис. 275. Оптический обман.

Установку надо выполнять вдвоем; один устанавливает зеркало по указаниям другого, наблюдающего одновременно за изображением в зеркале. При наблюдении с разных мест эффект получается не везде одинаково хороший, поэтому полезно заранее наметить место, с которого опыт удастся всего лучше.

10*. Исследование сферических зеркал. 1) Оптическая скамья с тремя ползунками. 2) Источник света. 3) Вогнутое и выпуклое зеркала. 4) Экран.

Лабораторная работа со сферическими зеркалами состоит в повторении опытов 8 самими учащимися. В этом случае необходимо применять оптическую скамью упрощенного типа. Демонстрационные скамьи, обычно связанные с фонарем (§ 20, 6), для лабораторных работ не пригодны из-за своей дороговизны и громоздкости. Конструкции упрощенных скамей описаны раньше (§ 20).

11*. Определение фокусного расстояния сферических зеркал. 1) Оптическая скамья с тремя салазками. 2) Источник света. 3) Сферическое зеркало. 4) Экран.

Случай 1. Поместив вогнутое зеркало и предмет у концов оптической скамьи, между ними устанавливают экран и перемещают его до тех пор, пока на нем не получится наиболее отчетливое, резкое (уменьшенное) изображение предмета. Измеряют по шкале два расстояния: 1) d — расстояние предмета от зеркала и 2) f — расстояние экрана от зеркала. По двум найденным расстояниям вычисляют фокусное расстояние F зеркала по формуле:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}.$$

Полезно измерение повторить при иных расстояниях и при расположении зеркала и экрана на концах скамьи (изображение будет увеличенное).

Случай 2. Предмет и экран заменяют вязальными спицами такой высоты, чтобы они кончались на уровне оптической оси зеркала. Установив зеркало и перед ним одну спицу, отыскивают действительное

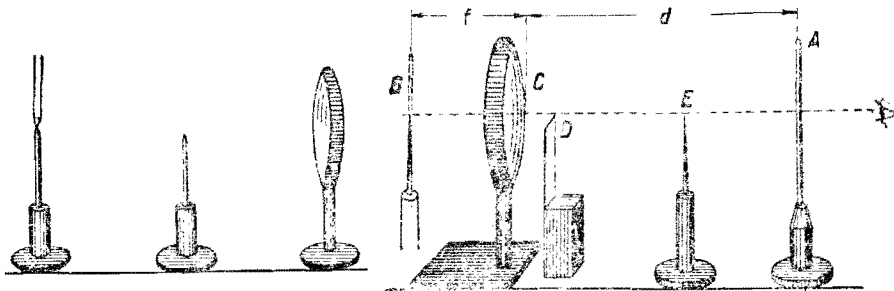


Рис. 276. Нахождение изображения в вогнутом сферическом зеркале по способу параллакса.

обратное изображение спицы в зеркале и устанавливают вторую спицу в таком месте, чтобы ее конец как раз соприкасался с концом обратного изображения первой спицы (рис. 276). Совпадение концов проверяют по способу параллакса (§ 25, 5). Далее поступают, как в случае 1.

Случай 3. Для определения фокусного расстояния выпуклого зеркала перед зеркалом помещают большую спицу A и в зеркале видят ее уменьшенное изображение B (рис. 277). Чтобы найти его расстояние (BC) от зеркала, перед зеркалом ставят плоское зеркало D и устанавливают вторую, но маленькую спицу (или иглу) E в таком месте, чтобы ее изображение в плоском зеркале совпало с изображением B ; совпадение проверяется способом параллакса (§ 25, 5). Когда эта установка выполнена, измеряют расстояния: 1) предмета от зеркала $d = AC$; 2) расстояния CD и DE ; тогда расстояние изображения от зеркала:

$$f = BC = BD = CD = DE - CD,$$

так как для плоского зеркала $BD = DE$. Найдя d и f , вычисляют фокусное расстояние по формуле:

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{f} = -\frac{1}{F}.$$

Случай 4. Радиус выпуклого зеркала можно определить по способу огоньков с прибором Гримзеля (рис. 278). Две небольшие электролампочки A и B (т. III, рис. 381) устанавливают на расстоянии около 20 см друг от друга. Посередине между ними помещают объектив O зрительной трубы или, как в приборе Гримзеля, два отдельных стекла — объектив O и окуляр K ; Гримзель рекомендует

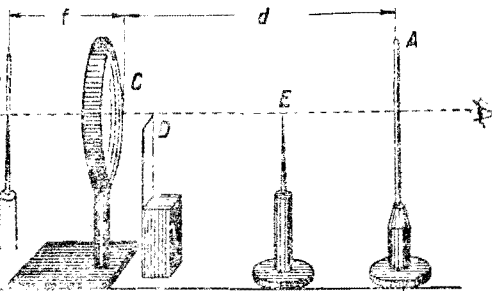


Рис. 277. Определение фокусного расстояния выпуклого сферического зеркала по методу параллакса.

стекла с фокусными расстояниями в 10 и 5 см (+10 и +20 диоптрий). На расстоянии около 2 м от лампочек ставят выпуклое зеркало M и вплотную перед ним (на высоте центра) линейку N , разделенную на миллиметры. Наблюдая в зрительную трубу, видят в зеркале два

уменьшенных изображения a и b нитей лампочек A и B (рис. 279). По линейке определяют расстояние l ($= CD$) между точками C и D — пересечения лучей зрения с линейкой. Затем измеряют расстояние L ($= AB$) между нитями лампочек и расстояние d ($= OE$) от линии AB до линейки E . На основании этих трех найденных расстояний (l , L и d) вычисляется радиус зеркала при помощи трех уравнений:

1) из подобия треугольников OCD и Oab :

$$\frac{ab}{l} = \frac{d+f}{d}, \quad (1)$$

где введено обозначение $EK = f$;
2) из подобия треугольников ABE и abE :

$$\frac{ab}{L} = \frac{f}{d}; \quad (2)$$

3) формула выпуклого зеркала:

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{f} = -\frac{2}{r}. \quad (3)$$

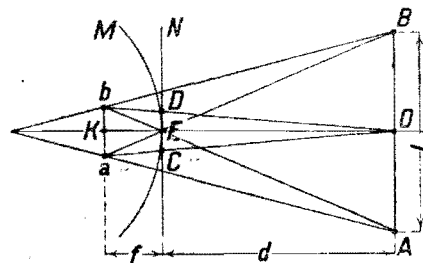


Рис. 279. Чертеж хода лучей для метода огоньков.

Из формул (1) и (2) получаем:

$$\frac{L}{l} = \frac{d+f}{f};$$

отсюда:

$$\frac{1}{f} = \frac{L-l}{dL};$$

подставляя это выражение в уравнение (3), находим:

$$\frac{1}{d} - \frac{L-l}{dL} = -\frac{2}{r},$$

$$\text{или } \frac{2}{r} = \frac{L-2l}{dL},$$

откуда

$$r = \frac{2dL}{L-2l}.$$

По этой формуле вычисляется радиус r выпуклого зеркала.

§ 28. Кривые зеркала.

1. **Цилиндрическое круглое зеркало.** С таким зеркалом мы встречались в наборе для шайбы Гартля (рис. 182, 2 и 3). Выпукло-цилиндрическое зеркало дает (мнимое) изображение в натуральную величину по направлению образующей и уменьшенное по перпендикулярному к ней направлению, поэтому предмет в таком зеркале искажается. Это можно увидеть в цилиндрической никелированной посуде (например в самоваре). Можно нарисовать такой искаженный рисунок, что при рассмотрении его в выпуклом цилиндрическом зеркале получается правильная картина (рис. 280). Образцом зеркала может служить посеребренный сосуд Дьюара (например из термоса).

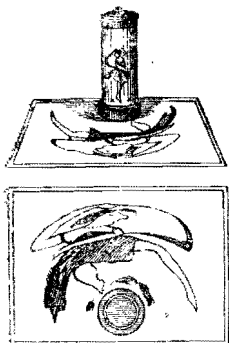


Рис. 280. Цилиндрическое зеркало.

2. **Коническое круглое зеркало.** В физических кабинетах прежде встречалось стеклянное выпуклое коническое зеркало с приложением рисунков, изображающих непонятную, невероятно искаженную картину; но при рассматривании этих рисунков в зеркале представляется все в нормальном виде (рис. 281)). Гримзель применил (металлическое) коническое зеркало в своем приборе на преломление (рис. 320). Картины для цилиндрического и конического зеркал рисуются путем рассматривания создаваемого рисунка в зеркале.

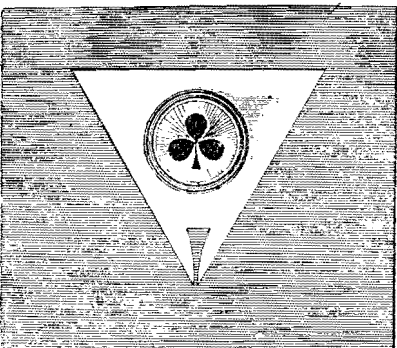
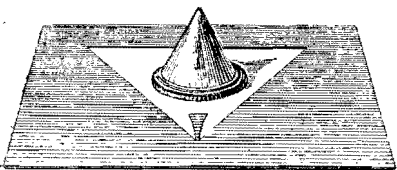
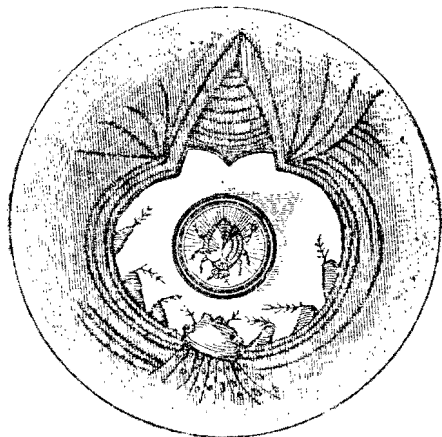


Рис. 281. Коническое зеркало.



3. **Цилиндрическое эллиптическое зеркало.** Лучи, вышедшие из одного фокуса такого зеркала, сходятся в одной точке — во втором фокусе зеркала (рис. 282, I). Такое зеркало применено в упрощенной модели епископа (т. I, § 89). Можно показать свойства эллиптического зеркала, сделав его из жести.

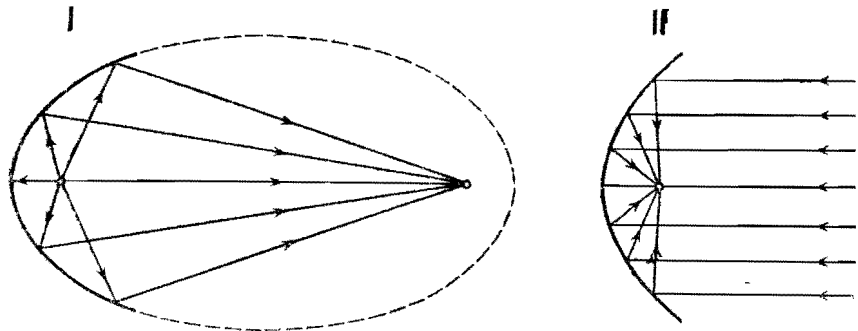


Рис. 282. Ход лучей в эллиптическом (I) и параболическом (II) зеркалах.

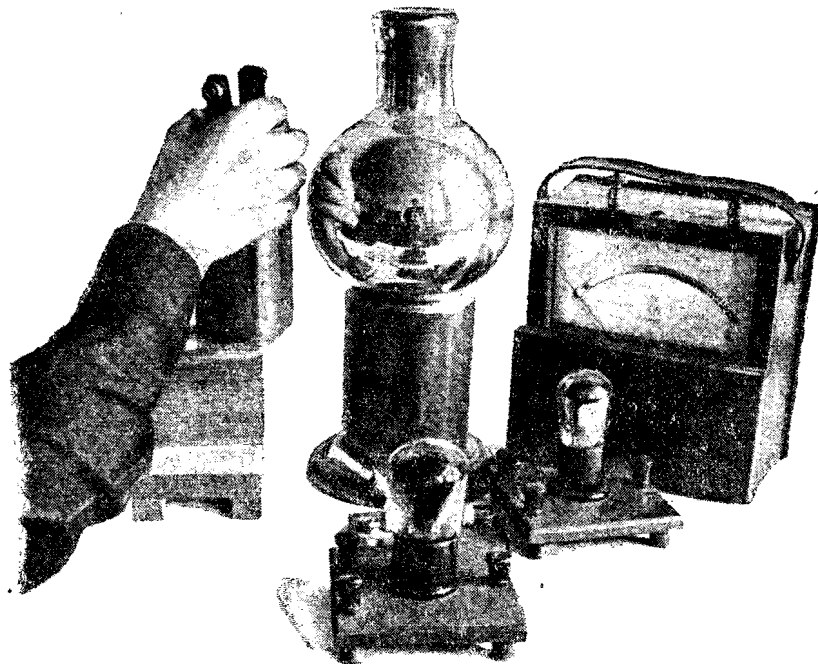


Рис. 283. Шаровое зеркало (сосуд Дьюара).

4. **Цилиндрическое параболическое зеркало.** Параллельные лучи, падающие на такое зеркало вдоль его оси, все сходятся на одной линии — в фокусе параболы (рис. 282, II). Такие зеркала применяются в солнечных двигателях. Модель параболического зеркала делается из жести.

5. **Шаровое зеркало.** Примерами такого зеркала служат: шарик от шарикоподшипника; стеклянный посеребренный шар (применяемый для украшения в парках); никелированный шар от кровати; посеребренная колба (сосуд Дьюара) (рис. 283). В стальном полированном шарике, положенном на стол в комнате, отображается вся комната.

одного фокуса такого зеркала, сходятся в одной точке — во втором фокусе зеркала (рис. 282, I). Такое зеркало применено в упрощенной модели епископа (т. I, § 89). Можно показать свойства эллиптического зеркала, сделав его из жести.

ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА.

§ 29. Опыты по преломлению света.

1. Замечание. Все опыты, связанные с преломлением света, разделены на две группы: 1) опыты качественного характера без каких-либо измерений (§ 29) и 2) опыты, сопровождаемые измерениями (§ 30). Во вторую же группу отнесены лабораторные работы (§ 32), как требующие производства измерений. Само собой разумеется, что большинство приборов и установок, предназначенных для измерений и описанных только во второй группе, вполне могут быть использованы для качественных демонстраций.

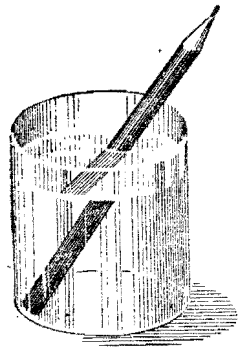


Рис. 284. Кажущийся излом предмета в воде.

Преломленными лучами обычно называют ту часть световых лучей, которая (§ 24), пройдя через поверхность тела, или идет внутри него, или выходит из тела, пройдя сквозь него. Если поверхность тела ровная (зеркальная), то происходит правильное преломление (направление преломленного луча зависит от угла падения). Тело является прозрачным, если сквозь него видно (можно читать печать). Если поверхность тела шероховатая (как у матового стекла), то происходит рассеянное преломление, и тело называют просвечивающим: через него свет проходит, но видеть (читать) нельзя.

2. Кажущийся излом предмета, погруженного в воду. 1) стакан с водой. 2) Карандаш.

Карандаш ставят в стакан с водой так, что часть карандаша выдается из воды. Если смотреть сверху, карандаш кажется сломанным на уровне воды (рис. 284).

3. Кажущаяся глубина водоема. 1) Тазик (эмалированный). 2) Плоский предмет (монета, шайба).

Берут сосуд (с непрозрачными стенками) и кладут на его дно какой-нибудь плоский, хорошо заметный предмет (например монету, металлическую шайбу, фарфоровый ролик и т. п.). Сосуд по отношению к учащимся (сразу всему классу опыт невиден) ставят так, чтобы предмет не был виден, будучи загорожен от наблюдателя краями стенок; необходимо только, чтобы предмет лежал лишь немного ниже луча зрения, идущего вдоль края стенок (рис. 285). Если в сосуд налить воды, то наблюдатели увидят предмет, так как вследствие преломления он будет казаться лежащим выше своего положения.

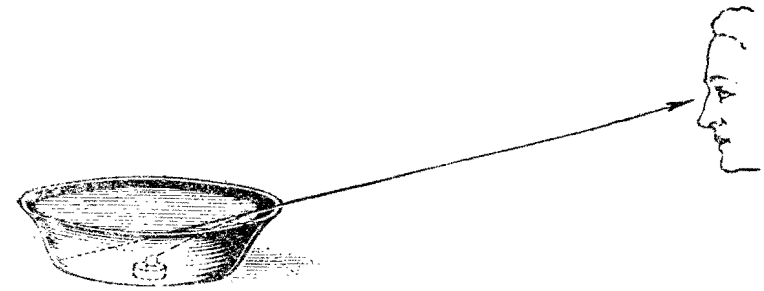


Рис. 285. Кажущееся поднятие предмета в воде.

Сосуд будет казаться менее глубоким, подобно пруду и реке, которые кажутся более мелкими, чем в действительности. Кажущаяся глубина составляет примерно три четверти натуральной.

4. Опыт Тиссандье. 1) стакан с водой. 2) Источник света. 3) Щель. 4) Экран.

Берут стеклянный сосуд с ровным дном. Если подходящего стакана не найдется, всего лучше взять небольшую кристаллизационную чашку. В нее надо налить воды до половины. Держа чашку в наклонном положении (рис. 286), надо направить на поверхность воды наклонный луч света в виде полоски, пропущенной через щель. В качестве

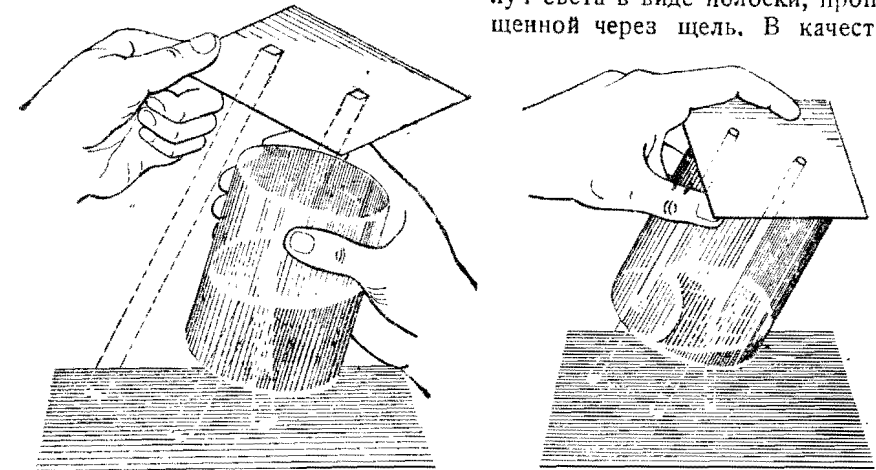


Рис. 286. Опыт Тиссандье.

источника можно взять электролампу с однопитным волоском (рис. 165). Если применяют проекционный фонарь, то щель помещают у самого фонаря, а луч направляют наклонно на поверхность воды при помощи плоского зеркала. Надо взять щель такой длины или две щели рядом, чтобы свет проходил как помимо воды, так и через воду в сосуде. Тогда путь второго луча окажется сломанным, и на экране след этого луча будет сдвинут по сравнению с первым.

5. Зависимость преломления от угла падения. 1) Слянка с параллельными стенками. 2) Источник света. 3) Вода.

Для опыта нужен сосуд с плоско параллельными стенками, но достаточно широкий. Годится аптекарская склянка с плоскими стенками, лишь бы стекло было более или менее ровное. Весьма удобен сосуд от опыта Плато. Одну стенку склянки заклеивают черной бумагой со щелью ($b = 5$ мм) посередине во всю длину стенки. В склянку наливают воды до половины и освещают со стороны заклеенной стенки (рис. 287).

Пока лучи света перпендикулярны к заклеенной стенке, следы лучей на противоположной стенке образуют одну общую полоску, хотя верхняя часть лучей идет через воздух, нижняя — через воду (рис. 287, I). Поворачивая склянку так, чтобы лучи падали наклонно к стенке, увидим, что нижняя часть лучей пошла по ломаному пути, и ее след сдвинулся в сторону (рис. 287, II); сдвиг будет тем больше, чем наклоннее падают лучи.

6. Сосуды для опытов с преломлением.

В качестве веществ, преломляющих свет, применяются почти исключительно два — стекло и вода. Последняя требует сосуда, обладающего особыми качествами, именно: сосуд должен иметь стенки из хорошего бесцветного и ровного стекла. Таким качеством удовлетворяет зеркальное стекло, однако во многих случаях оно может оказаться слишком толстым (толщина до 1 см); поэтому берут хорошие куски бемского стекла (толщина около 3—5 мм).

Необходимо иметь большой прямоугольный сосуд типа аквариума. Проще всего приобрести аквариум в зоомагазине. Большой размер сосуда вреда не принесет, но, конечно, неудобен в обращении. Для некоторых опытов нужна большая длина сосуда (примерно 40—50 см); аквариум такой длины будет чересчур громоздким. Желательны примерные размеры: $l = 30—40$ см; $h = 25—30$ см и $b = 10—12$ см. К самодельному изготовлению аквариума надо прибегать лишь в самом крайнем случае. Оправу для стекол надо делать из толстого ($b = 1—2$ мм) листового цинка или железа. Для каждой стороны делается рама с пазами для стекол (паза нет у верхней стороны). Все рамы спаиваются между собой и с основанием аквариума. Стекла вставляют в пазы на специальной водоупорной замазке. Гораздо проще сделать сосуд небольшого размера; самодельное сооружение таких сосудов приходится выполнять во многих случаях.

Сосуд прямоугольной (в частности кубической) формы делается с двумя стеклянными стенками — передней и задней; боковые стенки и дно выгибаются из металлического (цинкового, жестяного) листа по соответствующей выкройке (рис. 288, I). В углах, где сходятся в стык загибы у стенок и дна, места соприкосновений спаиваются. Полезно вдоль верхнего края передней и задней стенок приклеить продольные полоски, скрепляющие боковые стенки. Внутри вкладываются стекла и по краям замазываются оконной замазкой или заливаются в горячем (жидком) виде менделеевской замазкой.

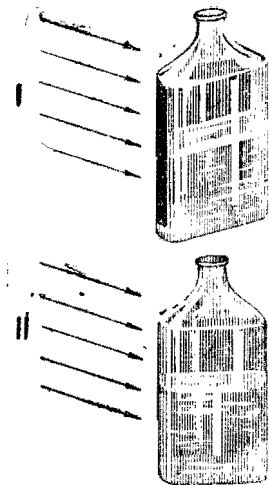


Рис. 287. Опыт со склянкой.

Можно, наконец, заделать сургучом, для чего сургуч настривают мелкими кусочками, насыпают в заливаемый угол (или паз) и затем осторожно снаружи прогревают этот угол на горелке до плавления сургуча. Когда жидкий сургуч залет весь паз, нагревание кончают и сургучу дают остыть, не меняя положения сосуда. Для склейки стекол можно применять зубную цементную пломбу (она не растворяется в сероуглероде).

Кубический сосуд небольшого размера (ребро 4—5 см) можно склеить сплошь из стекол или с деревянным основанием. Квадратное основание делается из сухого твердого дерева и должно иметь пазы

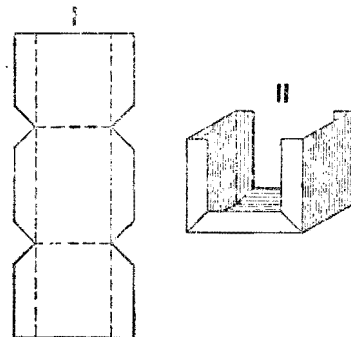


Рис. 288. Жестяной каркас для сосуда.

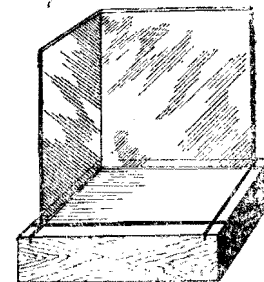


Рис. 289. Деревянная основа для прямоугольного сосуда.

для вставки стекол. Пазы пропиливаются пилой вдоль всех сторон основания (на расстоянии 3—5 мм от края) (рис. 289). Ширина паза соответствует толщине стекла. Из старых негативов выбирают ровные бесцветные стекла и алмазом вырезают 4 квадрата. Их вставляют в пазы основания так, чтобы стекла по углам вплотную прикоснулись друг к другу вдоль всего ребра. Затем места стыка стекол заливают сургучом, как указано выше; сургуч можно заменить канифолью с воском (в пропорции 4:1). Если дно сделать тоже стеклянным, тогда надо сосуд предварительно склеить по всем ребрам при помощи полосок бумаги или ткани и затем осторожно заливать сургучом.

Совершенно так же, как кубический сосуд, из стекол можно склеить равноугольную треугольную призму (рис. 290). Можно полые призмы делать иначе. Берут кусок ($l = 15$ см, $b = 6$ см) сухого твердого дерева (без сучков). Толщина определяется тем преломляющим углом, какой должна иметь изготавливаемая призма (так, например, $h = 17$ см при 15° ; $h = 32$ мм при 30° ; $h = 48$ мм при 45° и $h = 63$ мм при 60°). На расстоянии 3 см от конца на средней линии дощечки просверливают центурум (т. I, рис. 282, 8 и 10) отверстие ($d = 3$ см); края отверстия выравнивают полукруглым мелким рашпилем (т. I, рис. 281, 2А). Затем, зажав дощечку в верстак, фуганком состругивают наискось (с обеих сторон) тот конец доски, где проделано

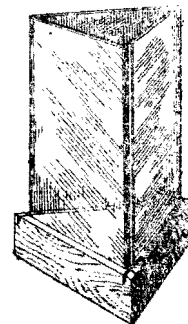


Рис. 290. Деревянная основа для треугольного сосуда.

отверстие, начиная срез с расстояния в 6 см от конца дощечки; таким путем получают клин с отверстием посередине (рис. 291); излишек (9 см) доски отпиливают. Внутренние стенки отверстия делают водонепроницаемыми, заливая расплавленным парафином, масляной краской, асфальтовым лаком. Из ровного тонкого стекла вырезают два прямо-

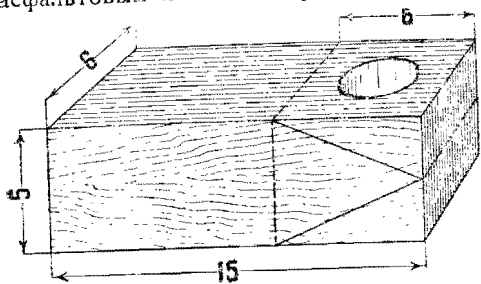


Рис. 291. Деревянный клин для стеклянной полой призмы.

угольника, по размеру соответствующие щекам клина ($b = 6$ см и $l \approx 6-7$ см). Вырезанные стекла приклеивают к щекам клина; всего лучше взять твердый шеллак и в расплавленном состоянии промазать щеки клина. Далее стекло осторожно нагревают над пламенем горелки (рис. 292) выше температуры плавления шеллака ($50-80^\circ$) и в горячем состоянии накладывают в горизонтальном положении на клин. Шеллак должен расплавиться, и тогда, плотно прижав стекло к дереву, держат их в таком состоянии до затвердевания шеллака. Точно так же наклеивают второе стекло, и призма готова (рис. 293). Для наливания воды в одном из треугольных оснований деревянного клина просверливается отверстие; потом оно закрывается пробкой. Долго держать воду в такой призме не следует.

Важное значение для опытов имеют сосуды круглой и полукруглой

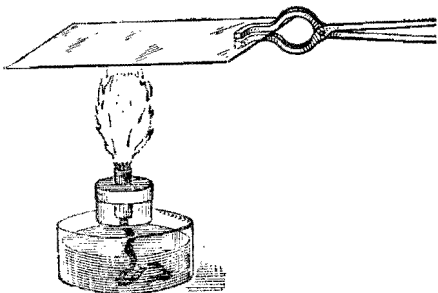


Рис. 292. Нагревание стекла перед прикладыванием его к щекам клина, намазанным шеллаком.

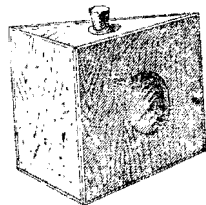


Рис. 293. Самодельная стеклянная призма.

форм. Круглые цилиндрические стенки сосуда в большинстве случаев нужны с той целью, чтобы луч света, идущий вдоль радиуса, проходил через стенку, не преломляясь. Из круглых сосудов в кабинетах встречается большой круглый цилиндрический сосуд (рис. 308). Полукруглые сосуды бывают двух типов в зависимости от их положения (горизонтальное или вертикальное) при опытах. К одному типу относится сосуд, входящий в набор прибора Кольбе (рис. 190), ко второму — прибор Мюллера (рис. 307). Круглый сосуд можно сделать из кристаллизационной чашки (т. I, рис. 108, $D = 10-15$ см); выбрать чашку надо с возможно более ровными боковыми стенками. Если чашку применять в обычном горизонтальном положении, то надо по диаметру

перегородить ее стеклом, вставив его на мягких (например резиновых) прокладках и залив края замазкой. Можно применять чашку в вертикальном положении, но тогда надо ее края вмазать в круглый паз, проделанный в деревянном кружочке. Для получения паза надо выпилить из тонкой доски (например фанеры) кружок по внутреннему размеру чашки и кольцо — по внешнему, и затем кружок и кольцо прибить ко второму кружку (рис. 294). В промежутке между кольцом и кружком получается паз, куда вставляются края чашки. В доске продельвается отверстие для наливания воды внутрь сосуда. По окружности наклеивается бумажная полоска с градусными делениями. На дне чашки проводятся два взаимно перпендикулярных диаметра, чтобы иметь отметку уровня воды и центра, через который должны проходить лучи.

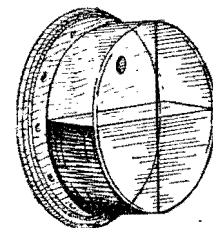
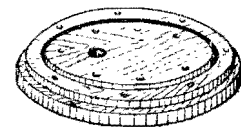


Рис. 294. Самодельный круглый сосуд.

7. Преломление на границе воздух — вода.
1) Аквариум. 2) Источник света. 3) Два плоских зеркала. 4) Флюоресцин. 5) Дымарь.

От проекционного фонаря при помощи щели получают световую полоску и посредством плоского зеркала A направляют ее на поверхность воды, налитой в аквариум (рис. 295). Вода подкрашивается флюоресцином, чтобы луч света был виден в воде. Воздух на пути луча заполняется дымом, чтобы сделать луч света видимым (об этих мерах в дальнейших опытах повторять не будем).

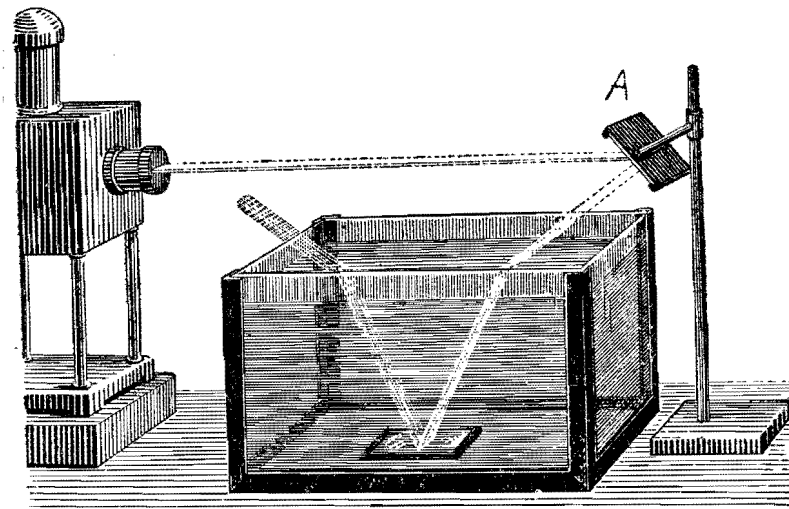


Рис. 295. Преломление в воде.

Если на дно аквариума положить второе плоское зеркало, то луч, отразившись от этого зеркала, дойдет до уровня воды и перейдет в воздух, обнаруживая второй случай перехода: вода — воздух.

8. Прибор Кольбе. Прибор с принадлежностями.

Прибор (рис. 296) состоит из застекленного спереди и сзади сосуда (примерно $40\text{ см} \times 20\text{ см} \times 8\text{ см}$). В нижней металлической полосе ($b = 7\text{ см}$) спереди и сзади проделано по отверстию ($d = 5-6\text{ см}$),

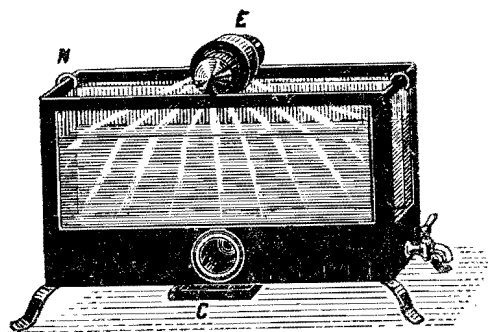


Рис. 296. Прибор Кольбе для преломления в воде.

в которые вделана концами стеклянная трубка. К прибору прилагаются (рис. 297): 1) электролампа *A* с односторонним волоском (рис. 165); патрон лампы имеет: круглое основание *B*, плотно входящее в стеклянную трубку; штатив *C* у лампы позволяет как вдвигать ее в эту трубку, так и помещать лампу над сосудом (рис. 296); 2) два жестяных цилиндра *D* и *E* с одной и с несколькими (более 20) щелями; в эти цилиндры вдвигается лампа, когда она устанавливается над сосудом (рис. 296); 3) ширмы *F* и *H* с одной и с несколькими щелями; ширмы надеваются внутри сосуда на поперечную стеклянную трубку, когда в нее сзади вдвинута лампа; одновременно спереди трубка закрывается колпачком; вершины конусов, которыми оканчиваются цилиндры *D*, *E* и *K*, служат для отметки положения волоска лампы как светя-

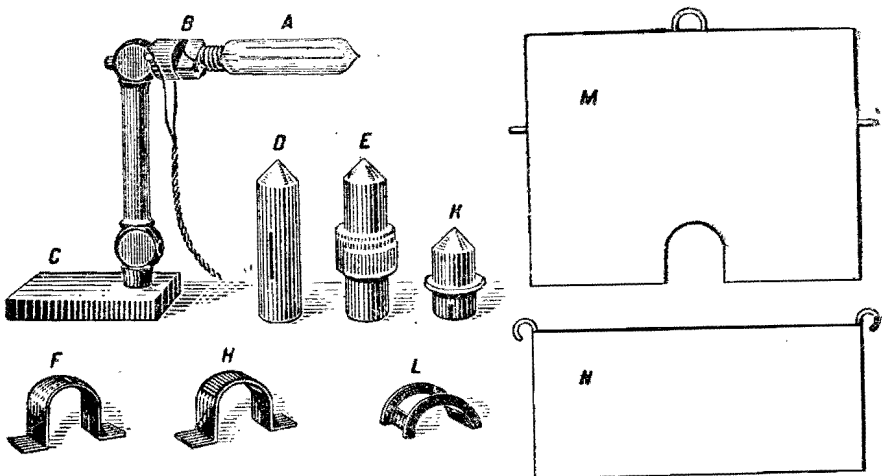


Рис. 297. Принадлежности к прибору Кольбе.

щей точки; 4) ширма *L* с боковыми закраинами; она надевается поверх ширмы *F* или *H*, чтобы не пустить лучи света на стенки сосуда; 5) экраны (белые) *M* и *N*, которые вставляются в сосуд и служат для проектирования лучей.

На рисунке 296 показан случай перехода лучей из воздуха в воду. Лампа помещена над сосудом (в цилиндре *E*); вставлен экран *N*.

9. Видимые и невидимые тела. 1) Стекла́нная трубка с кедровым маслом и стеклянной палочкой. 2) Проекционный фонарь. 3) Горелка. 4) Экран.

Если в прозрачное вещество (среду), например в воду или в воздух, поместить прозрачное бесцветное тело, то последнее будет видимым для глаза только в том случае, если показатель преломления этого тела отличается от показателя преломления среды; при равенстве этих показателей тело становится для глаза незаметным, так как на границе двух прозрачных веществ с одинаковыми показателями преломления не может произойти ни преломление, ни отражение.

Чтобы показать это, берут запаянную стеклянную трубочку (рис. 298), у которой внутри в верхней половине впаивают стеклянную палочку, в нижней половине налито кедровое масло, имеющее почти одинаковый показатель преломления со стеклом. Если трубочку повернуть так, чтобы стеклянная палочка оказалась погруженной в кедровое масло, то палочка делается почти незаметной; получается оптически однородная среда.

Если потоки теплого воздуха, например над горелкой, осветить при помощи проекционного фонаря, направив лучи на экран, то на экране будут ясно видны струи горячего воздуха (рис. 299), так как его показатель преломления несколько иной, чем у холодного воздуха (оптически неоднородная среда).

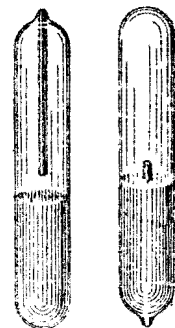


Рис. 298. Стеклянная палочка в кедровом масле.

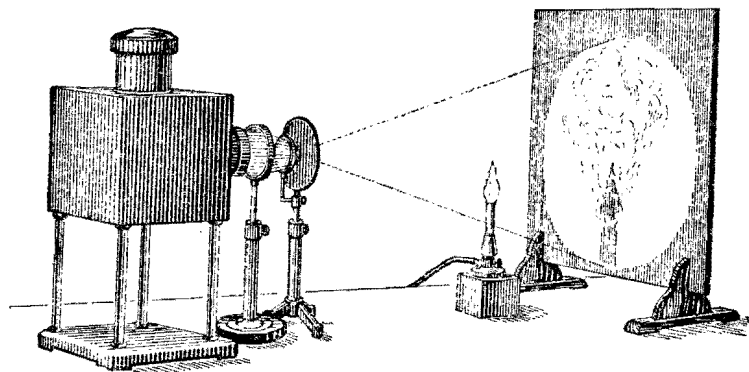


Рис. 299. Прсектирование на экран потоков воздуха.

10. Ход луча в плоско-параллельной пластинке. 1) Шайба Гартля или прибор Кольбе. 2) Стекло в форме трапеции (№ 5 из набора). 3) Источник света.

На шайбе укрепляют трапециевидное стекло и направляют один луч света на одно из оснований трапеции так, чтобы выходил луч через другое основание (рис. 300, *L*).

Меняя угол падения, можно показать свойства плоско-параллельной пластинки: 1) выходящий луч параллелен падающему; 2) при проходе.

луча сквозь пластинку происходит тем больший сдвиг луча, чем больше угол падения; 3) при угле падения, равном нулю, сдвига нет.

Желательно дать учащимся в руки прямоугольные куски стекла (§ 32, I, рис. 326), чтобы они, наблюдая через стекло печать или начерченные на бумаге линии (рис. 301), убедились в сдвиге изображения стеклом.

11. Ход луча в призме — см. опыт 10.

На шайбе устанавливают стекло в форме трапеции так, чтобы вершина ее острого угла (сперва в 45° , а потом в 60°) совпала с центром шайбы, а стороны этого угла были одинаково наклонены к нулевому диаметру (рис. 300, II). Один луч света пускают на одну грань взятого угла, играющего роль призмы, возможно ближе к его вершине; выходить луч должен через соседнюю грань. Очень удобно полосу света ребром призмы разделить на две части так, чтобы одна часть шла через призму, а другая — мимо стекла. При таком способе наблюдения легче определять угол отклонения луча призмой, но это довольно просто сделать и при первом способе. В обоих случаях угол отклонения определяется как сумма двух отсчетов от нулевого диаметра, именно: для падающего луча и для вышедшего из призмы луча.

Поворачивая шайбу и не меняя падающего луча, показывают, что угол откло-

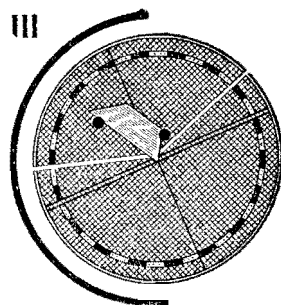
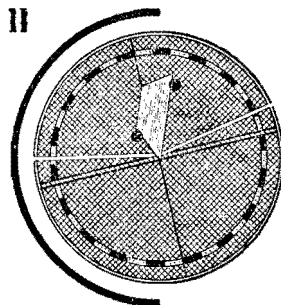
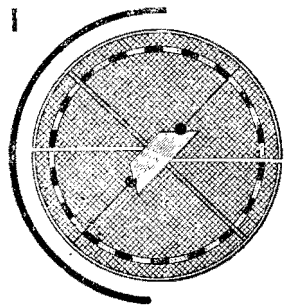


Рис. 300. Шайба Гартля; ход лучей в плоско-параллельной пластинке (I) и в призме (II и III).

нения изменяет свою величину и при некоторых условиях достигает наименьшего значения. Наименьшее отклонение наступает, когда грани призмы расположены симметрично относительно падающего и выходящего лучей; при указанной выше установке оба эти луча при наименьшем отклонении одинаково наклонены к нулевому

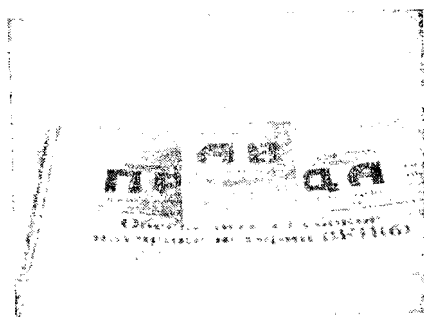


Рис. 301. Изображение в плоско-параллельном стекле.

диаметру, так что отсчеты по градусным делениям для обоих лучей одинаковы.

Найдя угол наименьшего отклонения для призмы с преломляющим углом в 45° (приблизительно 25°), заменяют ее призмой с углом в 60° , повторяют с ней установку и опыт (рис. 300, III), сделанные с первой призмой, и определяют угол наименьшего отклонения (приблизительно 40°) для призмы с преломляющим углом в 60° .

На приборе Кольбе можно исследовать призму с углом в 60° (№ 8 из набора, рис. 189); угол наименьшего отклонения для нее приблизительно 40° .

12. Получение изображений при помощи призмы. Несколько стеклянных трехгранных призм.

Призмы даются учащимся в руки и им предлагается, наблюдая сквозь призму, поймать изображение какого-либо предмета (например лампы, висящей под потолком или поставленной на стол). Отыскание изображения в призме дается учащимся с большим трудом, поэтому на данный опыт не следует жалеть времени. Опыт должен показать учащимся, что призма сдвигает изображение в ту сторону, куда обращено ребро преломляющего угла (рисунок 302); вращая призму, учащиеся должны убедиться в существовании угла наименьшего отклонения.

Окрашивание краев предмета при рассматривании их через призму всегда возбуждает большой интерес среди учащихся и должно быть использовано при изучении линз для объяснения окрашивания, даваемого линзами, так как спектры обычно разбираются после линз.

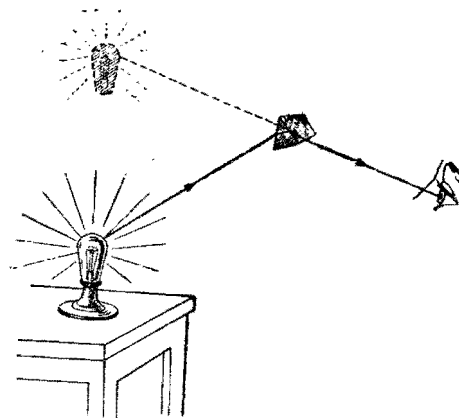


Рис. 302. Изображение в призме.

§ 30. Законы преломления.

1. Шайба Гартля. 1) Шайба. 2) Источник света. 3) Стекло полукруглой формы (№ 4 из набора).

При помощи двух зажимных винтов стекло укрепляется на шайбе так, чтобы центр стекла совпал с центром шайбы, а плоский край стекла шел вдоль вертикального диаметра (имеющего на концах деления в 90°). Установка поверяется так: падающий луч (открыта одна средняя щель) направляют вдоль нулевого диаметра на плоскую грань стекла; преломленный луч должен идти вдоль того же диаметра (рис. 303, I). Опыты разбиваются на два случая.

Случай I. Переход света из воздуха в стекло. Луч падает в центр стекла на его плоскую сторону; при переходе из воздуха в стекло происходит преломление, и преломленный луч идет в стекле по его радиусу, поэтому при следующем переходе из стекла в воздух преломления не происходит (рис. 303, II).

По угловым делениям на шайбе измеряют углы падения и преломления, отсчитывая их от концов нулевого диаметра, и обнаруживают, что угол преломления меньше угла падения. Беря произвольные углы падения (например в целые десятки градусов), измеряют (с точностью до $0,5^\circ$) соответствующие углы преломления; результаты записывают в таблицу:

Угол падения a	Угол преломления b	$\sin a$	$\sin b$	$n_{01} = \frac{\sin a}{\sin b}$	$n_{10} = \frac{\sin b}{\sin a}$
20	13	0,34	0,22	1,55	0,65
30	20	0,50	0,34	1,47	0,68
40	25	0,64	0,42	1,52	0,66
50	30	0,77	0,50	1,54	0,65
60	36	0,87	0,59	1,48	0,68
70	40	0,94	0,64	1,47	0,68
Среднее				1,50	0,67

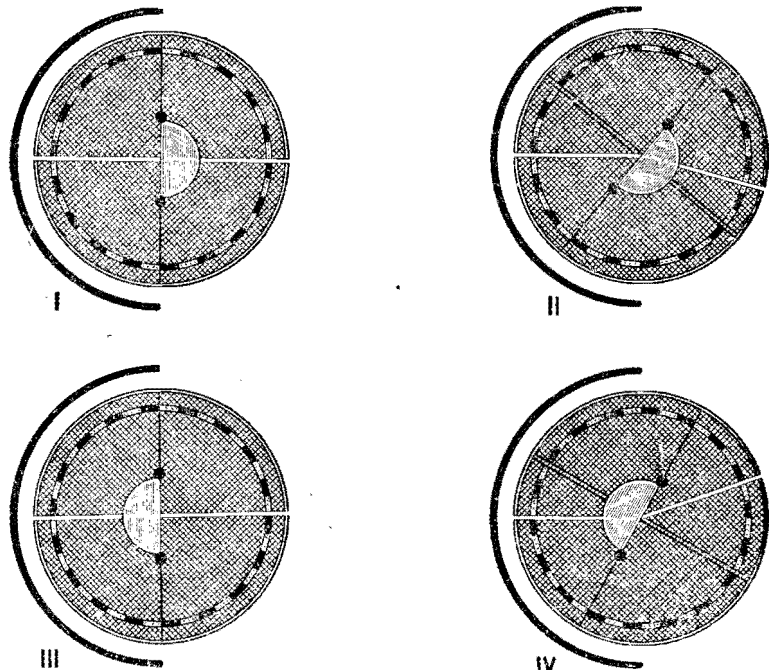


Рис. 303. Шайба Гартля [преломление на границе воздух — стекло (II) и стекло — воздух (IV)].

Из математических таблиц выписывают числовые значения синусов для найденных углов и вычисляют показатель преломления n_{01} , где указатель 01 показывает, что речь идет о переходе света из среды 0 (воздуха) в среду 1 (стекло).

Опыт приводит к выводам: 1) отношение синусов углов падения и преломления приблизительно не меняется с изменением угла падения; 2) для перехода света воздух — стекло показатель преломления больше единицы (примерно $1,5 = \frac{3}{2}$); 3) угол преломления, всегда меньший угла падения, не может превысить (при $a = 90^\circ$) некоторого значения b_0 , называемого предельным; значение b_0 определяется условием:

$$\sin a = 1; \sin b_0 = \frac{1}{n_{01}} \approx \frac{2}{3}; b_0 \approx 42^\circ.$$

Случай 2. Переход света из стекла в воздух. Шайбу поворачивают так, чтобы луч падал на выпуклую сторону стекла и проходил через его центр, т. е. чтобы луч шел вдоль радиуса и потом при входе из воздуха в стекло не испытывал преломления. Преломленный луч должен выходить из центра стекла на его плоской стороне; угол преломления будет больше угла падения (рис. 303, IV). Углы падения берут произвольно (например, как в случае 1, равные десяткам градусов) или, что выгоднее для дальнейшего, берут равные углам преломления в случае 1; тогда новую таблицу составлять не приходится, а только в прежней таблице добавляют еще один столбец значений показателей преломления n_{10} (т. е. для перехода из стекла в воздух).

Из опыта делают выводы: 1) величина показателя преломления остается приблизительно постоянной при изменении угла падения; 2) для перехода света стекло — воздух показатель преломления меньше единицы (примерно $0,67 \approx \frac{2}{3}$); 3) угол преломления, всегда больший угла падения, доходит до наибольшего возможного значения 90° , и явления преломления прекращаются, когда угол падения дошел еще только до некоторого значения a_0 , называемого предельным; это значение определяется условиями:

$$\sin b = 1; \sin a_0 = n_{10} \approx \frac{2}{3}; a_0 = 42^\circ.$$

Сопоставление обоих случаев позволяет установить: 1) свойство обратимости хода лучей при преломлении, что очень важно для хода лучей в линзах; 2) взаимную связь между показателями преломления n_{01} и n_{10} , именно:

$$n_{10} = \frac{1}{n_{01}}, \text{ или } n_{01} \cdot n_{10} = 1.$$

Если во втором случае взять угол падения больше предельного, то будем наблюдать полное внутреннее отражение.

Необходимо, меняя углы падения, показать учащимся отличие полного отражения от простого, именно: при простом отражении только часть падающего света отражается, а часть входит во вторую среду, претерпевая преломление. При этом при малых углах падения большая часть света проходит и меньшая отражается, что видно по яркости отраженного и преломленного лучей (рис. 304, I). По мере увеличения угла падения яркость отраженных лучей увеличивается, а преломленных — уменьшается (рис. 304, II).

2. Прибор Кольбе. 1) Прибор. 2) Источник света. 3) Полукруглое стекло (№ 4 из набора) и полукруглый сосуд (рис. 190).

Установка и производство опыта одинаковы с предыдущими. Разница заключается лишь в применении (кроме стекла) воды в качестве преломляющего вещества. Вода должна быть лишена пузырьков воздуха, поэтому берется или дистиллированная вода, или долго кипевшая.

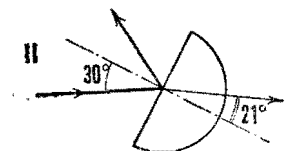


Рис. 304. Ход луча на границе двух веществ.

В сосуд через маленькое отверстие вода наливается при помощи воронки с узким оттянутым концом. Для воды повторяются такие же измерения, какие производились для стекла. В результате будут найдены показатели преломления для переходов воздух—вода (n_{01}), вода—воздух (n_{10}) и значения предельных углов b_0 и a_0 , именно:

$$n_{01} \approx \frac{4}{3}; \quad \sin b_0 = \frac{1}{n_{01}} \approx \frac{3}{4}; \quad b_0 = 48,5^\circ;$$

$$n_{10} = \frac{3}{4}; \quad \sin a_0 = n_{10} = \frac{3}{4}; \quad a_0 = 48,5^\circ.$$

Относительно делений на круге и чисел на нем, указывающих величину линий синусов, — см. § 20, 3, рис. 188.

3. Прибор Пономаренко. 1) Прибор. 2) Источник света. 3) Вода, подкрашенная флюоресцином.

Прибор состоит из железного сосуда с тремя стеклянными стенками; в сосуд вставляется доска (экран), выкрашенная белой масляной краской (рис. 305). Сзади сосуда приделан подвижной рычаг, имеющий на конце плоское зеркало, чтобы направлять падающие лучи. Чтобы на опыте выявить закон преломления, на экране нарисованы окружность, два взаимно-перпендикулярных диаметра, два примерных луча — падающий и преломленный — и линии синуса для углов падения и преломления (рис. 306). Воды надо налить до горизонтального диаметра, и падающий луч направить по указанному для него направлению; тогда преломленный луч должен совпасть с начерченным. Можно также найти величину показателя преломления, так как линия синуса угла падения разделена на 4 равные части, а угол преломления подобран так, что его линия синуса содержит три такие части (рис. 306). Надо заметить, что этот рисунок воспроизводит способ геометрического построения преломленного луча.

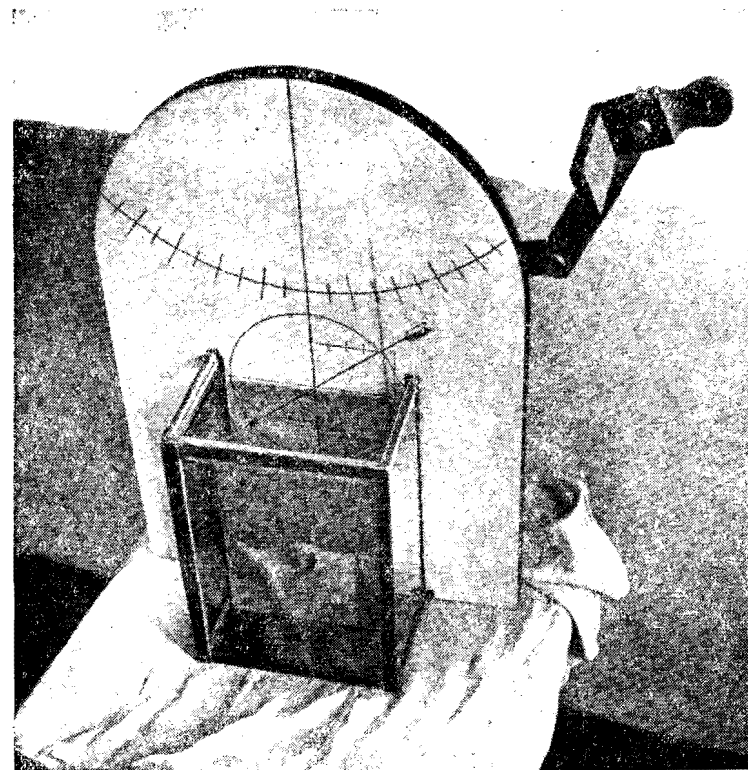


Рис. 305 Прибор Пономаренко.

4*. Прибор Мюллера. 1) Прибор. 2) Вода.

Раньше (§ 24, 3) был описан прибор Вейнгольда для наблюдения отражения света (рис. 228). Похожий прибор служит для изучения явлений преломления света в воде. Прибором служит полукруглый сосуд. Плоская стенка сосуда делается или из стекла (тогда надо падающий луч в виде световой полосы пускать на середину стенки), или из металла со щелью (посередине), закрытой стеклом (тогда пучок падающего света, проходя через эту щель, образует внутри сосуда светлую полосу). Полукруглая стенка бывает или непрозрачной (тогда прибор пригоден лишь для индивидуальных наблюдений), или прозрачной (тогда прибор допускает демонстрацию явления для целого класса).

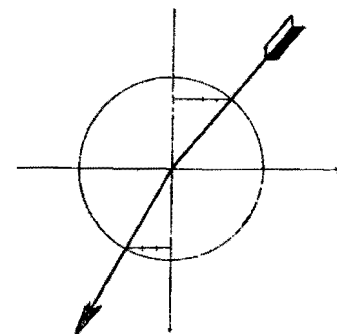


Рис. 306. Чертеж на приборе Пономаренко (построение преломленного луча).

Прибор с непрозрачной стенкой (рисунок 307) нетрудно сделать самим. На полукруглой стенке внутри нанесены градусные деления

с нулем посередине. В сосуд наливают воду до половины высоты стенок и пускают падающий луч.

Войдя в сосуд, падающий луч разделится на две части: нижняя пойдет внутри воды, и след преломленного луча на шкале даст величину угла преломления; верхняя пойдет над водой по воздуху (не преломляясь), и след этого луча на шкале даст величину угла падения. Зная величину углов, можно вычислить показатель преломления воды.

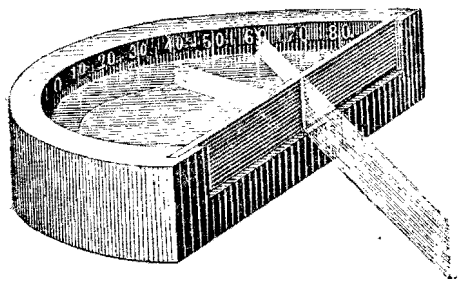


Рис. 307. Прибор Мюллера.

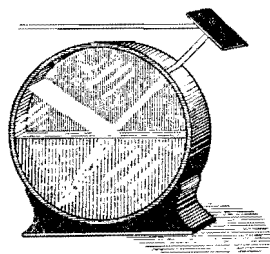


Рис. 308. Прибор Тиндаля.

5. Прибор Тиндаля. 1) Прибор. 2) Источник света. 3) Плоское зеркало. 4) Вода с флюоресцином. 5) Дымарь.

Для измерения углов падения и преломления можно применить цилиндрический круглый сосуд (барабан) с передней стеклянной стенкой. Боковые стенки бывают или стеклянные или металлические со щелью (иногда подвижной) для пропускания лучей света, направляемых плоским зеркалом (рис. 308). На передней стенке нанесены два взаимно-перпендикулярных диаметра и градусные деления. Внутри сосуда до половины (до горизонтального диаметра) наливается вода, подкрашенная флюоресцином; поверх воды напускается дым.

§ 31. Полное внутреннее отражение.

1. Отражение от свободной поверхности жидкости. 1) Стакан с водой. 2) Чайная ложка.

В стакан с водой погружают чайную ложку и смотрят снизу сквозь стенки стакана на свободную поверхность воды. Вследствие полного внутреннего отражения эта поверхность кажется зеркальной, и в ней видно изображение нижней части ложки.

2. Опыт с пробиркой. 1) Стакан с водой. 2) Пробирка. 3) Ртуть.

В стакан с водой ставят пробирку, в которую налито (около одной трети) ртути. Стакан ставят на лист белой бумаги на столе и смотрят сверху примерно по отвесному направлению (рис. 309). Пустая часть пробирки представляется более блестящей, чем со ртутью, доказывая этим наличие полного внутреннего отражения.

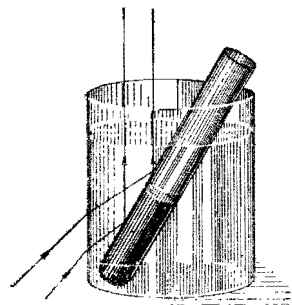


Рис. 309. Полное внутреннее отражение.

3. Опыт с закопченным телом. 1) Алюминиевая ложка или металлический шарик (например от прибора Гравезанда). 2) Стакан с водой. 3) Горелка со скипидаром (т. II, § 48, 4).

Заранее, непосредственно перед самым уроком, готовят закопченный металлический предмет (ложку, шарик) и погружают его в стакан с водой; частицы копоти, оставшиеся при погружении и плавающие на поверхности воды, удаляют фильтровальной бумагой. В таком виде стакан показывают учащимся; разглядывая его сверху, учащиеся видят в воде блестящий металлический предмет, не подозревая, что он покрыт копотью. Когда все учащиеся посмотрят, предмет вынимают из воды.

Опыт полезно повторить, но надо помнить, что при каждом погружении предмета часть копоти с него сходит. Явление объясняется полным внутренним отражением от слоя воздуха, облегающего поверхность тела, не смачиваемого водой. Тот же опыт можно произвести, погружая палец в воду, поверхность которой покрыта слоем ликоподия.

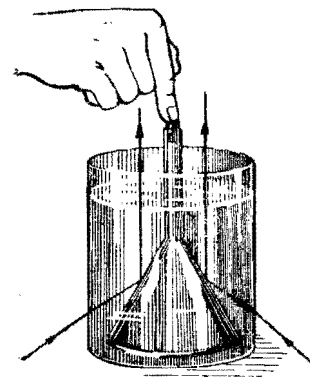


Рис. 310. Полное внутреннее отражение.

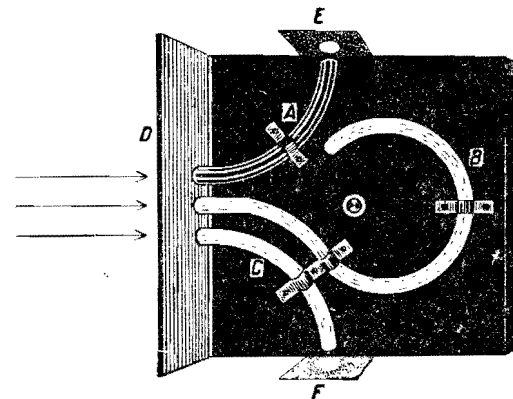


Рис. 311. Полное внутреннее отражение в стеклянных палочках.

4. Опыт с воронкой. 1) Стакан с водой. 2) Коническая воронка (входящая в стакан). 3) Пробка.

Узкий конец воронки наглухо затыкают резиновой пробкой, и воронку погружают вертикально в стакан с водой (ее налито немного) так, чтобы из-под воронки не ушел воздух. Если смотреть сверху, то поверхность воронки, находящаяся под водой, кажется зеркальной, как у пробирки в опыте 2 (рис. 310).

5. Опыт со стеклянными палочками. 1) Прибор с палочками (прежде прилагался к шайбе Гартля). 2) Источник света.

На черном экране укреплены три изогнутые стеклянные палочки из прозрачного бесцветного стекла (рис. 311); одна из них (A) имеет гладкую наружную поверхность; две другие (B и C) шероховатую, матовую. На концы (левые на рисунке) всех трех палочек, пропущенные через отверстия в ширме D, направляют пучок сильного света.

Палочка A кажется темной, зато на экране E видно яркое светлое пятно там, куда подходит конец палочки; две другие палочки B и C

кажутся освещенными, и пятно на экране у конца палочки *C* имеет значительно меньшую яркость. В палочке *A* происходит внутри полное внутреннее отражение, и свет наружу через поверхность палочки не выходит; в палочках с матовой поверхностью свет может выйти наружу.

6. Опыт со струей. 1) Сосуд (высокий) со стеклом и отверстием. 2) Вода. 3) Источник света. 4) Таз.

Опыт со струей аналогичен опыту 5 с палочками. Высокий металлический сосуд (прямоугольного или круглого сечения) имеет в одной стенке внизу стекло (плоское), а в другой стенке — как раз напротив стекла — отверстие, закрытое пробкой или крышечкой (рис. 312). Лучи света от проекционного фонаря собирают сквозь стекло *A* на отверстие *B* (часто вместо стекла *A* вделывают собирающую линзу, сводящую лучи на отверстие). Открыв отверстие, пускают струю воды, попадающую в поставленный на полу таз. Вследствие полного внутреннего отра-

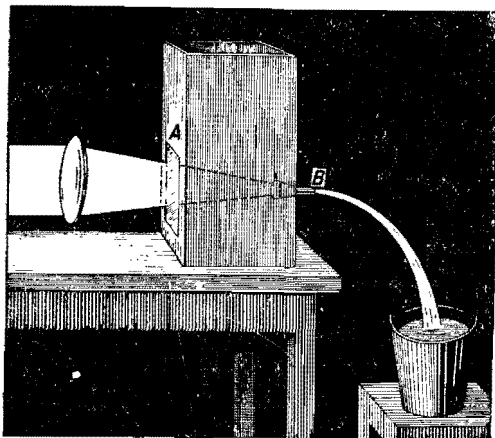


Рис. 312. Светящаяся струя.

жения струя воды, пока она цела, не дает света в стороны (это можно подтвердить, помещая около струи белый экран), но ярко светится то место в тазу, куда падает струя, а также все те места струи, где она естественно или искусственно (от прикосновения руки) разбивается на части и капли. Если хотят сделать струю светящей, надо воду чуть-чуть замутить флюоресцином или денатуратом.

Сложнее, но можно сделать, светящий фонтан, направив струю вертикально вверх.

7. Полное отражение на границе стекло—воздух. 1) Шайба Гартля. 2) Источник света. 3) Стекло в форме прямоугольного треугольника (№ 9 из набора).

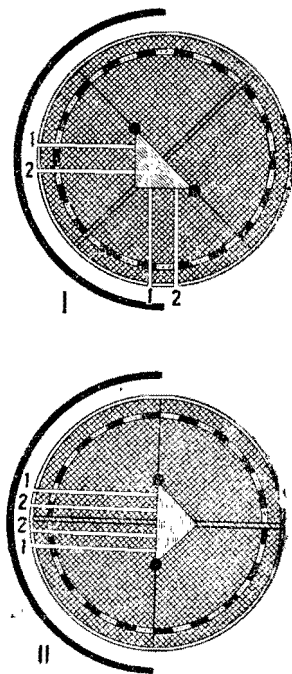


Рис. 313. Шайба Гартля [ход лучей в призме с полным внутренним отражением, (I и II)].

Пучок света через одну или две щели направляют на катет призмы перпендикулярно к его плоскости (рис. 313, I). Луч входит в призму, не преломляясь, и под углом падения в 45° (больше предельного) падает на гипотенузу призмы. Здесь происходит полное внутреннее отражение, и луч выходит из призмы через второй катет перпендикулярно к его плоскости, опять не преломляясь.

Если луч (один или два) направить перпендикулярно к гипотенузе (рис. 313, II), то луч испытает внутри призмы двукратное полное внутреннее отражение и выйдет из призмы по направлению, параллельному, но противоположному падающему лучу.

8. Обратная призма см. опыт 7.

Опыт 7 повторяют, повернув шайбу так, чтобы лучи шли параллельно гипотенузе (т. I, рис. 262). Тогда в призме тоже произойдет полное внутреннее отражение, и лучи выйдут по тому же направлению, но переменят свои места (рис. 314).

Призма прямого зрения, поставленная в положение III (рис. 314), поворачивает изображение по вертикальному направлению (т. е. низ изображается наверху и обратно, рис. 315, I). По горизонтальному направлению все остается без изменения. Если такую призму вращать вокруг горизонтальной прямой, параллельной лучам, то изображение вращается вместе с призмой.

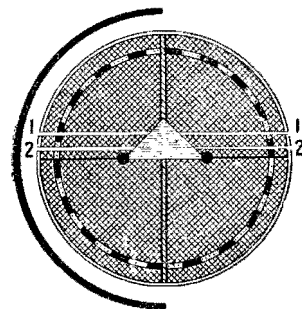


Рис. 314. Шайба Гартля (ход лучей в оборотной призме).

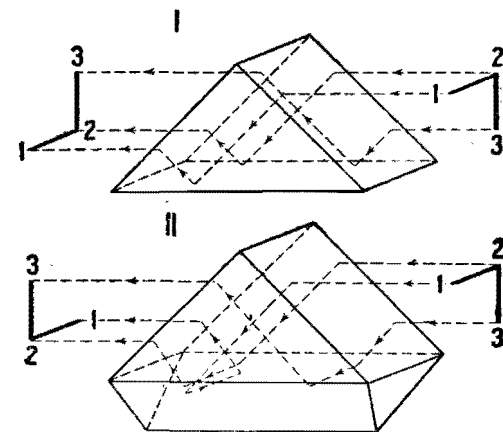


Рис. 315. Ход лучей в оборотной призме.

Можно у призмы плоскую грань, лежащую против прямого угла, сделать двугранной с прямым углом и с ребром, перпендикулярным к преломляющему ребру (рис. 315, II). В такой призме луч претерпевает два полных внутренних отражения (подобно отражению от двух взаимно-перпендикулярных плоских зеркал, рис. 250, II). Такая призма поворачивает изображение по всем направлениям; при вращении призмы изображение остается на месте.

9. Полное отражение на границе вода—воздух — см. опыт 7, § 29.

Опыт 7, § 29 видоизменяют, направляя луч при помощи зеркала *A* вертикально вниз в сосуд с водой. В сосуде помещают зеркало *B*

вращающееся вокруг горизонтальной оси, укрепленной на небольшой подставке (рис. 316). Для вращения зеркала извне или приделывают к оправе зеркала длинную ручку *C*, или привязывают к поперечным краям зеркала по нитке.

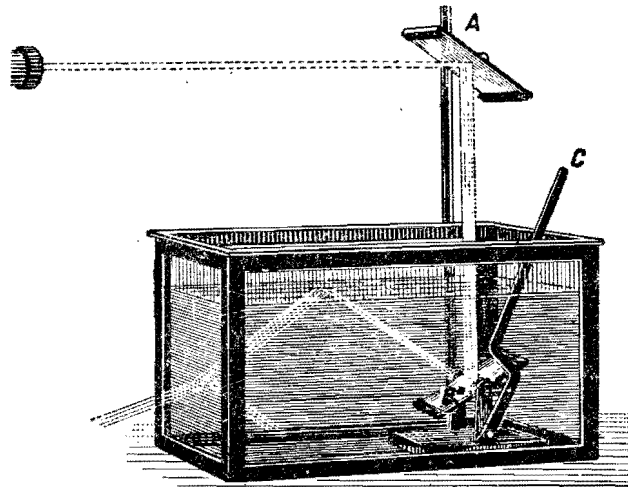


Рис. 316. Полное внутреннее отражение в воде.

Зеркалу *B* дают такой наклон, чтобы луч, отраженный зеркалом *B*, при падении на свободную поверхность жидкости претерпевал полное внутреннее отражение (угол падения должен быть больше предельного, т. е. 48°).

10. Многократное отражение — см. § 29, 7.

Если источник дает сильный свет и сосуд достаточно длинен, то можно наблюдать многократное отражение луча от поверхности воды, положив на дно сосуда длинное плоское зеркало (рис. 317).

11. Замечание. Ход лучей в сосуде с водой можно разнообразить, давая лучам несколько раз претерпевать полное внутреннее отражение и преломление (рис. 318).

12. Прибор Кольбе — см. § 29, 8.

Лампу *A* (рис. 297 и 319) вставляют (сзади сосуда) в стеклянную трубку, закрывая ее спереди колпачком *K*; на трубку надевают ширму *F* (или *H*) и на нее защитную ширму *L*; наливают воды примерно до одной трети; вставляют экран *M*; зажигают лампочку. Картина хода лучей изображена на рисунке 319.

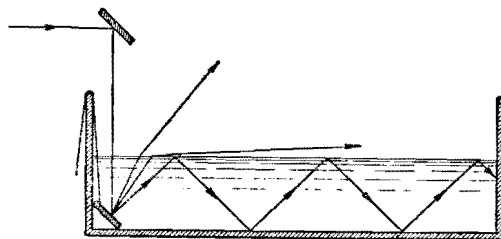


Рис. 317. Многократное полное внутреннее отражение.

13. Прибор Гримзеля. 1) Прибор. 2) Источник света. 3) Вода. 4) Флюоресценция.

В этом приборе внутри сосуда с водой помещается цилиндрическая металлическая коробка, у которой на дне укреплено металлическое коническое зеркало, а в боковой стенке проделано 11 щелей (вдоль образующих). Пучок света направляется на зеркало вдоль его оси и после отражения проходит через щели. Ход лучей в воде дает такую же картину (рис. 320), как и в приборе Кольбе (рис. 319).

14. Отличие полного отражения от простого. 1) Две призмы с преломляющим прямым углом. 2) Источник света.

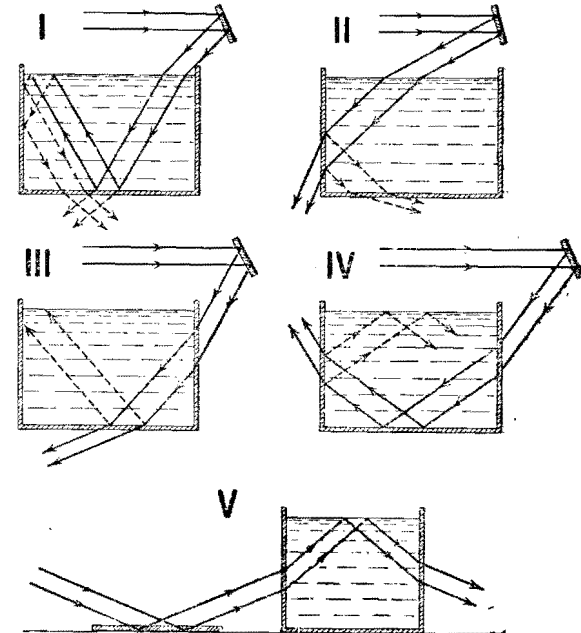


Рис. 318. Различные случаи хода лучей в воде.

Две призмы (в форме прямоугольного равнобедренного треугольника) ставятся рядом на пути пучка параллельных лучей (рис. 321) так, чтобы у одной свет отражался от внешней поверхности

границы, являющейся гипотенузой (простое отражение), а у другой — от внутренней поверхности такой же грани (полное внутреннее отражение). Отраженные лучи в обоих случаях падают на экран, но дают светлые пятна заметно различной яркости — при полном отражении более яркое, чем при простом.

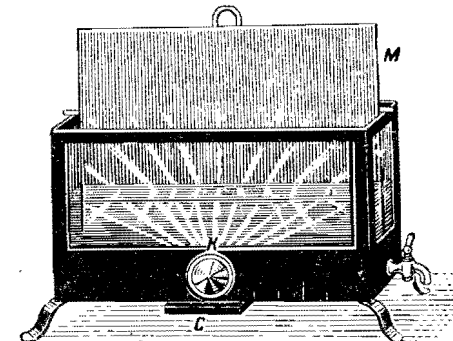


Рис. 319. Прибор Кольбе.

15. Криволинейный луч. 1) Аквариум (длинный). 2) Источник света. 3) Два плоских зеркала. 4) Вода. 5) Поваренная соль. 6) Белый экран.

В аквариум наливают воды до половины; приготовив насыщенный раствор соли, при помощи воронки с трубкой, опущенной до дна сосуда, наливают

раствор. Как более тяжелый он расположится на дне сосуда под чистой водой; резкая граница между слоями вскоре исчезнет вследствие

диффузии. Сбоку через стенку сосуда сквозь щель направляют (при помощи плоских зеркал) луч света (рис. 322). Соответственно подбирая его направление, получают криволинейный ход луча с полным

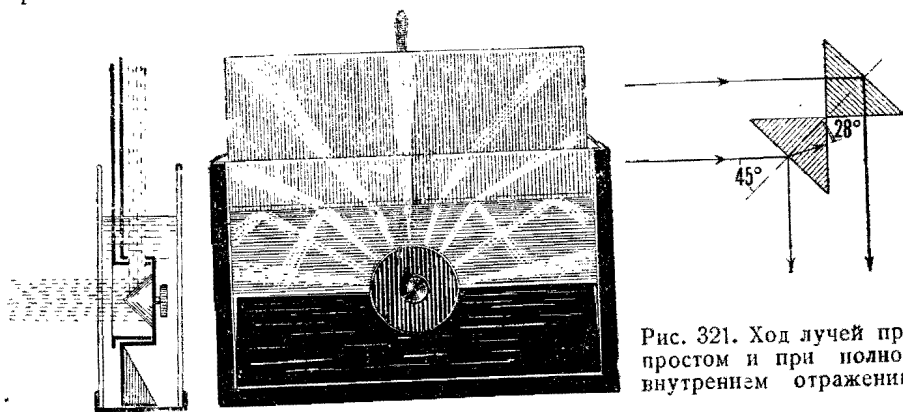


Рис. 320. Прибор Гримзея.

Рис. 321. Ход лучей при простом и при полном внутреннем отражении.

внутренним отражением в верхней точке. Чтобы видеть след луча, в воду погружают белый экран.

16. Модель миража. 1) Длинная железная полоса ($l = 80-90$ см, $b = 8-10$ см). 2) Пять шесть горелок (лучше газовых). 3) Модель пальмы из белой бумаги ($h = 2$ см).



Рис. 322. Криволинейный луч.

17. Механическая модель. 1) Два колесика на оси. 2) Ровная доска. 3) Сукно.

В основе явления преломления при переходе света из одного вещества в другое лежит различие тех скоростей, с которыми

свет распространяется в этих веществах. Эта зависимость выражается формулой:

$$\frac{\sin a}{\sin b} = n_{01} = \frac{v_0}{v_1},$$

где a — угол падения; b — угол преломления; n_{01} — показатель преломления при переходе из вещества (0) в вещество (1); v_0 — скорость распространения света в веществе (0), из которого свет идет; v_1 — скорость света в веществе (1), в которое свет переходит; из формулы видно, что при $n_{01} > 1$ скорость v_1 меньше скорости v_0 .

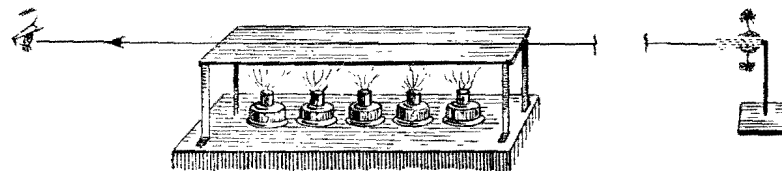


Рис. 323. Модель миража.

На этом принципе основано устройство механической модели (рис. 324), иллюстрирующей явления преломления и полного внутреннего отражения. Модель состоит из массивной металлической оси ($l = 8-10$ см; $d = 10-12$ мм); концы оси обточены (до диаметра в $5-7$ мм) и на эти концы наглухо надеты два деревянных колесика ($d = 5$ см, $h = 1$ см) с закругленными краями по ободу. Колесики должны вращаться только вместе с осью. Можно на концах оси просверлить отверстия и в них впасть болтики для укрепления колесиков.

Если пустить колесики катиться по слегка наклонной, но обязательно ровной доске (рис. 324, I), то колесики будут двигаться поступательно по прямой линии, причем ось будет оставаться параллельной сама себе. Такое движение колесиков обусловлено тем, что оба колесика, встречая одинаковые условия на своем пути, перемещаются с одинаковыми скоростями. Как только тождество условий нарушается и одно из колесиков начинает двигаться медленнее, это колесико отстает в своем движении, и ось меняет свое направление. Траектория становится ломаной, — происходит преломление или даже полное внутреннее отражение.

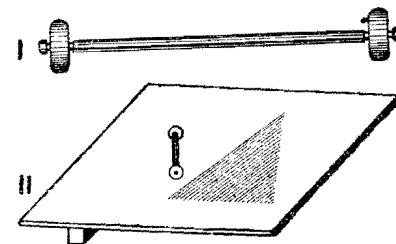


Рис. 324. Механическая модель преломления.

Чтобы уменьшить скорость одного из колесиков, надо положить на доску кусок мягкой материи (сукна, бархата, бумазеи) и направить колесики нанскось к ее границе. Меняя форму куска и наклон траектории к границе материи, можно наблюдать различные случаи преломления и полного отражения, представленные на рисунке 325: I — переход в более плотную среду, т. е. переход с доски на материю;

II — обратный переход; *III* — ход при двух параллельных границах; *IV* — модель хода в призме; *V* — полное внутреннее отражение при угле падения, больше предельного; *VI* — полное отражение в призме.

Трудный момент в этом опыте представляет собой переход колесиков с доски на материю, особенно, если ее слой более или менее толстый; поэтому весьма желательно (хотя только по краям) углубить материю в дерево, чтобы она пришлась с ним заподлицо. Неплохо доску заменить стеклом, а материю тонким слоем песка.

Конструкцию и размеры колесиков нельзя считать твердо установленными. Некоторые авторы советуют в противовес вышесказанному делать колесики свободно вращающимися на осях или же брать очень легкую ось (деревянную или скрученную из бумаги) и делать колесики из тонкого картона или толстой бумаги.

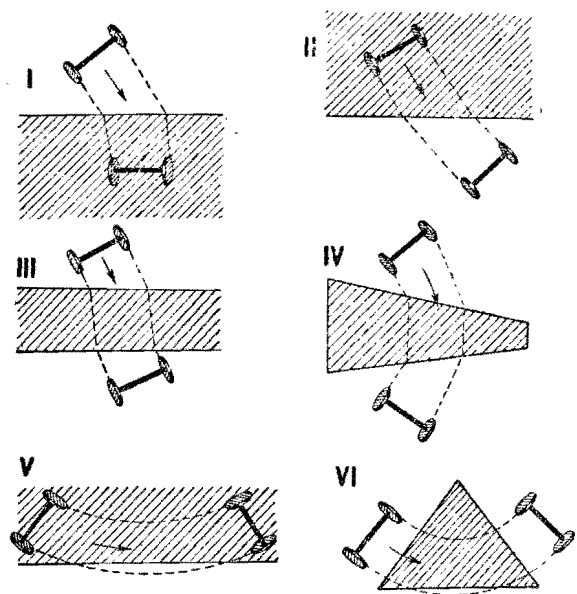


Рис. 325. Различные случаи движения тележки.

Вообще надо признать, что опыт с колесиками является, хотя и весьма заманчивым по идее, но зато и очень капризным, и редко удается отчетливо. Опыт требует предварительной пробы и довольно длительного налаживания.

§ 32*. Определение показателя преломления.

1*. Определение показателя преломления по способу булавок.

1) Стекло или сосуд с жидкостью. 2) Булавки. 3) Белая бумага. 4) Подстилка. 5) Транспортёр. 6) Циркуль. 7) Два угольника. 8) Масштабная линейка. 9) Остро очиненный карандаш.

Берется прозрачное тело (например кусок стекла) или стеклянный сосуд с жидкостью и при помощи булавок (§ 21, 6) провешиваются лучи падающий и преломленный; затем лучи вычерчиваются и измеряются углы падения a и преломления b ; по найденным значениям углов вычисляется показатель преломления n по формуле:

$$n = \frac{\sin a}{\sin b}.$$

Случай 1. Плоско-параллельная пластинка. Применяемое тело должно иметь хотя бы две плоские и параллельные грани.

Этому требованию удовлетворяют: трапециевидное стекло из набора шайбы Гартля или прибора Кольбе (рис. 182 и 189, № 5), стеклянный куб, например из набора Кольбе (рис. 189), стеклянный брусочек (7 см × 5 см × 2 см), кубический сосуд (§ 29, 6).

На кусок материала, в который легко втыкаются булавки (§ 21, 6), кладут лист белой бумаги, а на него — стеклянное тело, например брусочек. Провешивают падающий луч AB , втыкая вертикально две булавки A и B (рис. 326), причем булавку B помещают непосредственно у стекла. Смотри одним глазом сквозь стекло (на уровне

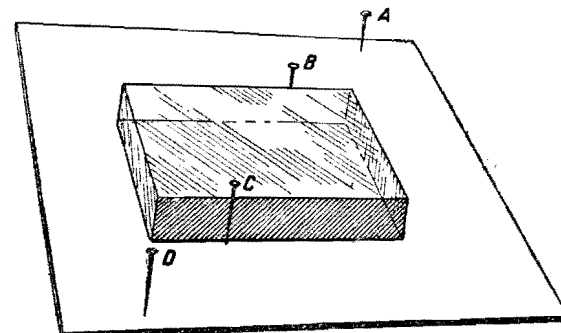


Рис. 326. Установка лабораторной работы с плоско-параллельным стеклом.

столу) с противоположной стороны, отыскивают изображения поставленных булавок A и B и находят такое положение глаза, чтобы эти изображения булавок A и B покрывали друг друга; тогда фиксируют луч зрения, втыкая еще две булавки C и D так, чтобы все четыре булавки казались лежащими на одной прямой. Булавку C ставят непосредственно у стекла.

Проверив установку, проводят остро очиненным карандашом прямые линии вдоль граней стекла, через которые шел луч зрения, и стекло удаляют; затем убирают булавки, одновременно обводя кружками уколы булавок.

Через уколы булавок проводят прямые AB и CD до пересечения с гранями стекла в точках B и C и соединяют между собой эти точки (рис. 327). Тогда ломаная линия $ABCD$ изображает ход луча через плоско-параллельную пластинку и позволяет убедиться в основном свойстве этого хода, именно, что выходящий луч CD параллелен падающему лучу AB .

В точке B (или C) проводят перпендикуляр к грани стекла KL (или MN) и измеряют при помощи транспортира углы падения $ABE = a$ и преломления $CBF = b$.

Рис. 327. Чертеж к лабораторной работе с плоско-параллельным стеклом.

Для определения углов можно также построить и измерить линии синусов этих углов, по длине радиуса вычислить синусы углов и по таблице найти углы. Зная углы, можно вычислить показатель преломления.

Случай 2. Полукруглое стекло или сосуд из набора Гартля (рис. 182, № 4) или Кольбе (рис. 189, № 4 и рис. 190).

Положив полукруглое стекло или сосуд на белую бумагу, ставят одну булавку B (рис. 328) около самого центра стекла (центр отыскивают делением диаметра пополам при помощи масштабной линейки), вторую булавку A — где-нибудь непосредственно около выпуклой поверхности стекла.

Смотря одним глазом сквозь плоскую грань стекла, отыскивают луч зрения, проходящий через обе булавки A и B , и на пути этого луча втыкают третью булавку C

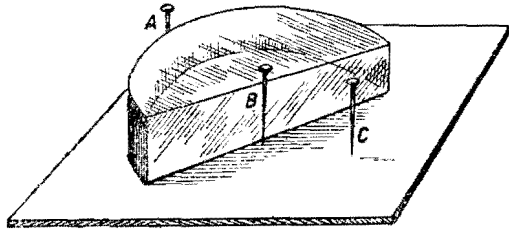


Рис. 328. Установка лабораторной работы с полукруглым стеклом.

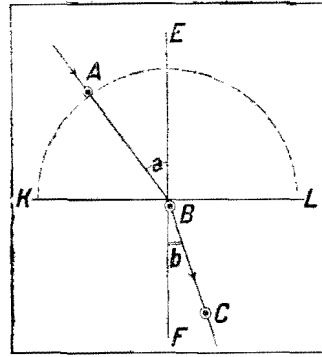


Рис. 329. Чертеж к лабораторной работе с полукруглым стеклом.

так, чтобы все три булавки видимо покрывали друг друга.

Проведя карандашом прямую KL вдоль плоской грани стекла, его удаляют и, обведя булавки кружочками, убирают их. Проведя падающий и преломленный лучи AB и BC (рис. 329), дальше поступают, как и в случае 1.

Случай 3. Трехгранная призма.

Этот случай измерения показателя преломления менее точен, чем предыдущие, но он полезен с методической стороны, так как позволяет учащимся лучше освоиться с ходом луча в призме, с наименьшим углом отклонения и вообще с приемом наблюдения сквозь призму. Все это дается учащимся с трудом, и они всегда с большим затруднением отыскивают изображение предмета, рассматриваемого сквозь призму. Применить можно стеклянную призму или призматический трехгранный сосуд (рис. 290) с жидкостью.

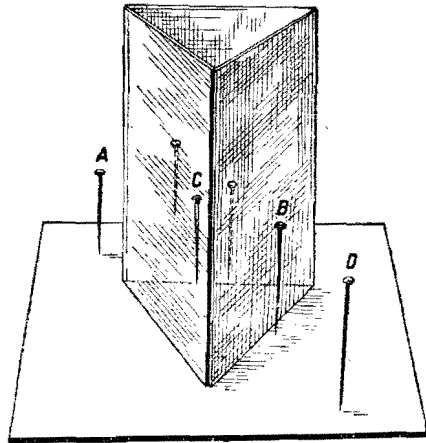


Рис. 330. Установка лабораторной работы с призмой.

(рис. 330). Смотря одним глазом на одну из булавок (например C), отыскивают такой луч зрения, чтобы на нем лежало изображение

другой булавки (B), видимое сквозь призму. Тогда на пути того же луча втыкают еще две булавки A и D до и после призмы так, что все 4 булавки должны казаться лежащими на одной прямой линии. При указанном расположении булавок луч проходит через призму с наименьшим отклонением (или, в крайнем случае, близок к таким условиям). В этом можно убедиться, поворачивая призму в ту и другую стороны; в обоих случаях изображение булавки A должно сдвигаться к преломляющему ребру призмы, т. е. отклоняться дальше от луча зрения DB .

Обведя карандашом грани призмы и места уколов, убирают призму и булавки и строят ход луча, т. е. ломаную линию $ABCD$ (рис. 331), которая обнаруживает свойство призмы отклонять луч к основанию.

Проведя в точке B (или C) перпендикуляр к ребру призмы KL (или ML), измеряют углы падения a и преломления b и вычисляют показатель преломления стекла.

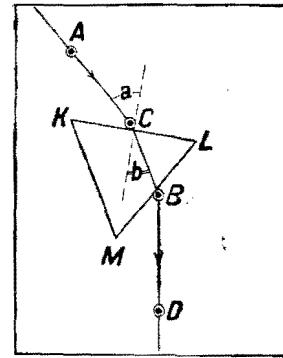


Рис. 331. Чертеж к лабораторной работе с призмой.

2*. Опыт Кеплера. 1) Куб стеклянный (или кубический сосуд с водой). 2) Картонная коробочка. 3) Кусок миллиметровой бумаги.

Картонная прямоугольная коробочка должна иметь ширину и глубину, одинаковые с кубом, так что куб плотно входит в коробочку (рис. 332). Поперек коробки на ее дно наклеивают миллиметровые деления.

Поставив перед собой коробочку, смотрят одним глазом на верхний продольный край коробочки так, чтобы был виден помимо куба задний край дна (рис. 333, луч ABD). Одновременно сквозь стеклянный кубик видна точка (деление) C дна.

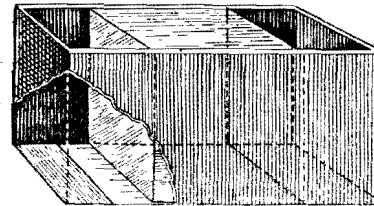


Рис. 332. Установка лабораторной работы по способу Кеплера.

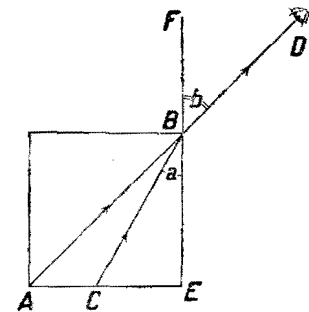


Рис. 333. Чертеж к лабораторной работе по способу Кеплера.

По миллиметровым делениям определяют расстояние AE и CE ; тогда, обозначая через a угол падения CBE и через b угол преломления $FBD = ABE = 45^\circ$, имеем:

$$\operatorname{tg} a = \frac{CE}{BE}; \quad \angle b = 45^\circ.$$

По тангенсу находят угол a и затем вычисляют показатель преломления.

3*. Опыт Ньютона. 1) Особый прибор. 2) Источник света. 3) Отвес. 4) Вода.

Прибор состоит из деревянной планки AB , которая вращается вокруг оси C , укрепленной на стойке D (рис. 334). На планке укреплены экран E и диоптр F с отверстием ($d=5$ мм); над диоптром F непосредственно привязан к планке стакан с ровным плоским дном. Отверстие в диоптре и отмеченная точка K на экране E должны находиться на продольной оси KL стакана, параллельной планке AB . К планке приделан транспортир P ; его центр должен совпадать с осью

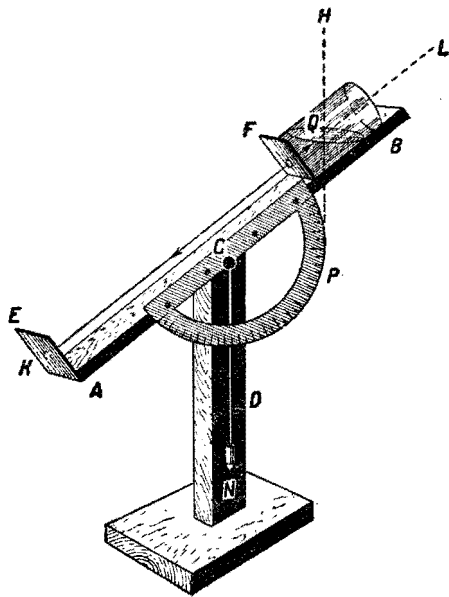


Рис. 334. Прибор Ньютона.

вращения C . В точке C подвешен отвес N . Луч неизменного направления QL (удобно брать солнечный) пускают на стакан с водой и приводят планку в такое положение, чтобы световой зайчик на экране E попал в точку K . Тогда по транспортиру найдем угол ACN , равный углу преломления KQP . Выливаем воду из стакана и поворачиваем планку так, чтобы зайчик опять попал в точку K ; тогда угол ACN даст величину угла падения LQH . По углам вычисляем показатель преломления.

4*. Гониометр Гримзеля.

1) Прибор. 2) Пять ползушек. 3) Три линзы. 4) Щель. 5) Диафрагма с волоском. 6) Призма.

Гониометр Гримзеля заслуживает внимания вследствие простоты своей конструкции, допускающей самодельное изготовление.

Прибор состоит из двух деревянных планок AB и AC (примерно $l=30$ см; $h=5$ см; $b=1$ см), соединенных концами при помощи петли A ; две другие планки ED и DF , более короткие, одинаковой длины ($l=8-10$ см), тоже соединены концами на петле и опять на петлях приделаны к длинным планкам на расстояниях от их общей оси вращения, равных длине коротких планок. Таким образом получается из планок ромб $AEDF$ (рис. 335). У петель A и D надо вынуть осевые стержни и заменить более длинными, чтобы концы выдавались в виде осей наружу на 1 см. На ось A надевается плотно трубочка H , припаянная под прямым углом к металлическому кружку K ($d=8-10$ см) с боковым отростком L , служащим продолжением радиуса. Вдоль отростка прорезана щель ($l=11-12$ см). Она начинается у самого кружка; на кружок наклеивается бумажный круг с градусными делениями, причем нулевой диаметр проходит через прорез; от нуля

идет счет делений в обе стороны. На одной из планок имеется указатель (стрелка M) для отсчета делений.

На планке CA при помощи двух жестяных (или деревянных) ползушек устанавливаются экран со щелью N ($b=2$ мм) и собирающая линза Q . На планке AB помещают линзу R (объектив), диафрагму S ($d=1,5$ см) с вертикальным волоском посередине и линзу T (окуляр); линзы выбираются из очковых стекол; у линз Q и R фокусное расстояние примерно должно равняться 15 см; линза T более коротко-

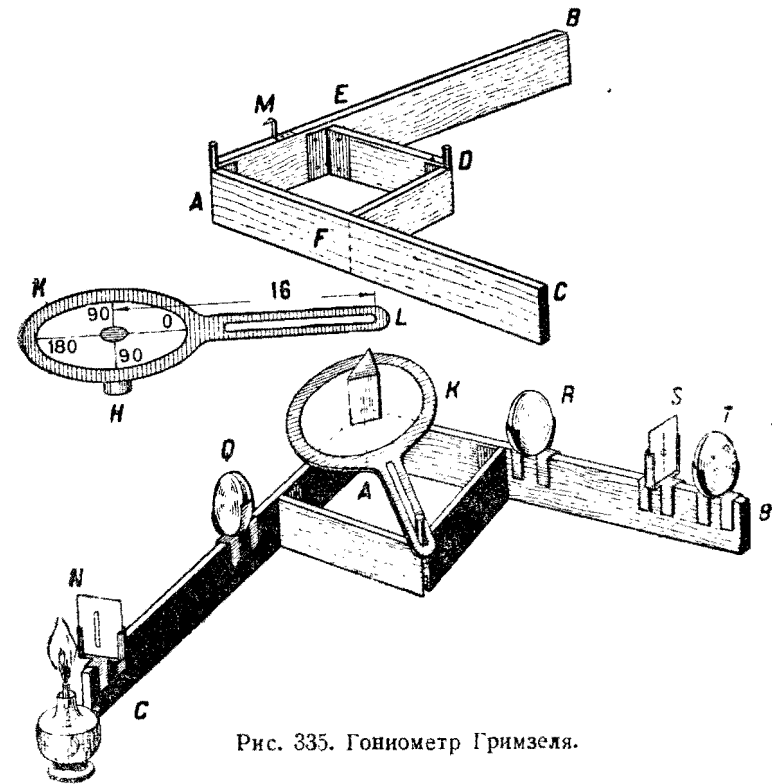


Рис. 335. Гониометр Гримзеля.

фокусная играет роль лупы (с фокусным расстоянием около 8 см). Экраны N и S должны находиться в фокусе линз Q и R ; чтобы этого достигнуть, наводят линзу на отдаленный предмет и добиваются резкого изображения на экране (рядом с отверстием); через линзу T должен быть отчетливо виден волосок в диафрагме S .

В качестве источника света для освещения щели N применяется монохроматическое (однородное по цвету) пламя, например пламя горелки, окрашенное парами натрия (§ 56, 3).

С гониометром производят два измерения.

Случай 1. Определение преломляющего угла призмы.

Не надевая прореза L на стержень D , на столик в его центре ставят трехгранную стеклянную призму и устанавливают столик K , коллиматор NQ и зрительную трубу KT так, чтобы в трубу было

видно изображение щели N (волосок S должен делить щель пополам), полученное путем отражения от грани ab призмы (рис. 336). Замечают деление круга m_1 , отмеченное указателем M . Поворачивают столик так, чтобы в трубе было видно изображение щели, отраженное гранью bc , и снова записывают деление круга m_2 , отмеченное ука-

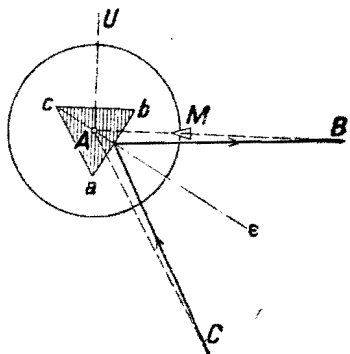


Рис. 336. Определение преломляющего угла призмы.

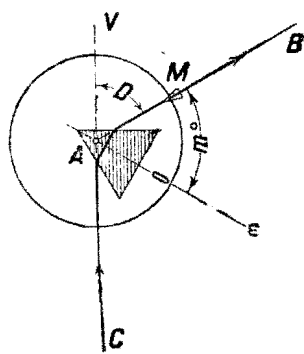


Рис. 337. Определение угла наименьшего отклонения.

зателем M . Ясно, что при втором положении круга нормаль U к грани bc должна занять положение нормали e к грани ab ; следовательно, между двумя положениями столика его надо повернуть на угол $UAε = (m_2 - m_1)$; но этот угол служит дополнением до 180° искомого преломляющего угла призмы P , т. е.

$$P = 180^\circ - (m_2 - m_1)^\circ.$$

Случай 2. Определение угла наименьшего отклонения. Надев прорез L на стержень D , на столик в его центре ставят призму так, чтобы преломляющее ребро призмы лежало на нулевом диаметре, а противоположная ребру грань была перпендикулярна к нулевому диаметру (рис. 337). Установка призмы должна дать наименьшее отклонение; проверяют это небольшими поворотами призмы. Так как нулевой диаметр благодаря прорезу L , надетому на D , всегда делит пополам угол BAC , то эта установка сохраняется при всех поворотах планок. Поймав в трубу изображение щели, видимое сквозь призму, производит отсчет круга m по указателю M . На рисунке видно, что угол наименьшего отклонения $VAB = D = 180^\circ - 2m^\circ$, т. е.:

$$D = 180^\circ - 2m^\circ.$$

Величины углов наименьшего отклонения для стеклянных призм были приблизительно указаны раньше (§ 29, 11). Измерение наименьшего угла можно произвести с полрой стеклянной призмой (рис. 293 и 497), наполненной какой-либо жидкостью (для воды угол наименьшего отклонения при преломляющем угле в 60° немного больше 20°).

По преломляющему углу P призмы и по углу наименьшего отклонения D можно вычислить показатель преломления по формуле:

$$n = \frac{\sin \frac{P+D}{2}}{\sin \frac{P}{2}}.$$

5*. Определение предельного угла жидкости. 1) Банка. 2) Жидкость. 3) Дощечка ($b = l = 8-10$ см). 4) Визальная игла или спица.

В середине дощечки прodelьвается отверстие такого диаметра, чтобы в отверстии достаточно крепко держалась спица перпендикулярно к плоскости дощечки. Дощечку спицей вниз пускают плавать на жидкость (воду), налитую в банку до самого верха (рис. 338).

Смотря одним глазом вдоль края дощечки на конец спицы, нахо-

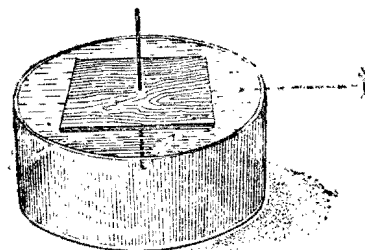


Рис. 338. Определение предельного угла для воды.

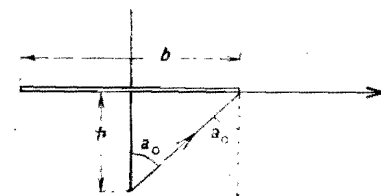


Рис. 339. Ход лучей при определении предельного угла для воды.

дящейся в воде, выдвигают спицу вверх на столько, чтобы конец спицы перестал быть видимым даже и в том случае, если луч зрения направлен горизонтально на уровне воды в сосуде. В таком случае угол падения равен предельному, и его легко вычислить по тангенсу, равному отношению половины ширины дощечки к длине части спицы, находящейся под дощечкой в воде (рис. 339):

$$\operatorname{tg} a_0 = \frac{b}{2h}.$$

Чтобы дощечка вследствие своей толщины не мешала наблюдению, необходимо взять дощечку возможно более тонкую. Чтобы в такой дощечке укрепить спицу, можно приклеить (например сургучом) кусочек пробки, в которую и вставить спицу.

ЛИНЗЫ.

§ 33. Модели линз из призм.

1. Модель из двух призм. 1) Две трехгранные стеклянные призмы. 2) Источник света. 3) Ширма с двумя щелями.

На пути двух параллельных лучей света помещают по призме двумя способами. В первом случае призмы обращены друг к другу своими основаниями (рис. 340, I) и собирают падающие лучи, представляя принцип действия собирающей линзы. Во втором случае призмы обращены основаниями наружу и потому рассеивают лучи подобно рассеивающей линзе (рис. 340, II).

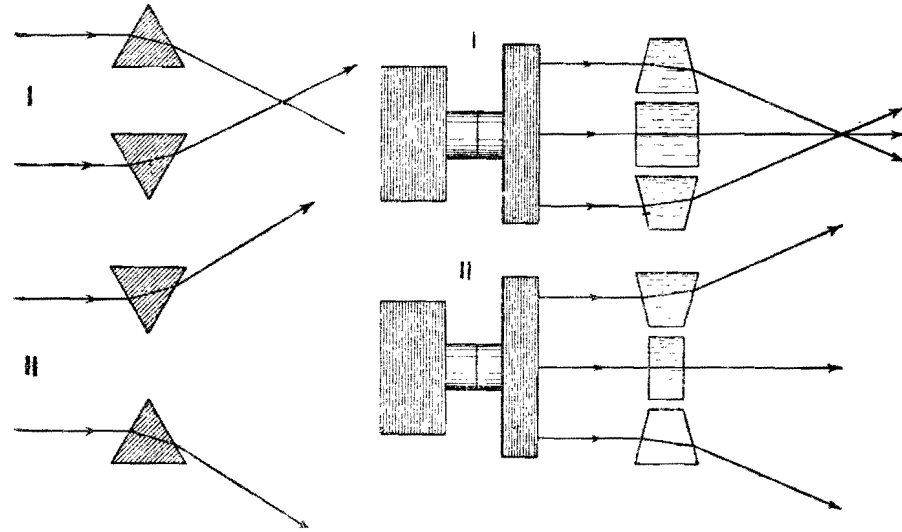


Рис. 340. Модель линз из призм.

Рис. 341. Модель линз по Гримзелю.

2. Прибор Гримзеля. 1) Четыре стеклянных сосуда для составления линз. 2) Источник света. 3) Приспособление Гримзеля для получения параллельных лучей (рис. 341).

Четыре сосуда представляют собой две призмы (усеченные) и две плоско-параллельные пластинки разной толщины. Сосуды складывают вместе, помещая один на другой, причем в середине должна оказаться плоско-параллельная пластинка, а над и под нею — призмы. Если призмы приложены к (большой) плоско-параллельной пластинке своими широкими основаниями, получается модель собирающей линзы (рис. 341, I); если же призмы приложены к (меньшей) плоско-параллельной пластинке своими узкими основаниями, то прибор рассеивает лучи и изображает собой рассеивающую линзу (рис. 341, II).

3. Прибор „Станкин“. 1) Две ширмы с тремя стеклами каждая. 2) Источник света.

Экспериментальная мастерская при физической лаборатории московского Станкоинструментального института („Станкин“) выпустила в продажу универсальную оптическую скамью (копию скамьи фирмы Spindler und Hoyer (т. I, рис. 240). Среди принадлежностей у скамьи имеются членистые выпуклая и вогнутая линзы, состоящие каждая из трех частей — плоско-параллельной пластинки и двух призм (рис. 342). Действие прибора такое же, как в опыте 2.

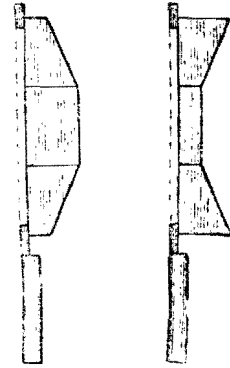


Рис. 342. Модель линз из набора „Станкин“.

§ 34. Ход лучей в линзах.

1. Шайба Гартля. 1) Прибор. 2) Двойковогнутое стекло (№ 6 из набора). 3) Двойковыпуклое стекло (№ 7 из набора). 4) Источник света. 5) Линеечка. 6) Карандаш для писания на стекле.

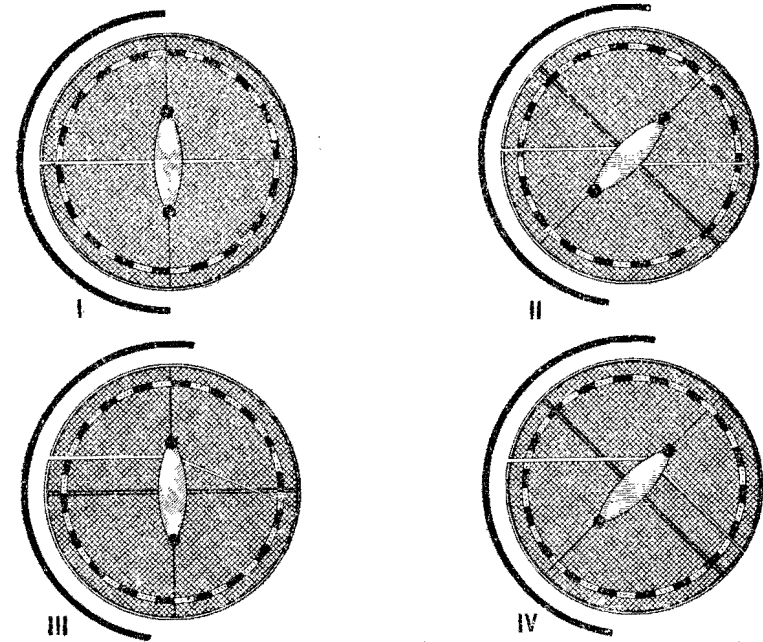


Рис. 343. Шайба Гартля (ход лучей в двойковогнутой линзе).

Стекло при помощи двух зажимных винтов (по концам) укрепляют на шайбе так, чтобы середина (оптический центр) стекла совпала с центром шайбы, оптическая ось стекла совпала с нулевым диаметром. Установку проверяют, направив на стекло падающий луч вдоль нулевого диаметра; тогда выходящий луч должен идти тоже вдоль этого диаметра (рис. 343, I).

Когда установка готова, направляют на стекло один луч (открыта одна средняя щель) и, меняя его положение относительно стекла поворотом шайбы и ширмы, показывают учащимся следующие случаи хода лучей в двояковыпуклой линзе.

Случай 1. Луч, проходящий через оптический центр линзы, идет, не изменяя своего направления (луч испытывает сдвиг тем меньший, чем тоньше линза).

Поворачивают шайбу так, чтобы луч внутри стекла проходил всегда через его середину. Для этого придется чуть сдвинуть шайбу (щель), (рис. 343, II). Опыт повторяют несколько раз, направляя луч под разными углами.

Случай 2. Луч, идущий параллельно главной оптической оси стекла, по выходе из стекла проходит через фокус стекла.

Восстановив основную установку, не трогают шайбу и сдвигают ширму (щель) так, чтобы луч шел параллельно оптической оси стекла, т. е. (соответственно начальной установке) параллельно нулевому диаметру (рис. 343, III). Если падает пучок непараллельных лучей (немного расходящихся), то, кроме того, придется немного повернуть шайбу. Точка нулевого диаметра, через которую пройдет луч после стекла, будет фокусом стекла (назовем его первым, F_1). Этот фокус отмечают карандашом (для писания на стекле) и, повторяя опыт с несколькими падающими лучами, обнаруживают, что все такие лучи после стекла проходят через фокус.

Вернувшись к основной установке, поворачивают шайбу на 180° (так что лучи будут падать с другой стороны стекла, чем в предыдущем опыте), повторяют опыт и находят второй фокус стекла (обозначим его через F_2). Положение его отмечают на шайбе. Обращают внимание учащихся на одинаковое расстояние от стекла обоих фокусов (примерно 8—9 см).

Случается, что с одного раза положение фокуса определяется не совсем верно. Это скажется при повторных опытах, поэтому полезно заранее отыскать фокусы и, проверив их положение, отметить их карандашом (обычным) на шайбе.

Случай 3. Луч, проходящий через фокус линзы, после нее идет параллельно главной оптической оси.

Поворотом шайбы и ширмы направляют луч через фокус F_1 . Тогда после стекла луч должен пойти параллельно главной оптической оси, т. е. нулевому диаметру (рис. 343, IV). Эту установку удобнее выполнять по выходящему лучу, чем по падающему, т. е. надо устанавливать шайбу так, чтобы выходящий из стекла луч был параллелен нулевому диаметру. Тогда падающий луч должен пройти через фокус. Опыт повторяют с несколькими лучами и с обоими фокусами. Если вместо узкого ($b \approx 3$ см) двояковыпуклого стекла взять более широкое ($b \approx 4,5$ см) стекло (№ 8 из набора), имеющее меньшие радиусы или большую кривизну, то можно показать, как величина фокусного расстояния зависит от кривизны. У более толстого стекла фокусное расстояние примерно 6—7 см, т. е. оно уменьшается с увеличением кривизны.

Двояковыпуклое стекло заменяют двояковогнутым (№ 7 из набора) и устанавливают его совершенно так же (рис. 344, I), как устанавливали двояковыпуклое. Затем производят аналогичную серию опытов, разбив их на три случая.

Случай 1. Луч, проходящий через оптический центр линзы, не меняет своего направления, но испытывает сдвиг.

Надо заметить, что сдвиг у двояковогнутого стекла будет меньше, чем у выпуклого, поскольку вогнутое стекло в своей середине тоньше выпуклого (рис. 344, II). Опыт производится таким же образом, как и с двояковыпуклым стеклом.

Случай 2. Луч, идущий параллельно главной оптической оси, после стекла идет так, что продолжение луча проходит через фокус (лежащий перед стеклом).

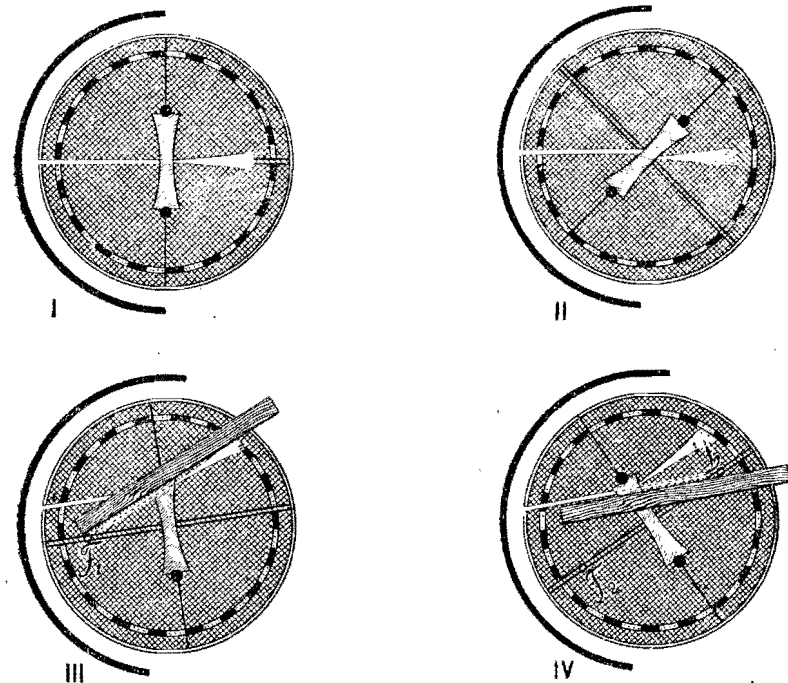


Рис. 344. Шайба Гартля (ход лучей в двояковогнутой линзе).

Установку производят так же, как и для двояковыпуклого стекла, но дальше придется поступить иначе: чтобы найти фокус, надо приложить к прошедшему через стекло лучу линейку и найти точку ее пересечения с нулевым диаметром (оптической осью) перед стеклом (рис. 344, III). Эта точка и будет первым (мнимым) фокусом линзы. На шайбе отмечают положение первого фокуса (F_1) карандашом (для писания на стекле). Как это было сказано относительно двояковыпуклого стекла, и в данном случае целесообразно отыскать положение фокуса заранее и наметить его на шайбе. Повернув шайбу на 180° , направляют луч света на стекло с другой его стороны и, повторив тот же опыт, находят второй (мнимый) фокус (F_2) линзы; показывают учащимся, что оба фокуса лежат на одинаковых расстояниях от стекла.

Так как двояковогнутое стекло рассеивает свет, то лучи, прошедшие через стекло, дают на экране светлые полосы, постепенно

расширяющиеся и потому быстро теряющие свою яркость. Такие лучи трудно проследить на экране на большом расстоянии и часто с трудом удается дотянуть их до градусных делений. Большая ширина полосы затрудняет решение вопроса о фиксировании направления луча; приходится за его направление принимать среднюю линию полосы.

Случай 3. Луч, идущий так, что его продолжение (по другую сторону стекла) проходит через фокус линзы, после линзы идет параллельно главной оптической оси.

Как и в случае выпуклого стекла, установку удобнее производить по вышедшему из стекла лучу, т. е. поворотами шайбы и ширмы со целью добиться, чтобы луч после стекла шел параллельно нулевому диаметру. Тогда продолжение падающего луча по другую сторону стекла должно пройти через фокус линзы; в этом убеждаются, прикладывая линейку к падающему лучу (рис. 344, IV). Опыт повторяют с несколькими падающими лучами и с обоими фокусами.

Надо обратить внимание учащихся на взаимную обратимость второго и третьего случаев хода лучей в линзах. Об этой обратимости было сказано раньше (§ 30, 1); знание этой обратимости облегчает запоминание всех случаев хода лучей.

2. Прибор Кольбе — см. опыт 1.

Установка и все опыты ничем не отличаются от описанных в опыте 1 по отношению к шайбе Гартля.

3. Собираение и рассеивание лучей линзами. 1) — 4) см. опыт 1. 5) Собирающая линза. 6) Рассеивающая линза. 7) Дымарь. 8) Небольшой просвечивающий экран.

Случай 1. Повторяют на шайбе Гартля опыт 1 с двояковыпуклым и двояковогнутым стеклами, но применяют несколько лучей (3—5), открывая для этого соответствующее число щелей.

Опыт обнаруживает собиание лучей двояковыпуклым стеклом (рис. 345, I) и рассеивание двояковогнутым (рис. 345, II и V).

Случай 2. Предыдущий опыт повторяют с сильно расходящимся пучком лучей (§ 25, 1). Тогда одновременно будут видны светящая точка A и ее действительное изображение B в двояковыпуклом стекле (рис. 345, III), а также мнимое изображение C точки A в двояковогнутом стекле (рис. 345, IV).

Случай 3. Два предыдущих опыта производят еще раз, но уже не на шайбе Гартля, а с отдельными линзами (на подставках) — собирающей и рассеивающей — и применяют на этот раз не отдельные лучи, а сплошной пучок — сперва параллельный, затем расходящийся. За ходом лучей пучка следят или при помощи дыма (рис. 346), или при помощи небольшого просвечивающего экрана. Размер светлого пятна указывает поперечное сечение пучка; второй способ менее нагляден, чем первый.

4. Получение изображений при помощи сферических стекол (линз). 1) Линзы на подставках. 2) Электrolампа в патроне. 3) Экран. 4) Два штатива. 5) Метр.

В качестве предмета, изображение которого наблюдают, берут электrolампу с подковообразным волоском. Патрон с лампой укрепляют на штативе так, чтобы плоскость подковообразного волоска была вертикальной и параллельной экрану. Между лампой и экраном поме-

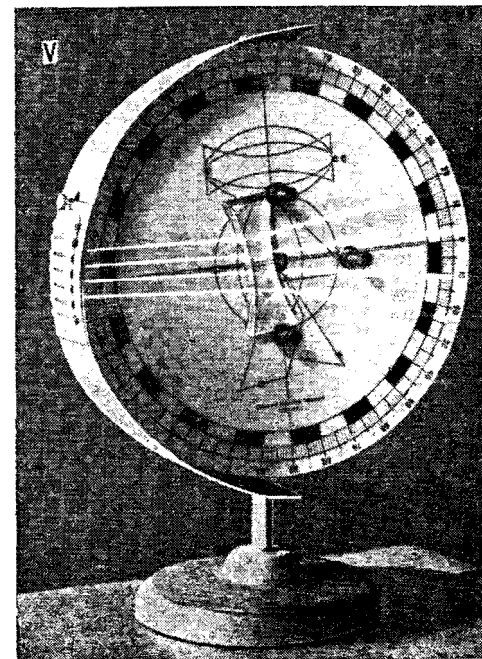
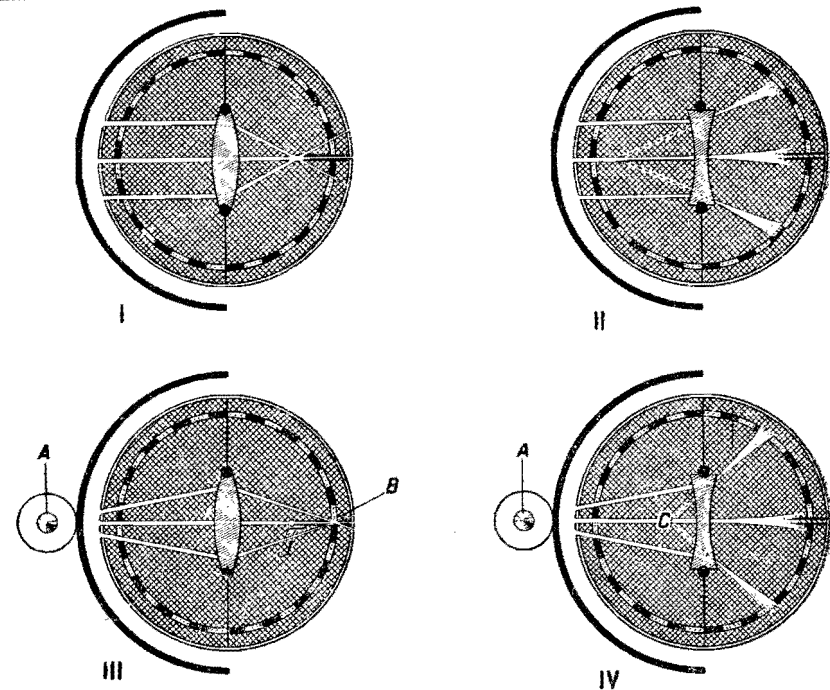


Рис. 345. Шайба Гартля (собираение и рассеивание лучей линзами).

щают линзу. Если экран просвечивающий, то его ставят у переднего края стола (ближе к учащимся), а предмет сзади (дальше от учащихся); если экран непрозрачный, то предмет и экран располагают в обратном порядке — почти (с небольшим отклонением) вдоль демонстрационного стола (а не поперек его, как в первом случае); источник света необходимо чем-нибудь заслонить со стороны учащихся.

Для данного опыта нужно иметь две линзы — двояковыпуклую (с фокусным расстоянием около 15—20 см) и двояковогнутую.

Кроме того, в кабинете желательно иметь набор из 6 линз (продается в общей коробке, рис. 347): двояковыпуклая; плосковыпуклая; вогнутовыпуклая; двояковогнутая, плосковогнутая и выпукловогнутая; поперечные сечения линз изображены на рисунке 348. Плосковыпуклая линза (часто две) имеется в проекционном фонаре в качестве конденсора. Для данного опыта можно воспользоваться линзами из указанного набора, но тогда необходимо сделать держатели для линз (§ 20, 6).

Собирающей линзой показывают несколько случаев получения изображений.

Случай 1. Предмет лежит за двойным фокусом (т. е. дальше двойного фо-

кусного расстояния) — изображение действительное, обратное, уменьшенное и лежит между фокусом и двойным фокусом (рис. 349).

Фокусное расстояние для стекла надо определить заранее (см. случаи 4 и 5).

Случай 2. Предмет лежит между фокусом и двойным фокусом — изображение действительное, обратное, увеличенное и лежит за двойным фокусом (рис. 350).

При очень больших размерах изображения его проектируют прямо на стену.

Случай 3. Предмет лежит между фокусом и стеклом — изображение мнимое, прямое, увеличенное и лежит по одну сторону линзы вместе с предметом.

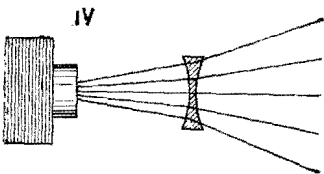
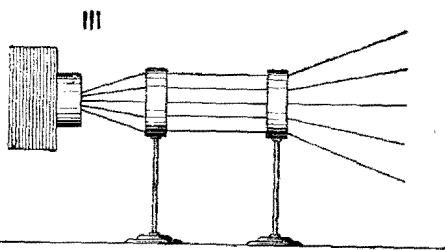
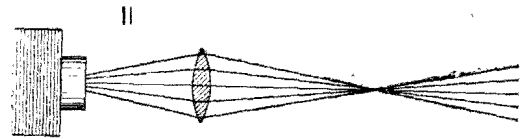
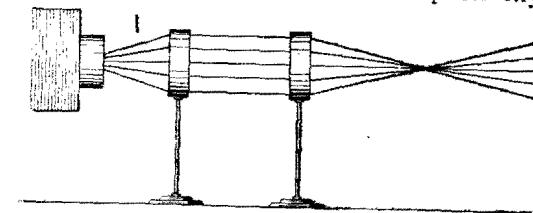


Рис. 346. Прохождение пучка лучей через линзы.

кусного расстояния) — изображение действительное, обратное, уменьшенное и лежит между фокусом и двойным фокусом (рис. 349).

Фокусное расстояние для стекла надо определить заранее (см. случаи 4 и 5).

Случай 2. Предмет лежит между фокусом и двойным фокусом — изображение действительное, обратное, увеличенное и лежит за двойным фокусом (рис. 350).

При очень больших размерах изображения его проектируют прямо на стену.

Случай 3. Предмет лежит между фокусом и стеклом — изображение мнимое, прямое, увеличенное и лежит по одну сторону линзы вместе с предметом.

В этом случае вследствие мнимости изображения его нельзя получить на экране, а можно лишь наблюдать индивидуально; тогда поступают, как делали в соответствующем опыте с вогнутым зеркалом (§ 27, 8, случай 3). Желательно дать несколько линз в руки учащимся, чтобы они могли посмотреть через линзу на печать в книге.

Случай 4. Предмет лежит в двойном фокусе — изображение действительное, обратное, натуральной величины и лежит в двойном фокусе.

Проверяя посредством метровой линейки расстояния линзы от лампы и от экрана, добиваются такого их расположения, чтобы оба упомянутые расстояния оказались одинаковыми; тогда каждое из этих расстояний равно удвоенному фокусному расстоянию. Этот случай дает приближенный способ определения фокусного расстояния линзы.

Случай 5. Предмет находится далеко (бесконечно удален) — изображение лежит в фокусе линзы.

Через окно (лучше открытое) при помощи линзы получают на экране изображение далекого предмета (например дома). Расстояние экрана от линзы достаточно точно равняется фокусному расстоянию линзы; этот способ нахождения фокуса был применен в установке гониометра Гримзеля (§ 32, 4). При таком способе определения фокусного расстояния всего лучше получать изображение Солнца. Собирая солнечные лучи в фокусе линзы, можно зажечь горючие предметы (спичка, бумага, лучинка), помещенные в этом фокусе. При желании можно сделать для этого опыта водяную линзу (из двух выпуклых часовых стекол, соединив их края менделеевской замаской и оставив две небольшие дырочки для наливания воды), ледяную линзу из куска чистого прозрачного льда; особенно хороша линза из каменной соли (прозрачной для инфракрасных лучей).

Случай 6. Источник света находится в фокусе линзы — лучи по выходе из линзы идут параллельным пучком (изображения в этом случае нет никакого).

Этот случай применяется для получения пучка параллельных лучей (§ 17, 2).

Проведя опыты с собирающейся линзой, берут рассеивающую линзу и показывают с нею один случай получения изображения.

Случай 7. Где бы ни лежал предмет, рассеивающая линза дает изображение мнимое, прямое, уменьшенное и лежащее перед стеклом (на одной стороне с предметом относительно линзы).

Так как мнимое изображение на экран спроектировать нельзя то этот случай допускает лишь непосредственное наблюдение, причем, целый класс одновременно видеть не может и приходится показывать

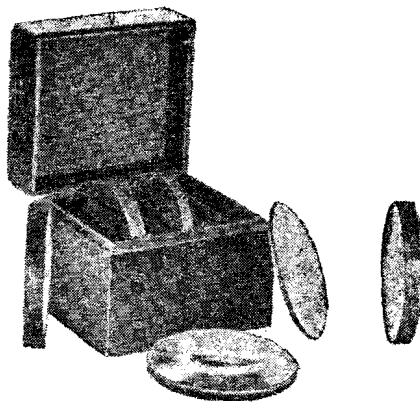


Рис. 347. Набор линз.

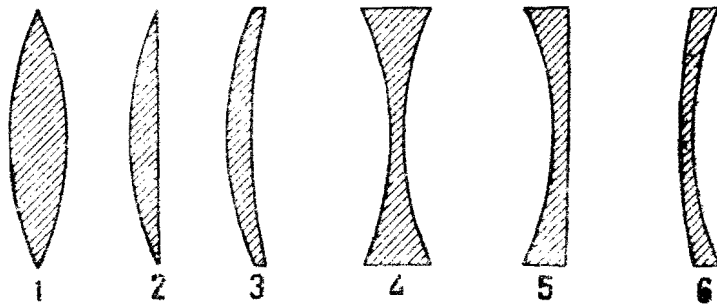


Рис. 348. Поперечные сечения линз.

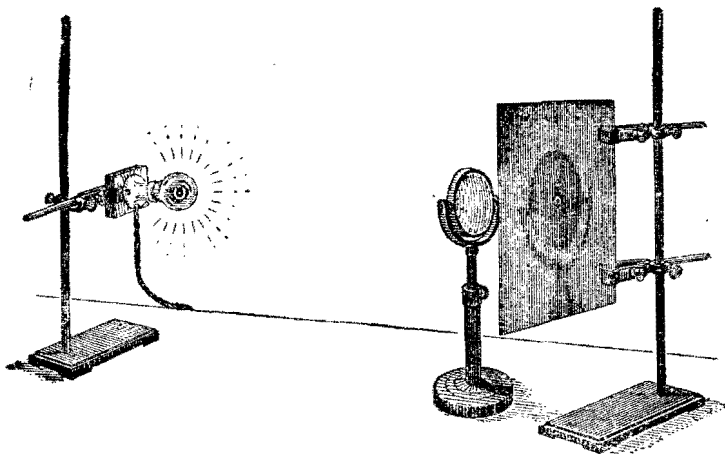


Рис. 349. Получение изображений при помощи линз; первый случай.

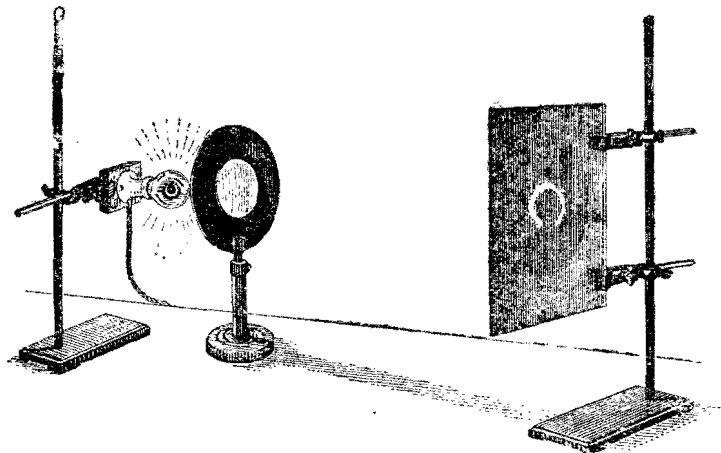


Рис. 350. Получение изображений при помощи линз второй случай.

по группам. Вместо этого лучше дать учащимся на руки несколько рассеивающих линз, чтобы они сквозь стекла могли посмотреть хотя бы на печать в книге.

§ 35. Недостатки линз.

1) Шайба Гартля. 2) Стекла. 3) Линзы (желательно большого размера). 4) Источник света. 5) Экран. 6) Ширма с небольшим круглым отверстием. 7) Стекло с начерченными линиями. 8) Предмет для изображения. 9) Несколько диафрагм.

В этом параграфе приведены опыты, обнаруживающие недостатки линз, и указаны средства ослаблять эти недостатки. Изложенные опыты дают вместе с тем приемы, при помощи которых можно исследовать качества линз.

1. Сферическая абберация. Берут установку опыта 1 в § 34, но открывают несколько щелей (5—7); чтобы выделить краевые лучи, желательно крайние щели закрыть полосками цветного стекла.

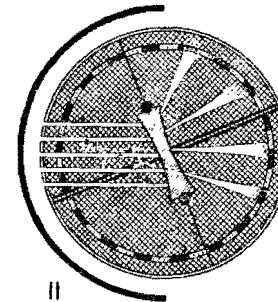
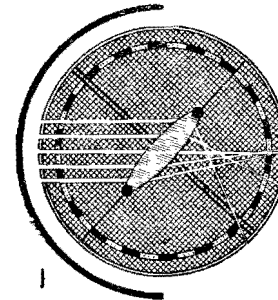


Рис. 351. Шайба Гартля; сферическая абберация в линзах.

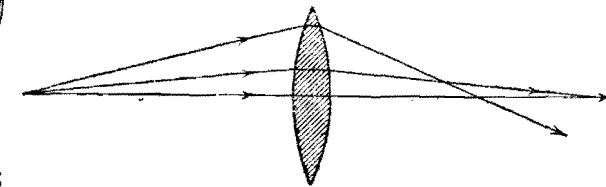


Рис. 352. Ход лучей при сферической абберации.

где сходятся продолжения лучей, надо, прикладывая к ним линейку, наметить карандашом (для стекла) эти продолжения хотя бы для трех лучей. Опыты можно произвести и с линзами подобно демонстрационным опытам с ходом лучей (§ 34, 3). За ходом лучей можно проследить или методом прозрачного экрана, или способом запыленного воздуха.

Так как сферическая абберация зависит не только от формы поверхностей линзы, но и от угла падения лучей, то, например, у плоско-

выпуклой линзы aberrация меньше, когда лучи падают на плоскую поверхность, нежели при падении лучей на выпуклую.

Сферическую aberrацию уменьшают подбором двух линз, помещенных на расстоянии друг от друга.

Aberrацию, зависящую от наклона лучей, ослабляют диафрагмами (см. дальше).

2. Хроматическая aberrация. Если в опыте (1) на шайбе Гартля сделать краевые лучи цветными, закрыв крайние щели полосками цветного стекла (одну — синего, другую — красного), то будет видно, что фиолетовый луч пересекает оптическую ось ближе к стеклу, чем красный (рис. 353). Это явление, названное хроматической (цветной) aberrацией, влечет за собой окраску краев изображения в радужные цвета и, конечно, нечеткость изображения.

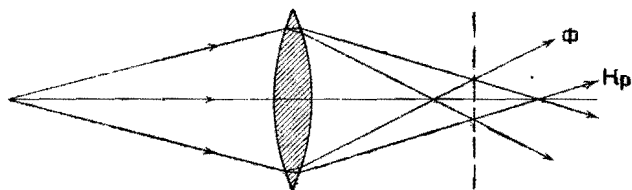


Рис. 353. Ход лучей при хроматической aberrации.

Дальше приведена лабораторная работа (§ 36, 4, случай 6), определяющая фокусное расстояние для красных и синих лучей.

Хроматическая aberrация уничтожается складыванием вместе двух линз — дробновыпуклой и дробновогнутой, подобранных из разного стекла так, что сложная линза не разлагает лучей на цвета (ахроматическая линза, рис. 354).

Чтобы показать свойства ахроматической линзы, надо при помощи одного дробновыпуклого стекла, входящего в состав такой линзы, или вообще при помощи одного собирающего стекла спроектировать

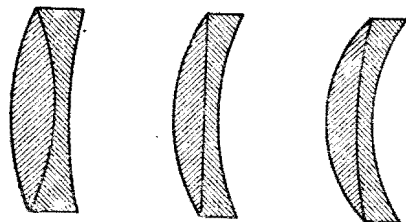


Рис. 354. Ахроматические линзы.

на экран какой-нибудь чертеж. Тогда на экране каждая линия будет сопровождаться по бокам продольными цветными каемками: с одной стороны красного цвета, с другой — синего. При проектировании того же чертежа при помощи ахроматической линзы получается изображение или совсем без цветных каемок, или с очень незначительными каемками.

3. Астигматизм. Так называется свойство линзы, состоящее в том,

что изображение светящей точки не является точкой (стигма — по-гречески точка). Астигматизм вызывается различием в кривизне поверхностей линзы, но зависит также от наклона лучей к оптической оси линзы, когда лучи выходят из точки, лежащей вне оси (астигматизм косых пучков). Чтобы продемонстрировать это явление, надо

с помощью собирающей линзы получить на экране изображение небольшого ($d = 2-3$ мм) отверстия, освещенного электролампой, и затем

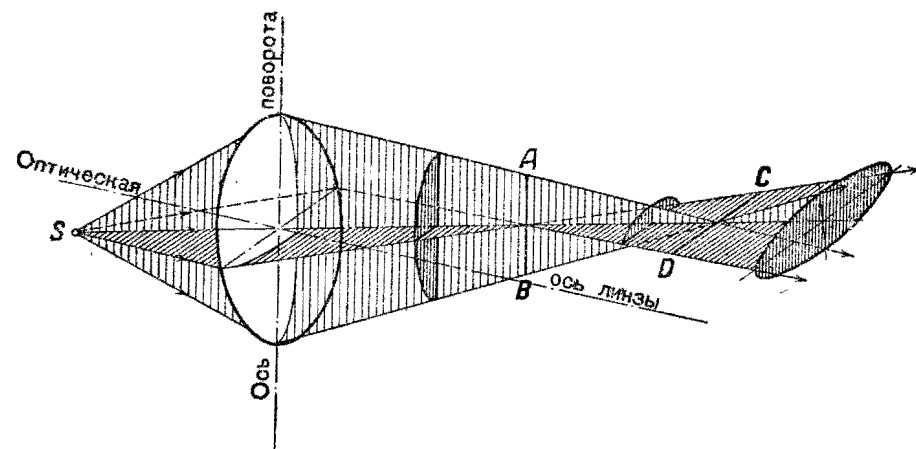


Рис. 355. Ход лучей при астигматизме косых пучков.

повернуть линзу на угол, примерно 45° , около одного из ее диаметров, как около оси; тогда изображение в виде небольшого кружка исчезнет и заменится размытым пятном; перемещая экран, можно получить на нем два изображения в виде узких полосок (линий); одно из них, параллельное оси вращения линзы, будет лежать ближе к линзе, чем второе. На рисунке 355 изображен пучок лучей, выходящих из одной точки S (не на оси линзы). После линзы пучок имеет сложную форму; на рисунке представлен ряд поперечных сечений пучка, из них два имеют форму прямых AB и CD.

Астигматизм ослабляется подбором линз, составляющих сложную систему.

Об астигматизме глаза см. § 39.

4. Искривление плоскости изображения (кривизна поля). Это явление заключается в том, что изображения точек плоского предмета лежат на изогнутой (кривой) поверхности. Объясняется это различием фокусных расстояний линзы для разных побочных осей.

5. Искривление линий. Прямые линии предмета оказываются на его изображении изогнутыми. Это явление обусловлено разницей в увеличении, даваемой линзой в разных местах своей поверхности, т. е. для различных лучей, идущих под разными углами к оптической оси.

Если у краев стекла увеличение получается больше, чем в середине, то прямые линии изображаются в виде кривых, обращенных выпуклостью к оптической оси (рис. 356, II). Если увеличение у краев меньше, то диагонали изображаемого квадрата уменьшаются, и его стороны кажутся выпуклыми (рис. 356, III).

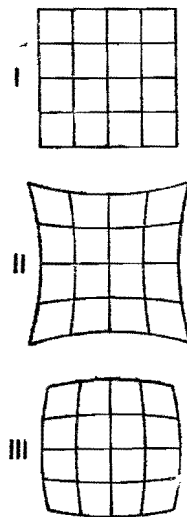


Рис. 356. Искривление изображений.

Чтобы наблюдать искривления изображений, беруг стекло, покрытое слоем желатина (проявленная и закрепленная фотопластинка), и тушью чертят квадратную сетку, ряд concentрических окружностей и две диагонали, у которых одна проведена лишь наполовину, чтобы получить несимметричную фигуру, позволяющую заметить обратность изображения (рис. 357). При помощи исследуемой линзы получают изображение начерченных фигур, осветив их источником света. Перемещая экран, наблюдают изображения в разных местах и следят, как резкость изображения различных мест предмета и искажения линий меняются с положением экрана.

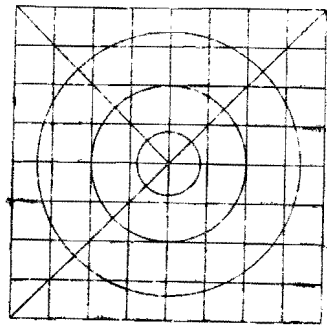


Рис. 357. Диапозитив для исследования качества линз.

Беруг двояковыпуклую линзу со сравнительно небольшим фокусным расстоянием (10--15 см) и предмет (§ 27, 7) в виде металлической сетки (не очень мелкой; ширина ячейки около 2 мм). Линзу надо укрепить в куске фанеры или картона, чтобы свет помимо линзы не мог попасть на экран. Если применяется линза в металлической оправе на штативе (рис. 350), то надо к оправе привязать защитную ширму с отверстием по размеру линзы.

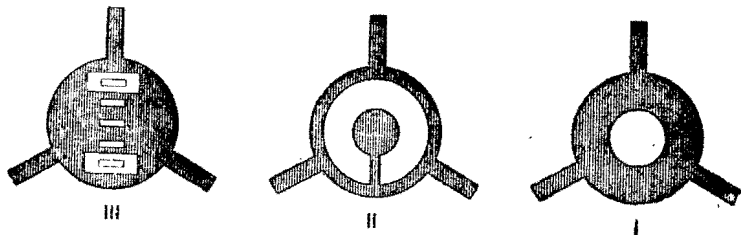


Рис. 358. Диафрагмы.

Для опыта нужно приготовить из жести 7 диафрагм в виде кружков с тремя отростками, при помощи которых диафрагма или навешивается на оправу линзы, или на самую линзу. Диафрагмы окрашиваются в черный цвет. Три диафрагмы должны иметь в центре по круглому отверстию (рис. 358, I) в 6 см, 3 см и 1,5 см диаметром, если диаметр отверстия самой линзы не менее 8 см. Если этот последний диаметр окажется меньше 8 см, то диаметры отверстий диафрагм надо соответственно уменьшить. Можно воспользоваться диафрагмой „Ирис“ с переменным отверстием (рис. 359), если она имеется в кабинете. Три другие кольцеобразные диафрагмы вырезаются согласно рисунку 358, II, диаметры внутренних кружков — такие же, как у отверстий, т. е. 6 см, 3 см и 1,5 см. Последняя (седьмая) диафрагма имеет

пять щелей ($b = 2-3$ мм), расположенных вдоль одного из диаметров (рис. 358, III). Весьма желательно сделать две крайние щели цветными, заклеив их или цветным желатином, или полосками цветных (тонких) стекол.

Случай 1. Поместив предмет (сетку, освещенную электролампой) в двойном фокусе линзы, получают на экране действительное изображение сетки. Изображение имеет размытые края и вообще не очень отчетливо по той причине, что краевые лучи дают изображение в иной плоскости (ближе к стеклу), чем центральные лучи.

Случай 2. Непосредственно около линзы ставят диафрагму так, чтобы центр ее отверстия совпал с оптической осью линзы. Начинают с наибольшего отверстия и постепенно переходят к наименьшему. Изображение по мере уменьшения отверстия становится все отчетливее и приобретает все более резкие очертания, но яркость изображения уменьшается. Происходит это по той причине, что диафрагма не пропускает краевые лучи. По мере того как пучок центральных лучей делается более узким, он все точнее сходится в одной точке. Чтобы увидеть конус сходящихся лучей и проследить за его ходом, надо экран расположить вдоль оптической оси стекла (начиная от самого стекла) и немного отклонить его от оси так, чтобы на нем получилось осевое сечение конуса лучей.

Случай 3. Три другие диафрагмы (кольцеобразные, с кружком в центре) производят обратное действие — пропускают только краевые лучи и потому изображения, образованные этими лучами, отличаются большой неясностью и лежат ближе к стеклу, чем в случае 2. Опыты начинают с диафрагмы, имеющей в середине наименьший кружок; чтобы проследить за получением изображения, надо экран каждый раз сперва помещать у самого стекла и затем уже постепенно отодвигать до получения изображения сетки. Полезно и в этом случае исследовать конус тени и лучей, проектируя их осевое сечение на экран.

Случай 4. Чтобы проследить различие в ходе краевых и центральных лучей, на линзу надевают седьмую диафрагму (со щелями) и экран помещают около самой линзы — на экране видны 5 (по числу щелей) маленьких полосок, расположенных так же, как и на диафрагме. По мере удаления экрана полоски сближаются, сдвигаясь к средней; на некотором расстоянии крайние полоски совпадут со средней, но промежуточные боковые чуть-чуть не доходят до средней. При дальнейшем удалении экрана крайние полоски опять отойдут от середины, но поменяются своими местами (прежняя нижняя перейдет наверх); это очень хорошо заметно, если крайние полоски цветные.

Случай 5. Все перечисленные опыты можно проделать и с двояковогнутой линзой, только придется исследовать не изображение, а рез-

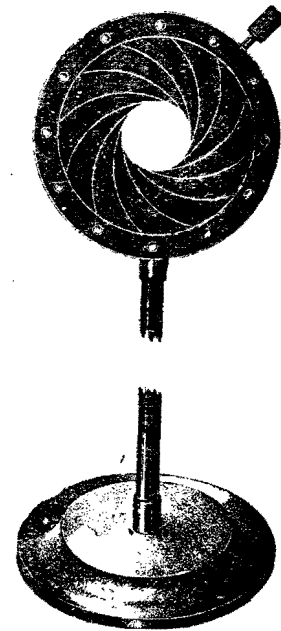


Рис. 359. Диафрагма „Ирис“.

кость и размеры светлого круга, даваемого на экране расходящимся пучком света, прошедшего через линзу. Получая на экране след осевого сечения конуса лучей, можно изучить свойства этого конуса. Чтобы проследить ход различных лучей, надо применить диафрагму с 5 щелями; измерение взаимных расстояний лучей показывает, какие лучи сильнее расходятся, какие — слабее; отсюда можно вывести заключение о расположении мнимых изображений, даваемых центральными и краевыми лучами.

Случай 6. Диафрагмы могут искажать изображения. Если предмет имеет большие размеры (по сравнению с линзой), то диафрагма D

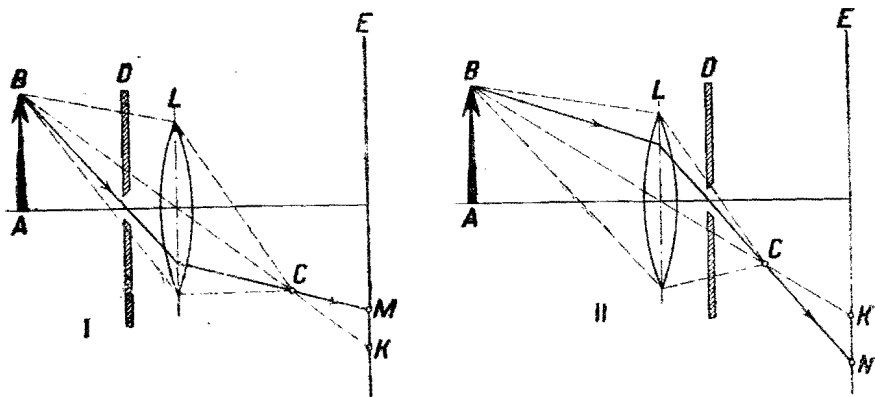


Рис. 360. Ход лучей при малых диафрагмах.

с малым отверстием, помещенная вблизи линзы со стороны предмета, пропускает от краевой точки B предмета AB (рис. 360, I) только узкий пучок краевых лучей, сходящихся в точке C , лежащей ближе к линзе, чем изображение центральных точек предмета (на экране E). Без диафрагмы изображение точки B на экране занимает положение K ; при диафрагме находящейся у линзы со стороны предмета (рис. 360, I) изображение точки B сдвигается ближе к середине изображения, в положение M ; так как сдвиг тем больше, чем дальше от оптической оси лежит точка предмета, то квадратная сетка имеет изображение, сжатое по диагоналям (бочкообразное, рис. 356, III). Если диафрагма расположена у линзы со стороны изображения (рис. 360, II), то изображение N краевой точки удаляется от оптической оси и изображение квадратной сетки будет растянуто по диагоналям и примет подушкообразный вид (рис. 356, II).

Наилучшим местом для установки диафрагмы является середина промежутка между двумя линзами, составляющими сложную оптическую систему.

§ 36*. Лабораторные работы с линзами.

1*. Ход лучей в цилиндрических линзах. 1) Двояковыпуклое и двояковогнутое стекла из набора к шайбе Гартля (рис. 182, № 6 и 7) или к прибору Кольбе (рис. 189, № 6 и 7). 2) Источник света. 3) Ширма со щелями. 4) Булавки. 5) Лист бумаги. 6) Карандаш. 7) Линейка и угольник. 8) Подкладка для втыкания булавок (§ 21, 6).

Все те опыты по исследованию хода лучей в линзах (§ 34, 1), которые производились с выпуклыми и вогнутыми стеклами при помощи лучей на шайбе Гартля, можно поставить в виде лабораторных работ двоякого рода.

Во-первых, можно применять световые лучи, как в демонстрационных опытах (§ 34, 1); источником света служит кинолампа (на 12в) с рефлектором, помещенная в картонный или жестяной футляр; перед источником света помещают картонные ширмы с одной и с несколькими (3—5) щелями (рис. 361). Далее на пути лучей кладут стекло (из набора к шайбе Гартля). Установка и порядок опытов одинаковы с демонстрационными (§ 34, 1).

Во-вторых, можно лабораторные работы поставить по способу булавок. Необходимо только иметь в виду, что построение лучей при помощи булавок возможно лишь при очень хороших стеклах, совершенно прозрачных, не имеющих внутри никаких пороков. Если же стекла неважные, то удастся проследить луч только на очень незначительном расстоянии, не более 2—7 см. При таких условиях многие из перечисленных далее установок не выйдут. При плохих стеклах лучше совсем не прибегать к таким лабораторным работам.

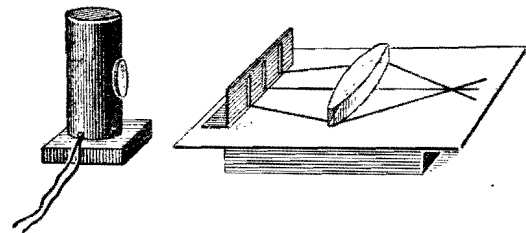


Рис. 361. Установка лабораторной работы с цилиндрической выпуклой линзой.

Сущность работы заключается в том, что, наметив падающий луч определенного направления при помощи двух булавок (одну ставят у самого стекла), смотрят одним глазом через стекло на установленные булавки и, отыскав луч зрения, на котором лежат изображения обеих булавок, фиксируют вышедший из стекла луч еще двумя булавками (одну из них ставят у самого стекла). Таким путем исследуют ход лучей для выпуклого и вогнутого стекол в следующих случаях:

- 1) луч, идущий вдоль главной оптической оси, проходит через стекло, не преломляясь; этот случай позволяет найти и зарисовать главную оптическую ось, что необходимо для дальнейших установок;
- 2) луч, идущий через оптический центр, не меняет направления;
- 3) луч, параллельный оптической оси (сам или его продолжение), проходит через фокус; таким путем находят фокус стекла;
- 4) луч, прошедший (сам или своим продолжением) через фокус, идет после стекла параллельно оптической оси.

Строя несколько лучей, выходящих из одной точки, можно проследить, как получается (действительное или мнимое) изображение этой точки в зависимости от ее положения относительно стекла (рис. 362, I); при этом хорошо видно явление сферической аберрации.

Вместо провешивания лучей булавками можно падающие лучи начертить в виде прямых, хорошо заметных линий; смотря на такую линию через стекло, надо найти такое положение глаза, где эта линия

видна в виде прямой линии (с других мест она кажется искривленной). Найденный луч зрения фиксируют или при помощи булавок, или при помощи линейки, положенной вдоль луча (рис. 362, II). Вдоль линейки карандашом чертят прямую, изображающую прошедший сквозь стекло луч.

В-третьих, можно осуществить установку, воспроизводящую шайбу Гартля, но расположенную горизонтально. Для этого необходимо укрепить на подставке круглый диск (с делениями как у шайбы

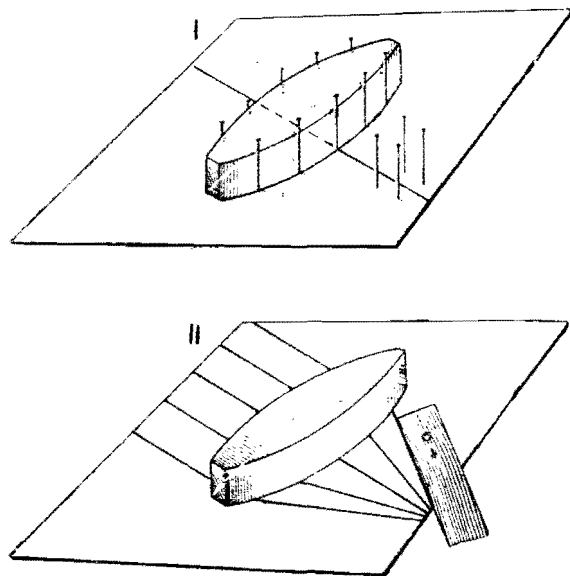


Рис. 362. Установка лабораторной работы с выпуклой линзой.

На диск кладут стекла (можно и зеркала) из набора шайбы Гартля и с ними воспроизводят описанные ранее опыты (§ 24, 5; § 27, 3—4; § 29, 10—11; § 30, 1 и § 31, 7).

2*. Получение изображений при помощи линз. 1) Две линзы — двояковыпуклая и двояковогнутая. 2) Предмет для изображения. 3) Экран. 4) Метр.

В данной работе нет надобности пользоваться оптической скамьей (§ 20, 6). Учащиеся воспроизводят описанные раньше (§ 34, 4) демонстрационные опыты в той же последовательности, какая была указана. При этом приближенно определяется фокусное расстояние собирающей линзы.

3*. Сферическая аберрация и диафрагма. 1) Оптическая скамья. 2) Предмет в виде сетки. 3) Линзы. 4) Экран.

Сильной группе учащихся можно поручить исследование вопроса о действии диафрагм в том же объеме, как это было описано выше (§ 35, 6).

4. Определение фокусного расстояния собирающей линзы. 1) Оптическая скамья. 2) Предмет в виде сетки. 3) Линзы. 4) Экран. 5) Масштабная линейка. 6) Лупа.

З а м е ч а н и е. Для вычисления фокусного расстояния собирающей линзы существуют две формулы:

1) Формула линзы:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F},$$

где d — расстояние предмета (сетки) от оптического центра линзы (она предполагается тонкой); f — расстояние изображения (экрана) от оптического центра линзы; F — искомое фокусное расстояние. Из формулы находим:

$$F = \frac{df}{d+f}. \quad (1)$$

2) Формула фокусного расстояния:

$$\frac{1}{F} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

где n — показатель преломления стекла, из которого сделана данная линза; R_1 и R_2 — радиусы кривизны ее поверхностей — передней и задней. Из формулы получаем:

$$F = \frac{R_1 R_2}{(n-1)(R_1 + R_2)}. \quad (2)$$

Таким образом, для вычисления F надо каким-либо способом измерить d и f или R_1 и R_2 . Надо иметь в виду, что непосредственное измерение расстояний d и f возможно лишь для тонких линз, где эти расстояния отсчитываются от средней плоскости линзы (от ее оптического центра). Для толстых линз (например для фотообъектива) такой отсчет невозможен, и тогда применяют такие способы определения F , где отсутствует непосредственный отсчет расстояний d и f (случай 2 и 3). Найдя фокусное расстояние F линзы, можно вычислить оптическую силу D линзы по формуле:

$$D = \frac{1}{F};$$

при этом D выражается в диоптриях, если F выражено в метрах. Дальше приведено несколько способов нахождения F .

Случай 1. Непосредственное измерение d и f . На оптической скамье помещают предмет P и экран E примерно на ее концах, а между предметом и экраном ставят собирающую линзу L .

Перемещая ее, отыскивают такое ее положение, при котором на экране получается наиболее резкое изображение предмета. По шкале скамьи непосредственно измеряют расстояния d и f (рис. 363). На салазках должны находиться метки, указывающие плоскость предмета, среднюю плоскость линзы и плоскость экрана. Необходимо следить за правильным положением меток. Измерение повторяют несколько раз, применяя как увеличенное, так и уменьшенное изображение, и из полученных чисел для F берут среднее.

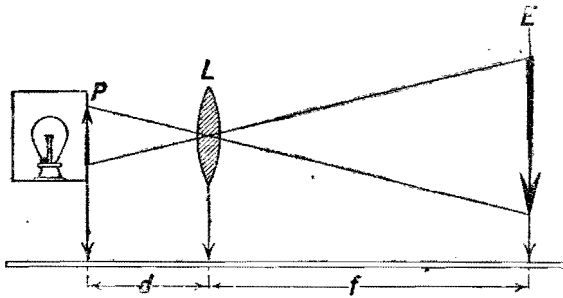


Рис. 363. Определение фокусного расстояния собирающей линзы.

Случай 2. Способ Аббе. Производят две установки, оставляя линзу неподвижной и перемещая предмет и экран так, чтобы при обеих установках получить увеличенное отчетливое изображение предмета (линза ближе к предмету, чем к экрану). Измеряют масштабной линейкой величину предмета AB (например длину некоторого числа клеточек) и величины двух изображений $a_1 b_1$ и $a_2 b_2$ (длины изображений того же

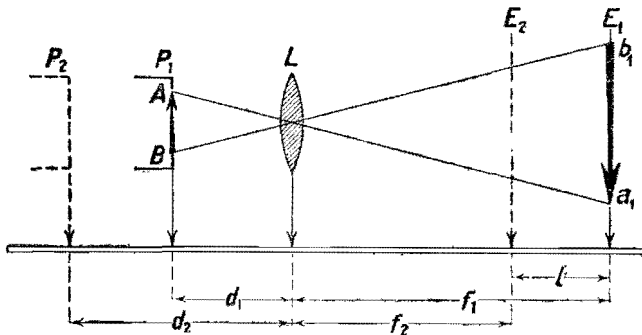


Рис. 364. Определение фокусного расстояния по способу Аббе.

числа клеточек) и по шкале скамьи измеряют сдвиг l экрана при перемещении его из первой установки во вторую (рис. 364).

Если обозначим увеличение (т. е. отношение величины изображения ab к величине предмета AB) через G , то будем иметь:

$$G = \frac{ab}{AB} = \frac{f}{d},$$

поэтому из формулы (1) получим:

$$F = \frac{df}{d+f} = \frac{f}{1 + \frac{f}{d}} = \frac{f}{1+G}.$$

Отсюда

$$f = F(1+G).$$

Для двух установок линзы находим:

$$f_1 = F(1+G_1) \text{ и } f_2 = F(1+G_2).$$

Вычитая из первого равенства второе, получим:

$$f_1 - f_2 = F(G_1 - G_2),$$

но разность $f_1 - f_2$ равна сдвигу экрана l ; поэтому для вычисления фокусного расстояния имеем формулу:

$$F = \frac{l}{G_1 - G_2}.$$

Случай 3. Способ Бесселя. Производят две установки, оставляя неподвижными (на концах скамьи) предмет P и экран E и перемещая линзу L так, чтобы один раз получилось увеличенное изображение сетки на экране (линза ближе к предмету, чем к экрану), а второй раз — уменьшенное (рис. 365). Для разглядывания уменьшенных изображений приходится прибегать к лупе. Измеряют расстояние L предмета от экрана и величину l сдвига линзы при ее перемещении из первой установки во вторую.

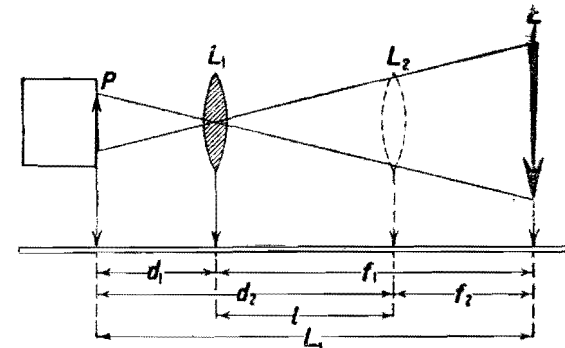


Рис. 365. Определение фокусного расстояния по способу Бесселя.

При таких двух установках одной и той же линзы имеем:

$$d_1 = f_2; \quad f_1 = d_2.$$

Поэтому, как видно по рисунку:

$$L = d_1 + f_1 = d_1 + l + f_2 = d_1 + l + d_1 = l + 2d_1;$$

откуда

$$d_1 = \frac{L-l}{2}.$$

Точно так же можем написать:

$$L = d_1 + f_1 = d_2 - l + f_1 = f_1 - l + f_1 = 2f_1 - l,$$

откуда

$$f_1 = \frac{L + l}{2}.$$

Наконец имеем:

$$d_1 + f_1 = L.$$

Подставляя три найденных выражения в формулу (1), получаем:

$$F = \frac{df}{d+f} = \frac{(L+l)(L-l)}{4L}.$$

Случай 4. Прибор Гримзеля.

Предметом P служит металлическая сетка, освещаемая маленькой электролампой. Непосредственно сзади линзы L укрепляется (при помощи жестяных уголков) плоское зеркало Z . Установка заключается

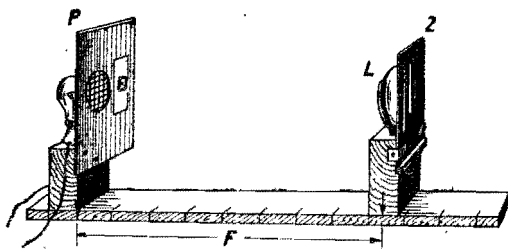


Рис. 366. Прибор Гримзеля для определения фокусного расстояния собирающей линзы.

в том, что, перемещая линзу, получают резкое изображение сетки на кусочке B белой бумаги, приклеенной рядом с сеткой (рис. 366). Изображение должно иметь натуральную величину; этим обстоятельством можно воспользоваться для проверки установки, сравнивая между собой размеры клеточек сетки и ее изображения. Измеряют по шкале расстояние от предмета (сетки) до линзы (до ее средней плоскости). Это расстояние и дает искомое фокусное расстояние.

При данной установке лучи света, выходящие из фокуса линзы, после линзы делаются параллельными. После отражения от плоского зеркала они остаются тоже параллельными и потому, пройдя на обратном пути через линзу, сходятся в ее фокусе, где и дают изображение предмета.

Данный способ настолько прост по выполнению, что, пожалуй даже нецелесообразен в качестве лабораторной работы.

Если в приборе Гримзеля собирающую линзу заменить рассеивающей, то можно получить такую же картину явления, как и у собирающей линзы, но это явление возникает благодаря отражению света от поверхностей линзы и потому не может служить для измерения фокусного расстояния рассеивающей линзы.

Случай 5. Определение фокусных расстояний для центральных и крайних лучей.

Одним из указанных способов определяют фокусное расстояние для центральных лучей, для чего на линзу надевают диафрагму с небольшим отверстием (рис. 358, I), и для крайних лучей, для чего применяют кольцевую диафрагму (рис. 358, II). В этом случае весьма удобно применить прибор Гримзеля, но он дает не очень большую точность, поэтому следует предпочесть способ Бесселя. Для крайних лучей фокусное расстояние меньше, чем для центральных.

Случай 6. Определение фокусных расстояний для цветных лучей.

Повторяют один из способов определения F (например Гримзеля или Бесселя), но около исследуемой линзы (в специальном пазу или прорезе на той же подставке) помещают цветные фильтры — сперва красный, потом синий. Фильтры делаются или из цветного желатина, или из цветных стекол. Необходимо, чтобы фильтры пропускали по возможности однородный свет (монокроматический). Фокусное расстояние для синих лучей должно быть короче, чем для красных.

Случай 7. Определение радиуса кривизны выпуклой линзы по способу огоньков.

Данный случай заключается в измерении радиусов кривизны R_1 и R_2 линзы по тому же способу, каким раньше определялся радиус выпуклого зеркала (§ 27, 11, случай 4). Если радиусы R_1 и R_2 различны, то придется измерение произвести 2 раза — отдельно для каждой поверхности линзы. Найдя радиусы и зная показатель преломления стекла (можно взять значение 1,6), фокусное расстояние вычисляют по формуле (2). При $R_1 = R_2 (=R)$ имеем:

$$F = \frac{R}{2(n-1)} \approx 0,83 R.$$

Для плосковыпуклой линзы, у которой $R_2 = \infty$ (бесконечность) получим:

$$F = \frac{R_1}{(n-1)\left(\frac{R_1}{R_2} + 1\right)} = \frac{R_1}{n-1} \approx 1,67 R.$$

Случай 8. Определение радиуса кривизны выпуклой линзы по ее геометрическому размеру.

На миллиметровый масштаб ставят два деревянных бруска и между ними помещают линзу — один раз стоямя (рис. 367, I), другой раз плашмя (рис. 367, II). Отсчитывая по шкале положения внутренних краев брусков, определяют при первой установке толщину h линзы, при второй — диаметр (ширину) b отверстия линзы.

По теореме геометрии имеем (рис. 367, III):

$$AO^2 = BO \cdot OD,$$

или

$$\left(\frac{b}{2}\right)^2 = \frac{h}{2}\left(2R - \frac{h}{2}\right).$$

откуда

$$\frac{b^2}{4} = hR - \frac{h^2}{4}$$

$$R = \frac{b^2 + h^2}{4h}$$

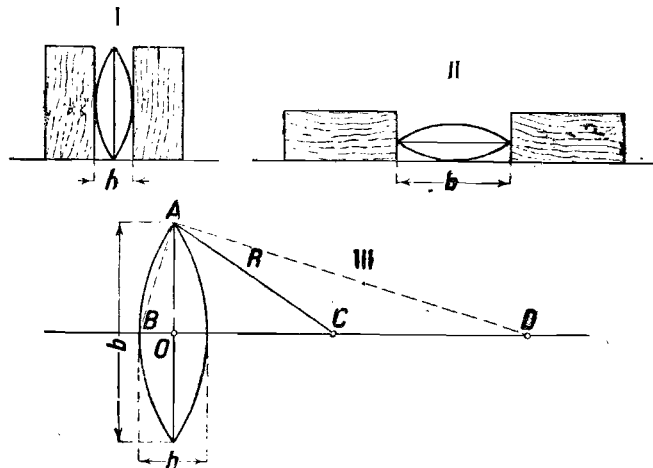


Рис. 367. Определение радиуса кривизны линзы по ее размерам.

5*. Определение фокусного расстояния рассеивающей линзы.

1) Оптическая скамья. 2) Рассеивающая линза. 3) Вспомогательная собирающая линза. 4) Плоское зеркало. 5) Спица, игла, проволока. 6) Миллиметровая бумага. 7) Метр. 8) Прибор Гримзеля.

Случай 1. Непосредственное измерение расстояний d и f . Чтобы можно было непосредственно измерить расстояние f , необходимо найти положение мнимого изображения.

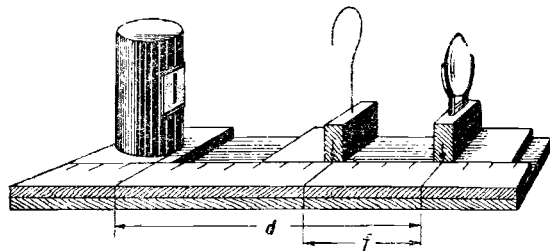


Рис. 368. Определение фокусного расстояния рассеивающей линзы.

С этой целью в качестве предмета берут спицу или черту (стрелу) на матовом стекле (§ 27, 7). Через стекло смотрят на черту так, чтобы ее мнимое уменьшенное изображение лежало у самого края стекла; за стеклом (между ним и предметом) помещают вторую спицу или крючок из проволоки, конец которого свешивается вниз на уровне верхнего края стекла (рис. 368). Крючок надо совместить с мнимым изображением черты; для этой цели пользуются методом параллакса (§ 25, 5), именно: пере-

мещая крючок, отыскивают такое его положение, при котором сам крючок (видимый над линзой, но не через нее) и изображение черты (видимое через линзу) не смещались относительно друг друга при сдвиге глаза в обе стороны. При такой установке по шкале определяют расстояние d предмета от стекла (от его средней плоскости) и расстояние f изображения от стекла. По этим двум расстояниям вычисляют искомое фокусное расстояние по формуле:

$$F = \frac{df}{d-f}, \quad (3)$$

полученное из формулы рассеивающей линзы:

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{f} = -\frac{1}{F}.$$

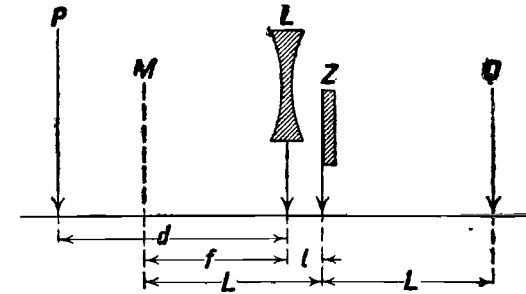


Рис. 369. Определение фокусного расстояния рассеивающей линзы при помощи плоского зеркала.

Случай 2. Аналогичен способу определения фокусного расстояния выпуклого зеркала при помощи плоского зеркала (§ 27, 11, случай 3).

В качестве предмета берут спицу P (рис. 369) и смотрят на нее через линзу L ; получается мнимое изображение M . Чтобы определить его положение, перед линзой ставят плоское зеркало Z , закрывающее нижнюю часть линзы. Перед зеркалом ставят иглу Q в таком месте, чтобы ее мнимое изображение (видимое в плоском зеркале Z) совпало с мнимым изображением M спицы P (видимым в линзе); о совпадении судят по методу параллакса (§ 25, 5). По шкале измеряют расстояние предмета от линзы, расстояние L иглы от плоского зеркала и расстояние l зеркала от линзы. Из чертежа видно, что

$$f = L - l.$$

По числовым значениям d и f вычисляют F по формуле (3).

Случай 3. Способ параллельных лучей.

При помощи вспомогательной собирающей линзы получают от почти точечного источника света параллельный пучок лучей. Его поперечное сечение должно быть меньше отверстия линзы. Параллельность проверяют методом экрана (§ 20, 1), т. е. экран с миллиметровыми делениями или с рядом концентрических окружностей помещают в разных местах поперек пучка лучей и проверяют, остается ли постоянной величина его поперечного сечения. На экране E получается светлый кружок, его поперечник измеряют; пусть получили величину d ; на пути параллельного пучка лучей ставят рассеивающую линзу L ; тогда вследствие рассеивания лучей на экране появится светлый кружок большего диаметра D ; его измеряют. Кроме того, измеряют по шкале расстояние l линзы L от экрана E .

Продолжения лучей, идущих до рассеивающей линзы параллельно оптической оси, должны сойтись в фокусе F линзы, поэтому из подобия

треугольников на рисунке 370 имеем:

$$\frac{D}{d} = \frac{F+l}{F}, \text{ или } D \cdot F = d \cdot F + d \cdot l,$$

откуда находим искомое фокусное расстояние F :

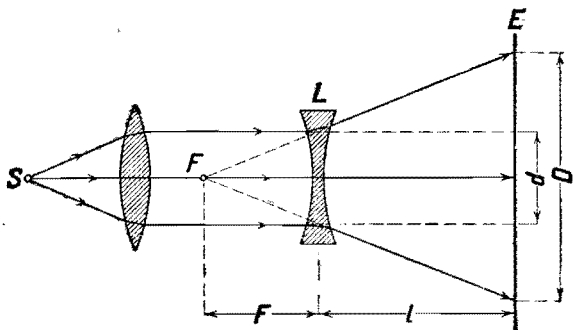


Рис. 370. Определение фокусного расстояния рассеивающей линзы при помощи параллельных лучей.

$$F = \frac{d \cdot l}{D - d}.$$

Если установить линзу так, чтобы $D = 2d$, то найдем, что

$$F = l,$$

т. е. искомое фокусное расстояние непосредственно отсчитывается по шкале.

Случай 4. Способ вспомогательной линзы.

При помощи вспомогательной собирающей линзы L_1 получают от предмета P на экране E_1 отчетливое изображение (рис. 371). Затем на пути сходящихся лучей помещают рассеивающую линзу L_2 . Она, рассеивая лучи, отодвигает изображение и дает его на экране в новом

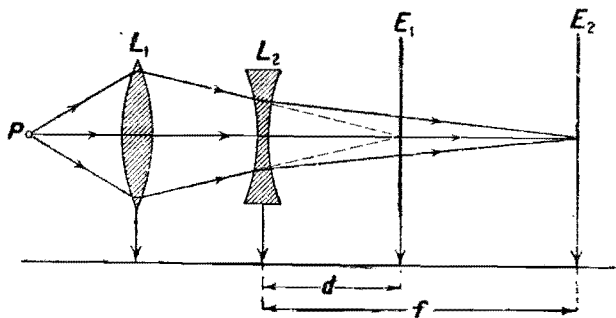


Рис. 371. Определение фокусного расстояния рассеивающей линзы при помощи собирающей линзы.

положении экрана E_2 . Отсчитав по шкале положения линзы L_2 и экрана E_1 и E_2 , находят расстояния d и f и по ним вычисляют искомое фокусное расстояние F .

Случай 5. Прибор Гримзеля (рис. 372).

При помощи вспомогательной линзы L_1 получают на экране E изображение предмета P (сетки). Заметив положение экрана E на шкале, убирают экран, отнюдь не сдвигая линзы L_1 . Сзади линзы ставят исследуемую рассеивающую линзу L_2 с плоским зеркалом (как

в опыте 4, случай 4) и отыскивают путем проб такое положение линзы L_2 , чтобы на кусочке белой бумаги, помещенной рядом с сеткой, получилось четкое изображение сетки в натуральную величину. Такой результат установки возможен только при том условии, если пучок лучей, пришедших назад, совершенно одинаков по форме и размерам с пучком лучей, идущих от предмета. Это справедливо и для хода лучей между линзой L_2 и зеркалом Z ; следовательно, на плоское зеркало падает и от него отражается пучок параллельных лучей; отсюда вытекает, что сходящиеся лучи, падающие на линзу L_2 (рис. 373), должны идти так, чтобы их продолжения сошлись в главном фокусе F линзы L_2 . Так как согласно установке экрана E эти лучи сходились на этом экране, то его положение E совпадает с искомым главным фокусом линзы. Таким образом, отсчитанное по шкале расстояние линзы L_2 от экрана E непосредственно дает искомое фокусное расстояние.

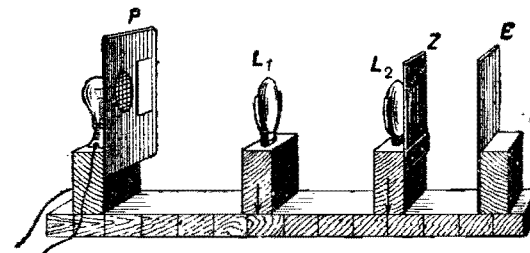


Рис. 372. Прибор Гримзеля для определения фокусного расстояния рассеивающей линзы.

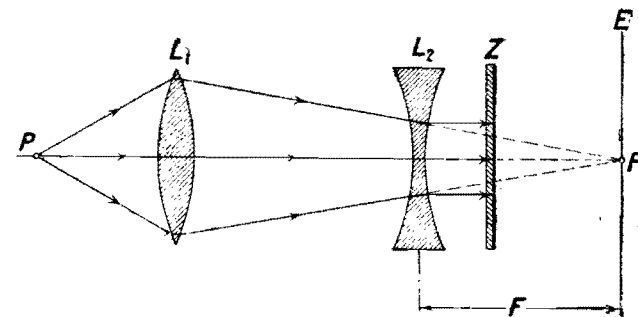


Рис. 373. Ход лучей в приборе Гримзеля.

6*. Определение показателя преломления воды. 1) Стекланный сосуд (аквариум). 2) Собирающая линза. 3) Источник света. 4) Исследуемая жидкость (вода). 5) Измерительная линейка.

Установив сбоку пустого стеклнного сосуда собирающую линзу, получают от источника света (точечного или дающего параллельные лучи) конус сходящихся лучей; находят методом экрана точку, где сходятся лучи (вершину конуса), и измеряют ее расстояние l от боковой стенки сосуда (рис. 374). Не сдвигая установки, наливают в сосуд воду. Лучи при переходе из воздуха в воду вследствие преломления сходятся слабее, чем в воздухе, и вершина конуса лучей отодвигается дальше от стенки. Находят положение точки, где сходятся лучи в воде, и измеряют ее расстояние L от стенки сосуда. Показатель преломления

n воды будет равняться отношению двух измеренных расстояний. Из чертежа (рис. 374) видно, что при замене синусов тангенсами имеем:

$$n = \frac{\sin a}{\sin b} = \frac{\operatorname{tg} a}{\operatorname{tg} b} = \frac{AB}{CB} : \frac{AB}{DB} = \frac{DB}{CB},$$

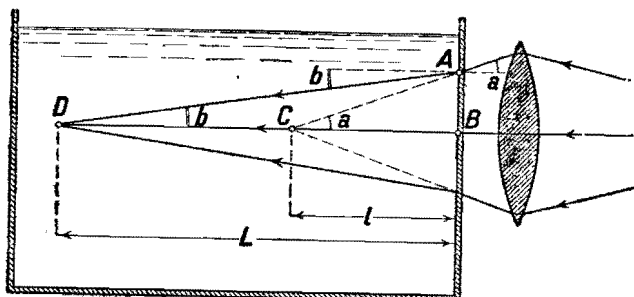


Рис. 374. Определение показателя преломления жидкости.

или

$$n = \frac{L}{l}.$$

ГЛАЗ. ЗРЕНИЕ.

§ 37. Устройство глаза.

Строение глаза. 1) Модель глаза. 2) Стенная таблица.

Для объяснения внутреннего строения глаза применяют наглядные пособия трех типов.

1) Рельефная модель глаза (рис. 375), разбирающаяся на составные части: а) склеру—с прозрачной роговой оболочкой; б) сосудистую оболочку, имеющую спереди радужную оболочку с отверстием (зрачком) в центре; в) хрусталик в виде стеклянной двояковыпуклой линзы, ограниченной поверхностями с разными радиусами (внутренняя поверхность более выпуклая); г) стекловидное тело в виде полого шаровидного тела с боковым отростком, изображающим пучок нервов, входящих в глаз; передняя часть тела прозрачна и позволяет видеть внутри темный пигментный слой и под ним сетчатую оболочку (ретины; она видна также на задней наружной поверхности тела); д) желтое пятно и в его середине центральную ямку (место самого ясного видения); е) слепое пятно (не чувствительное к свету), находящееся в том месте, где зрительные нервы входят в глаз.

2) Картонная разборная схема глаза прежде встречалась в продаже и благодаря дешевизне с успехом заменяла первую модель; ее устройство подобно разборным плоским моделям машин, например автомобиля или двигателя.

3) Стенная таблица, изображающая в красках строение глаза, и обычно еще некоторых органов, как-то: уха, языка и т. п.

На такой таблице обычно бывает изображен разрез сетчатки, на котором видны основные светочувствительные органы глаза:

1) колбочки, обуславливающие дневное, или цветное, зрение, позволяющее различать цвета; центральная ямка состоит только из колбочек;

2) палочки, дающие сумеречное зрение, более чувствительное, чем дневное, но позволяющее различать лишь оттенки серого цвета; палочки лежат преимущественно в боковых частях сетчатки (периферийное зрение) и содержат зрительный пурпур.

Замечание. Возможен еще четвертый тип наглядного пособия—это настоящий глаз, вынутый у мертвого животного, например у коровы. Такой глаз необходимо брать у только что убитого животного, поэтому это можно сделать лишь непосредственно на бойне; затем надо, не откладывая, приступить к его препарированию и к демон-

страции. Так как уметь препарировать не входит в круг знаний преподавателя физики, то последний должен обратиться за помощью

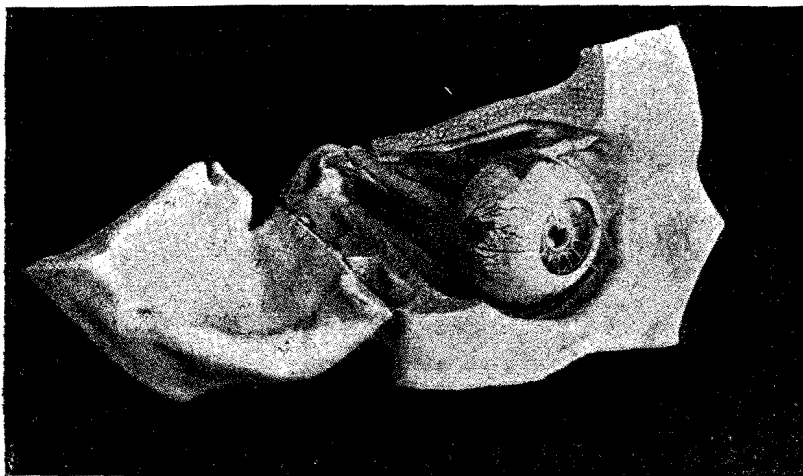


Рис. 375. Разборная модель глаза.

к преподавателю биологии. Главное значение четвертого пособия заключается в возможности убедить учащихся в обратности изображения в глазе, так как учащиеся верят этому с большим трудом.

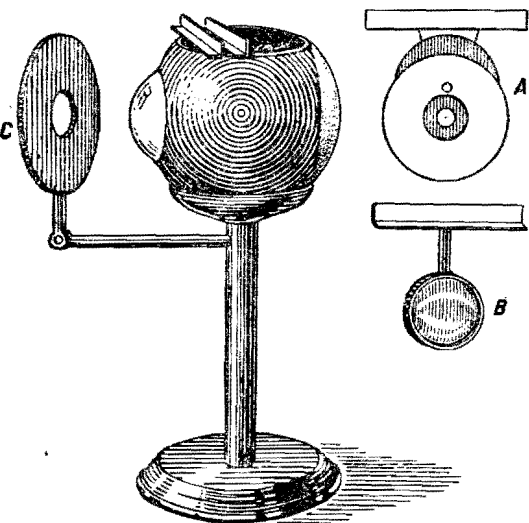


Рис. 376. Модель глаза по Гримзелю.

жает роговую оболочку; противоположная сторона сосуда матовая и является экраном для проектирования изображений; остальная поверхность сосуда снаружи закрашена черной, а затем поверх нее — белой краской. Внутрь сосуда сверху вставляется: 1) жестяной кружок с пере-

2. Оптические модели глаза. Прибор.

Оптическая модель глаза представляет собой шаровидное тело с задней прозрачной поверхностью и с двояковыпуклой линзой, заменяющей собой хрусталик или оптическую систему глаза. Подобные модели можно осуществить разными способами:

1) Модель глаза по Гримзелю имеет форму полого стеклянного шарообразного сосуда ($d=12\text{ см}$), открытого сверху (рис. 376); передняя прозрачная часть сосуда сделана выпуклой и изобра-

женными диафрагмами, представляющими собой (соответственно раскрашенную) радужную оболочку и зрачок (рис. 376, А); 2) двояковыпуклая линза (с фокусным расстоянием в $8,5\text{ см}$), выполняющая роль хрусталика (рис. 376, В). Сосуд наполняется водой. Для ограничения пучка света перед сосудом ставится ширма С с диафрагмой. Модель изображает нормальный глаз, дающий на сетчатой оболочке ясное изображение далекого предмета. Для получения аномальных глаз эту линзу заменяют другими — с более длинным (дальнозоркий глаз) и более коротким (близорукий глаз) фокусным расстоянием.

2) Модель глаза по Бреггу делается из шарообразной колбы, наполненной водой (рис. 377). Чтобы виден был пучок света внутри колбы, вода сделана чуть мутной (§ 18, 1). Роль хрусталика выполняет собирающая линза, помещенная перед колбой. Для демонстрации нормального глаза надо линзу, ее расположение и источник света подобрать так, чтобы лучи сходились на поверхности колбы (рис. 377, I). Для близорукого глаза надо взять линзу с более коротким фокусным расстоянием (рис. 377, II), для дальнозоркого — с более длинным (рис. 377, III).

3) Модель глаза по Донату для своего изготовления требует линзу (с фокусным расстоянием в $3-4\text{ см}$ и с отверстием в 2 см диаметром) и резиновый мячик (с диаметром в $4-5\text{ см}$). В мячике с двух диаметрально противоположных сторон вырезаются круглые отверстия ($d=3\text{ см}$ и $d=1,5\text{ см}$). Большое отверстие заклеивается просвечивающей бумагой (рис. 378), а к малому отверстию прикладывается линза и по своим краям приклеивается кольцом из материи; внутренний просвет кольца изображает зрачок, а само кольцо — радужную оболочку (поэтому материю можно подобрать под цвет какого-либо глаза).

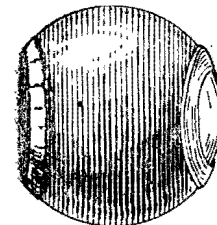


Рис. 378. Модель глаза по Донату.

Преимущество этой модели заключается в том, что, сдавливая мячик вдоль или поперек оптической оси глаза, мы осуществляем обычные природные условия короткого (дальнозоркого) или длинного (близорукое) глаза, не меняя линзу, изображающую хрусталик.

Рис. 377. Модель глаза по Бреггу.

Рис. 377. Модель глаза по Бреггу. I — нормальный глаз, II — близорукое, III — дальнозоркое.

3. Слепое пятно. Специальный рисунок.

Существование слепого пятна в глазе (см. § 37, 1) можно обнаружить, рассматривая одним глазом специальный рисунок (рис. 379), где на черном фоне изображают белый крестик и белый кружок (на расстоянии 6—7 см друг от друга). Если смотреть правым глазом (закрыв левый) на крестик вдоль нормали к плоскости рисунка, то, кроме него, будет виден и белый кружок, но не всегда. Приближая и отодвигая глаз, можно найти такое его положение, когда белый кружок перестанет быть видимым; в этот момент изображение кружка попадает

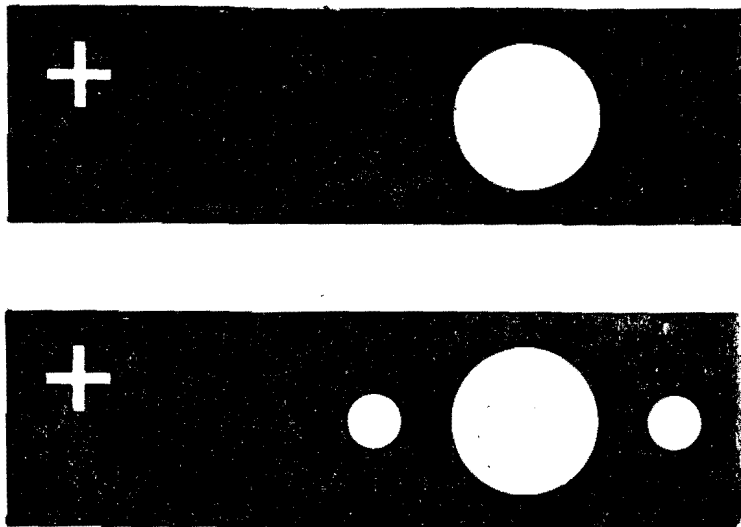


Рис. 379. Рисунок для обнаружения слепого пятна.

на слепое пятно (его диаметр 1,8 мм, угол зрения около 6°). На нижнем рисунке (рис. 379) исчезает средний большой кружок, но оба боковых остаются видимыми.

Для левого глаза рисунок надо повернуть на 180°. Расположение крестика и кружка показывает, что слепое пятно сдвинуто от оптической оси глаза в сторону носа.

4. Роль зрачка. 1) Плоское зеркало. 2) Источник света.

Зрачок выполняет роль диафрагмы, автоматически изменяющей свой диаметр в зависимости от яркости света. Чтобы увидеть это, надо, поместив близко перед собой зеркало, обратить внимание на размер зрачка. Если теперь сбоку поднести к глазам источник света (свечу или электролампу), то заметим, как зрачок уменьшается в своем размере; удаляя источник света, увидим расширение зрачка.

Эта самозащита глаза от яркого света не спасает глаз от чересчур сильного света (например от солнечного), который обжигает сетину, и при неожиданной вспышке света (например при внезапном отражении

лучей Солнца от зеркала прямо в глаза). Особенно опасно для глаза смотреть на Солнце вооруженным глазом (например в бинокль).

5. Тень кровеносных сосудов. 1) Свеча. 2) Спички.

В темной комнате держат в руке зажженную свечу на уровне глаза (с наружной стороны его и немного впереди) и смотрят прямо перед собой на светлый фон (например на стену). Перемещением свечи по разным направлениям удастся добиться того, что на фоне вырисовывается изображение сети синеватых жилок, смещающееся при повороте глаза; в данном случае глаз видит тень кровеносных сосудов, лежащих в пределах сетчатки перед светочувствительным слоем и дающих тень на этом слое.

§ 38. Зрение одним глазом.

1. Получение изображений в глазе. 1) Два куска картона. 2) Булавка.

Глаз представляет собой сложную оптическую систему, поэтому при построении изображения в глазе пользуются „приведенным глазом“. В нем вся оптическая система заменена одной собирающей линзой; натуральные размеры сохранить нельзя, так как у приведенного глаза длина около 23 мм, а фокусное расстояние линзы — около 17 мм (оптическая сила около 59 диоптрий). Из указанных размеров вытекает, что изображение в глазе, получаемое на сетчатке, лежит между фокусом и двойным фокусом линзы (§ 34, 4, случай 1), следовательно, изображение действительное, обратное и уменьшенное.

Обратность изображения так трудно воспринимается учащимися, что требует подтверждения на опыте. С этой целью получают на сетчатке тень от предмета. Предварительно надо получить тень от какого-либо предмета, например гвоздя, на близко поставленном экране (рис. 380, I) и показать, что тень остается почти без изменения (чуть только укорачивается), если между экраном и предметом непосредственно рядом с ним поместить собирающую линзу (рис. 380, II). Затем берут кусок картона и булавку. В центре куска булавкой прокалывают отверстие и помещают картон около глаза (на расстоянии 2—3 см) так, чтобы был виден светлый кружок, освещенный каким-либо источником света, например дневным светом в окне. Таким путем получаем сильно расходящийся пучок света, дающий на сетчатке светлый кружок А (рис. 381, I). Между глазом и картоном снизу или

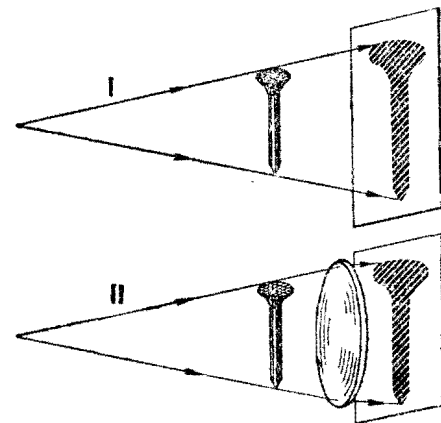


Рис. 380. Тень от гвоздя на экране.

сбоку вдвигаем булавку головкой вперед так, чтобы на фоне светлого кружка появилась тень булавки. Мы увидим, что расположение головки и направление ее движения обратны по отношению к существующим в действительности (рис. 381, II).

Опыт надо производить индивидуально и очень осторожно, чтобы не повредить глаза; поэтому булавку надо держать ближе к картону.

Опыт можно видоизменить, заменив булавку вторым кусочком картона с тремя булавочными проколами по вершинам треугольника (сторона около 1 мм). Вдвигая этот второй картон между первым

и глазом, увидим на фоне светлого кружка три маленьких кружочка, расположенных обратно проколам.

2. Острота зрения. Специальная таблица.

Остроту зрения (или разрешающую силу) измеряют величиной наименьшего угла зрения между двумя точками, которые видны глазом раздельно (не сливаясь в одну), или наименьшего угла зрения, под которым видна ширина линий, различаемых еще глазом. Острота зрения зависит от внутренних (физиологических) свойств глаза (у разных лиц колеблется в широких пределах) и от внешних условий видимости (от яркости

освещения, от фона, на котором виден рассматриваемый объект и т. д.). В медицине за единицу принимают остроту зрения, соответствующую углу зрения в 1' (т. е. когда глаз различает промежуток в 29 см при расстоянии его от наблюдателя в 1 км или линию шириной в 1,5 мм при расстоянии в 5 м).

Для определения остроты зрения существуют особые таблицы; их преподаватель найдет во врачебном кабинете при школе. На таблице напечатаны несколько строчек отдельных букв с постепенно уменьшающейся шириной линий соответственно следующей таблице:

Ширина линии (в миллиметрах)	14,6	8,8	5,8	4,4	2,9	1,75	1,5
Расстояние (в метрах), с которого линия видна под углом зрения в 1'	50	30	20	15	10	6	5

Испытуемый субъект помещается на расстоянии 6 м от таблицы и смотрит на нее при определенном освещении (примерно 15 люксов, дневное освещение в комнатах). На таблице отыскивается строка с наиболее мелкими буквами, которые глаз может уверенно прочитать. Острота численно выражается отношением расстояния L наблюдателя от таблицы к тому расстоянию l , на котором ширина различаемых глазом линий на таблице видна под углом зрения в 1'. Это последнее

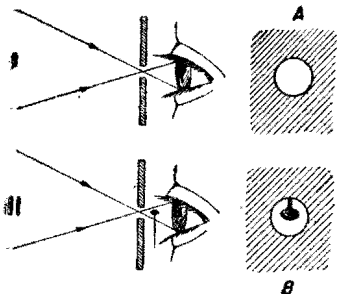


Рис. 381. Тень от булавки на сетчатке.

расстояние указано на таблице у соответствующей строки (эти расстояния приведены выше). На основании сказанного легко получить, что острота зрения V равна:

$$V = \frac{L}{l} = \frac{2L \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{b} = \frac{0,00029L}{b},$$

где L — расстояние наблюдателя от таблицы (рис. 382); b — ширина линий на таблице, различаемых глазом; $0,00029 = 2 \operatorname{tg} 30'$; α — угол зрения, под которым видна линия.

Таблицу для измерения остроты зрения можно изготовить самостоятельно, пользуясь приведенными выше данными относительно ширины линий.

Опыт с определением остроты зрения представляет собой весьма удобный случай остановиться на вопросе, что такое угол зрения и как его найти. Ясное представление об угле зрения нужно для понимания действия оптических приборов. Полезно показать учащимся, как вычисляется угол зрения, если известна величина наблюдаемого предмета и расстояние глаза до предмета. Формула имеет вид:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{h}{2L},$$

где h — высота предмета, L — расстояние от глаза до предмета, α — угол зрения (рис. 383). Надо обратить внимание учащихся на величину некоторых углов зрения, встречающихся в природе (например для Луны около $0,5^\circ$) или создаваемых искусственно (например грифель на расстоянии нескольких метров). Все это имеет целью отучить учащихся характеризовать видимые размеры сравнением с предметом или указанием длины.

3. Аккомодация. Источник света.

Аккомодация, или способность глаза видеть четко предметы на различных расстояниях от глаза (приспосабливаться к любым расстояниям), обусловлена способностью хрусталика изменять свои преломляющие свойства путем изменения кривизны своих поверхностей (при удалении предмета кривизна уменьшается — хрусталик становится более плоским).

Изменение кривизны поверхностей хрусталика можно наблюдать следующим образом: если в темном помещении посмотрим через сильную лупу на чужой глаз, около которого помещен источник света

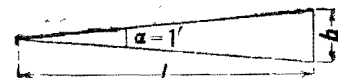


Рис. 382. Схема расчета остроты зрения.



Рис. 383. Угол зрения.

(свеча, электролампа), то мы увидим в глазе три изображения этого предмета (рис. 384), полученные вследствие отражения от: 1) выпуклой роговой оболочки (изображение прямое); 2) передней выпуклой поверхности хрусталика (прямое, менее яркое, чем первое); 3) задней поверхности хрусталика (обратное, очень слабое, с трудом заметное, маленькое по размеру).

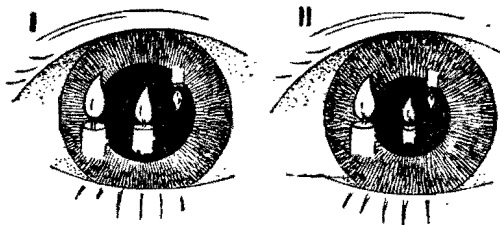


Рис. 384. Изображения, получаемые при отражении от поверхностей в глазе.

Если исследуемый глаз будет переходить от рассматривания далекого предмета к очень близкому, то первое изображение останется без перемен, а второе — заметно уменьшится (рис. 384, II), обнаруживая этим увеличение кривизны передней поверхности хрусталика (она становится более выпуклой); изменение третьего изображения (его уменьшение) незначительно и почти незаметно.

§ 39. Свойства глаза.

1. Близорукость и дальнозоркость. 1) Кусок картона. 2) Булавка. 3) Модель глаза. 4) Линзы.

Каждый глаз обладает аккомодацией в определенных пределах, ограниченных двумя точками ясного видения — ближней точкой (на более близком расстоянии глаз ясно видеть не может) и дальней точкой (дальше ее глаз перестает ясно видеть). Глаз считается нормальным (эмметропическим, соразмерным), если дальняя точка лежит бесконечно далеко (ясно видны звезды), а ближняя — около 15 см. При рассматривании очень близкого предмета аккомодация требует большого напряжения глаза и потому необходимо читать на расстоянии наилучшего зрения (примерно 25 см), когда глаз почти не напрягается.

Чтобы найти положение ближней точки, надо проделать следующее (опыт Шейнера): в куске картона проколоть булавкой два отверстия на расстоянии 2—3 мм друг от друга. Поместив картон около самого глаза, смотрят одним глазом через оба отверстия одновременно на ярко освещенный белый фон. Затем ставят булавку (ее острие) между картоном и фоном на близком расстоянии (5—8 см) от картона так, чтобы были видны два расплывчатых изображения булавки (двигая булавку вправо и влево, всегда можно получить два изображения); отодвигают булавку от картона, не сдвигая ее в сторону (чтобы сохранить оба изображения), тогда оба изображения сближаются, и, наконец, сливаются в одно отчетливое изображение. Это слияние происходит около ближней точки. Если продолжать удалять булавку, то снова видны будут два изображения.

Опыт Шейнера ясен из рисунка 385, где A — ширма с двумя отверстиями; L — линза; S — светящая точка; E — экран, на котором получается изображение. При положении S_1 светящей точки лучи сходятся на экране и дают одно изображение. При положении S_2 лучи

сходятся за экраном и дают два светлых пятнышка a и b . При положении S_3 снова появляются два пятнышка b и a , но расположенные обратно.

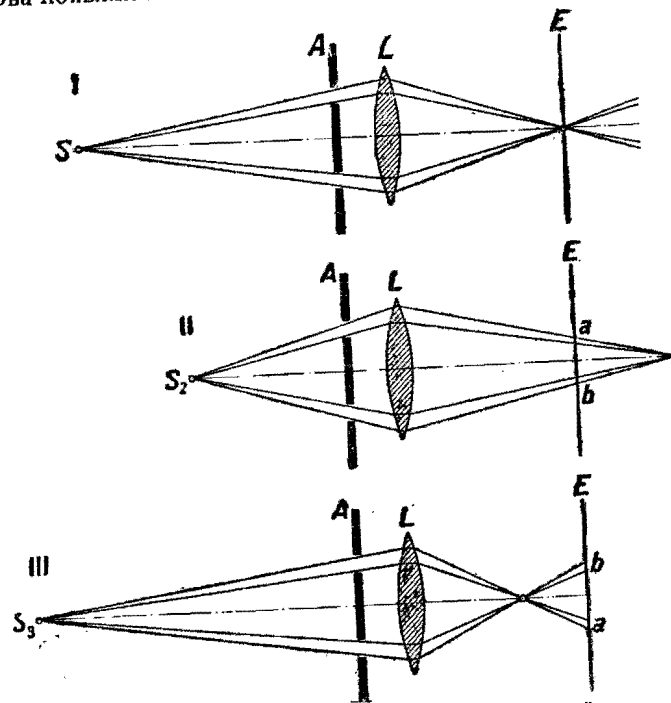


Рис. 385. Опыт Шейнера для определения ближней и дальней точек.

У близорукого глаза дальняя точка лежит на расстоянии нескольких метров, а ближняя — очень близко к глазу (около 5—10 см), поэтому близорукий глаз может рассматривать мелкие предметы. У дальнозоркого глаза ближняя точка удалена от глаза; параллельные лучи сходятся дальше сетчатки. На рисунке 386 изображен ход лучей в глазах нормальном (I), близоруком (II) и дальнозорком (III); буквой A отмечена дальняя точка.

Близорукость и дальнозоркость зависят или от недостаточной аккомодации хрусталика (бывает в старости) или чаще от продольных размеров глаза (чересчур длинные у близорукого и короткие у дальнозоркого).

Все типы глаз можно показать на моделях глаза (§ 37,2); при этом надо продемонстрировать способы исправления глаз при помощи

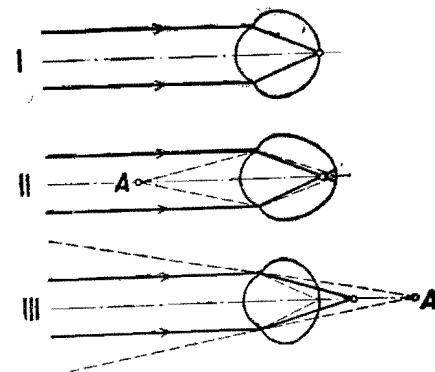


Рис. 386. Положение дальней точки в различных глазах.

очков — рассеивающих для близорукого глаза и собирающих для дальнозоркого (рис. 377, IV и V).

2. Сферическая aberrация.

- 1) Кусок картона с отверстием.
- 2) Книга.

Как было выяснено (§ 35, 1 и 6), сферическая aberrация создает неясность изображения, устранимую с помощью диафрагмы. Подобное явление можно обнаружить в глазе. Если смотреть на печать в книге на близком расстоянии, то изображение является совершенно неясным; если теперь перед глазом поместить кусок картона с небольшим отверстием ($d = 1 - 2 \text{ мм}$), то изображение становится более или менее отчетливым.

Сферической aberrацией объясняется явление иррадиации, заключающейся в том, что черные предметы на белом фоне кажутся уменьшенными, а белые на черном — увеличенными (рис. 387) вследствие расплывчатости границ изображения белого предмета. Белые кружки на

черном фоне (рис. 388) при рассматривании издали принимают форму шестиугольников.

Узкий серп Луны кажется имеющим больший радиус, чем остальная часть Луны, освещенная пепельным светом (отраженным от Земли). Это

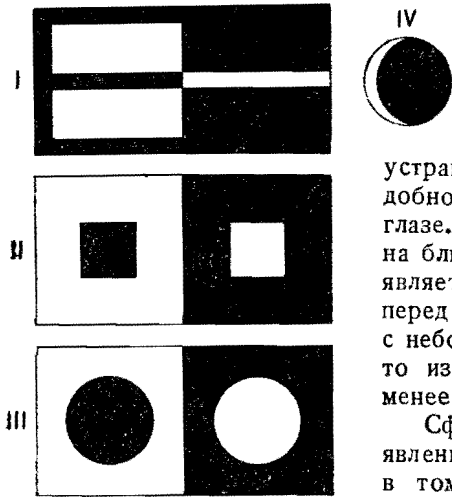


Рис. 387. Рисунки для наблюдения иррадиации.

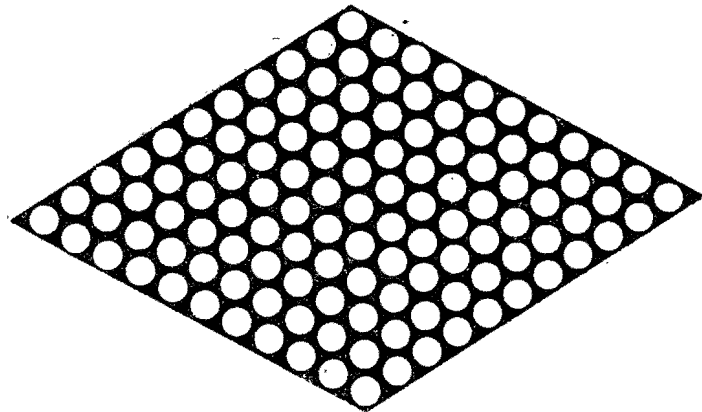


Рис. 388. Рисунки для наблюдения иррадиации.

явление можно показать на экране при помощи диапозитива (рис. 389), где круглое отверстие закрывают подвижной полупрозрачной ширмой.

3. Хроматическая aberrация. 1) Картон. 2) Булавка.

Эта aberrация сказывается в окраске краев изображения (§ 35, 2), видимого глазом, в красный или в синий цвет. Производя опыт Шей-

нера (§ 39, 1), эту окраску легко заметить. Когда два изображения булавок приближаются почти вплотную, то промежуток между ними приобретает окраску, которая становится особенно яркой, когда оба изображения частично налягут друг на друга. При этом цвет общей полоски обоих изображений — красный, когда булавка расположена ближе к глазу, нежели ближняя точка, и цвет — синий, когда булавка стоит дальше ближней точки (рис. 385).

4. Астигматизм глаза. Специальная таблица.

Астигматизм глаза заключается в том, что прямые линии различных направлений, лежащие в одной плоскости (рис. 390, I), одновременно не могут быть видны одинаково ясно. В одном из направлений линии видны более резко и потому кажутся чернее, чем в остальных направлениях. По этой же причине буквы, состоящие из отдельных штрихов разного направления, по кажущейся черноте отличаются друг от друга (рис. 390, II); наиболее черной кажется та или иная буква в слове в зависимости от поворота линии строчек относительно глаза.

5. Обманы зрения. Специальные таблицы или диапозитивы.

Глаз легко поддается обманам зрения, когда приходится сравнивать на-глаз размеры предметов или их расстояние от глаза, или взаимное расположение прямых линий. Возникновение ошибки в оценке размеров зависит от обстановки, окружающей сравниваемые предметы; протяжение в пустом пространстве кажется большим, чем такое же расстояние в пространстве, густо заполненном предметами. На рис. 391 приведено

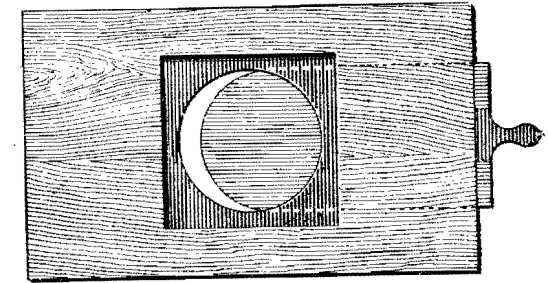


Рис. 389. Диапозитив для демонстрации иррадиации лунного серпа.



Рис. 390. Рисунки для обнаруживания астигматизма глаза.

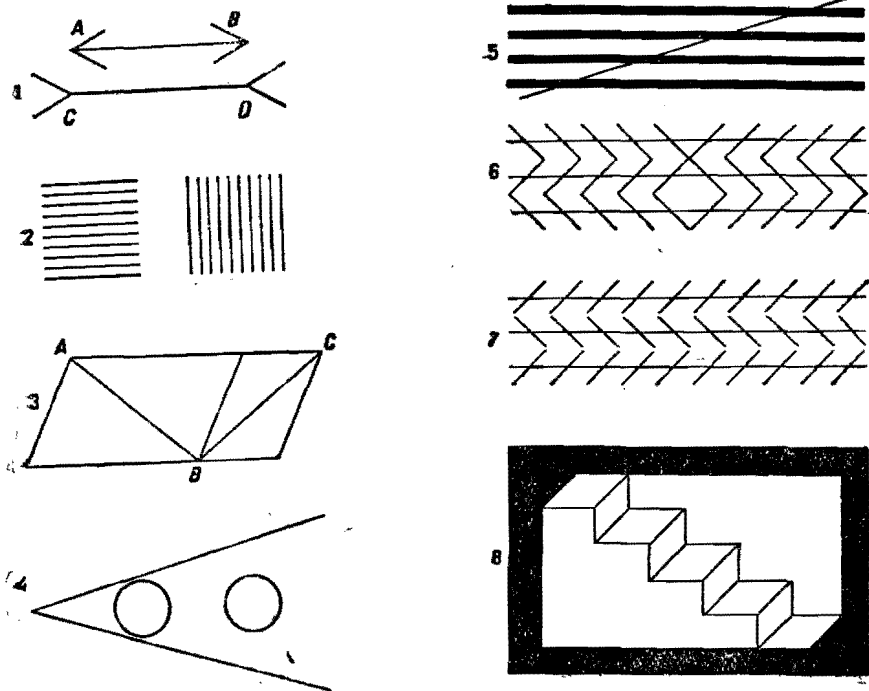


Рис. 391. Обманы зрения.

несколько обманов зрения: 1 — прямая CD кажется длиннее, чем AB ; 2 — квадрат из горизонтальных линий кажется выше, чем квадрат из вертикальных; 3 — диагональ AB кажется длиннее BC ; 4 — кружок кажется тем больше, чем ближе он лежит к вершине угла. Прямая линия, пересекающая наклонно несколько параллельных прямых, кажется ломаной (рис. 391, 5). Параллельные прямые, пересеченные рядом наклонных секущих, кажутся сходящимися (рис. 391, 6 и 7). Фигура, изображенная на рис. 391, 8 (лестница Шредера), может казаться или в виде ступенек лестницы, или в виде ступенчатой ниши. Ту или иную иллюзию можно вызывать по своему произволу. Ушедший вперед пешеход кажется выше заднего (рис. 392). Точно так же по своему желанию можно на фигуре рисунка 393 увидеть два черных профиля (силуэта) на белом фоне или белую вазу на

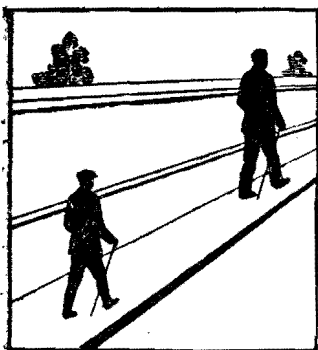


Рис. 392. Обман зрения.

черном фоне. Этот опыт выявляет свойство глаза выделять какой-либо один предмет в роли рассматриваемой „картины“ и все остальное относить к общему „фону“.

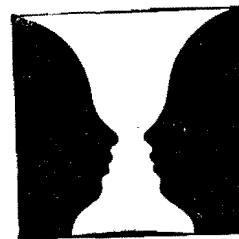


Рис. 393. Обман зрения.

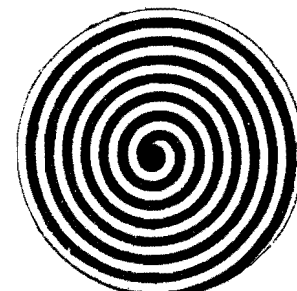


Рис. 394. Иллюзия движения.

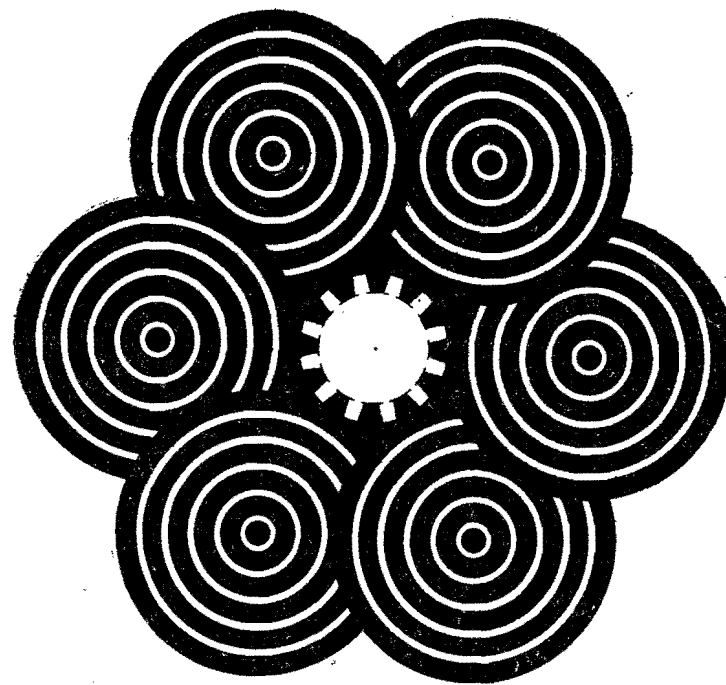


Рис. 395. Иллюзия движения.

Если рисунок спирали Плато (рис. 394) привести в поступательное движение по часовой стрелке, то спираль кажется вращающейся; подобную же иллюзию вращения дает фигура, придуманная С. Томсоном (рис. 395), если ее привести в круговое вращение.

Эффективный опыт рекомендует Ш. Бидвелл. Перед фонарем устанавливают ширму с узкой вертикальной щелью и вращающийся диск со спиральным вырезом (рис. 396). При вращении диска по часовой стрелке на экране светлое пятно движется снизу вверх; после наблю-

дения в течение примерно 30—50 сек. вращение прекращают; наблюдателям кажется, что пятно продолжает двигаться, но вниз.

Продемонстрировать обманы зрения можно двойкой: во-первых, можно изготовить стенные таблицы, пользуясь хотя бы рисунком 391; во-вторых, можно на основании того же рисунка сделать диапозитивы (рис. 397). Для этого берут стекла, покрытые слоем желатина (т. е. фотопластинка, обработанная проявителем и фиксажем), и на слое желатина копируют тушью нужный рисунок, подложив его под стекло. Можно, наконец, протравить рисунок на стекле посредством фтористого водорода. Для этого стекло покрывают тонким слоем воска, погрузив стекло в расплавленный воск. Вынув стекло, оставляют его

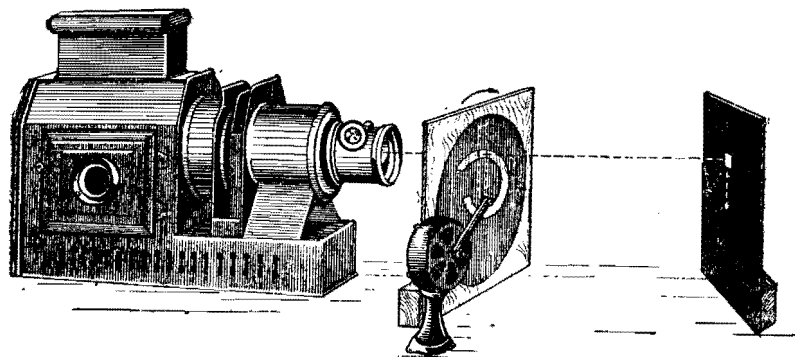


Рис. 396. Опыт Бидвелла.

тivity (рис. 397). Для этого берут стекла, покрытые слоем желатина (т. е. фотопластинка, обработанная проявителем и фиксажем), и на слое желатина копируют тушью нужный рисунок, подложив его под стекло. Можно, наконец, протравить рисунок на стекле посредством фтористого водорода. Для этого стекло покрывают тонким слоем воска, погрузив стекло в расплавленный воск. Вынув стекло, оставляют его

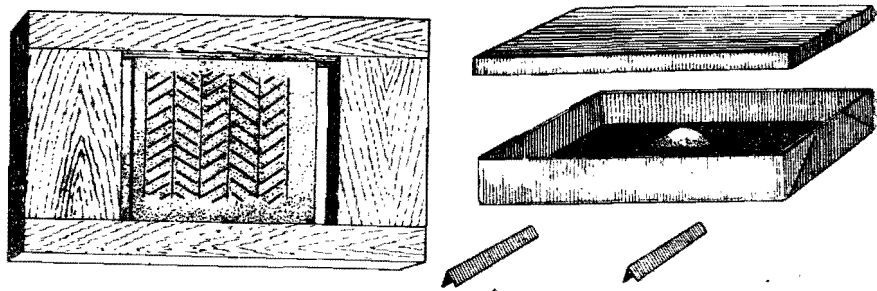


Рис. 397. Диапозитив для проектирования обманов зрения.

Рис. 398. Свинцовая ванна.

в горизонтальном положении до застывания воска. На слое воска острием иглы или ножа процарапывают до стекла требуемый рисунок, подложив его под стекло и ярко осветив снизу. По размеру стекла из листа свинца сгибают ванночку и крышку к ней (рис. 398). В ванночку ставят две согнутые полоски свинца ($h = 1 \text{ см}$), чтобы на них легло стекло своими краями. Посередине ванночки насыпают небольшую кучку (половину чайной ложки) фтористого кальция. Облив его серной кислотой, тотчас же кладут стекло рисунком вниз и закрывают крышкой.

В таком положении оставляют стекло на 1—2 часа. Затем, вынув стекло, соскабливают воск и смывают его остатки бензином. Вследствие сильной ядовитости фтористого водорода травление стекла надо производить с большой осторожностью, обязательно на открытом воздухе или в вытяжном шкафу. По окончании работы ванночку надо тщательно промыть водой.

Тем или иным способом полезно изготовить три пары стекол по рисунку 399. Каждая пара вставляется в рамку, в пазах которой стекла должны свободно перемещаться. Полученный диапозитив (рис. 397) проектируют на экран, сперва установив параллельные линии в свободных промежутках между рядами наклонных, а затем сдвигом стекла налагают параллельные линии на середину полосы, занятой секущими, и параллельные прямые покажутся сходящимися. У третьей пары прямой угол между двумя прямыми кажется тупым, как только в него будет вдвинут веер из расходящихся прямых.

6. Утомляемость глаза.

- 1) Специальные рисунки.
- 2) Цветные стекла.
- 3) Цветная бумага.
- 4) Серая бумага.
- 5) Источник света.

Вещество сетчатой оболочки (зрительный пурпур) меняется под действием света и для своего восстановления в прежнее состояние требует определенного времени (отдыха).

При действии яркого света глаз понижает свою чувствительность и тем самым приспособляется к условиям яркого освещения. Такая способность глаза получила название световой адаптации, с другой стороны, глаз, оказавшийся в темном помещении, повышает свою чувствительность (темновая адаптация) и становится способным воспринимать слабый свет.

Чтобы обнаружить утомляемость глаза, надо долго (1—2 мин.), не переводя глаза с места на место, смотреть на черный рисунок на белом фоне (рис. 400); затем глаз переводят на ровный белый фон (стену, потолок). Тогда на этом фоне глаз увидит белую фигуру на

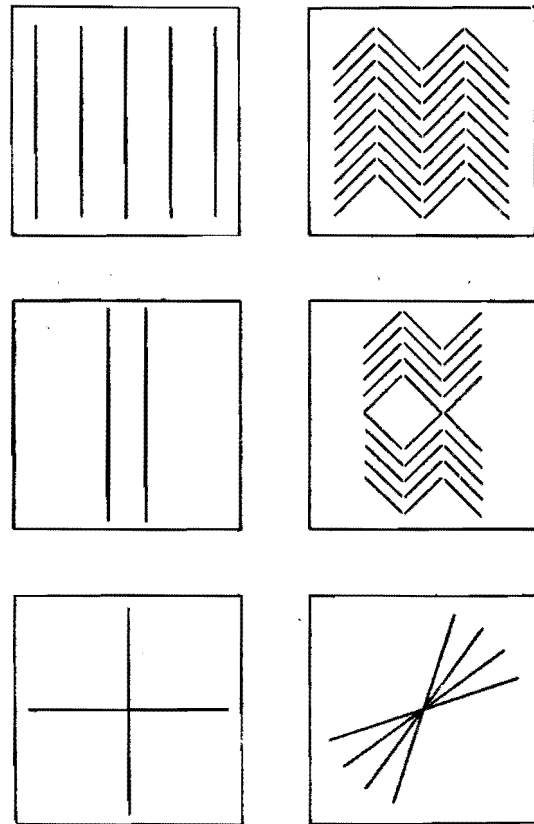


Рис. 399. Чертежи к диапозитивам обманов зрения.

темном фоне. Произойдет это вследствие утомления тех мест сетчатки, где получалось изображение белых частей рисунка, поэтому эти утомленные места сетчатки не могли воспринять белый фон в той же степени, как места неутомленные.

Если глаз утомить наблюдением какого-нибудь определенного цвета и затем перевести глаз на белый фон, то последний будет казаться окра-



Рис. 400. Рисунок для наблюдения над утомляемостью глаза.

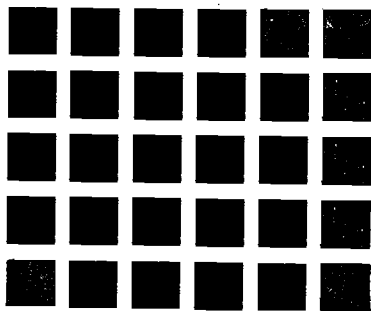


Рис. 401. Рисунок Стирлинга для наблюдения одновременного контраста.

шенным. Этот кажущийся цвет будет близок, но не будет полностью совпадать с цветом, дополнительным к первому, вызвавшему утомление сетчатки, таковы, например, цвета:

Основной	Кажущийся	Дополнительный
оранжево-желтый оранжевый кобальтово-синий	ультрамариново-синий синий красно-оранжевый	голубовато-синий голубой оранжево-желтый

Явление ошибочного ощущения после предварительного раздражения глаза называют последовательным контрастом. В близкой связи стоит явление одновременного контраста как просто светового, так и цветового. Примером может служить разница впечатлений, получаемых от серой бумаги, положенной на белую скатерть и на черный бархат. Рисунок В. Стирлинга (рис. 401) дает пример контраста — белые полосы в местах пересечения кажутся серыми. Особенно чисто и отчетливо наблюдается краевой контраст на границе соприкосновения двух различных поверхностей. На рисунке 402 средняя полоса кажется более светлой у левого края (на границе с черной) и более темной у правого (на границе со светлой).

Одновременный контраст наблюдается и с окрашенными поверхностями. Так, серая бумага на красном фоне получает зеленоватую окраску, на синем — желтоватую, на зеленом — малиновую. Контрастные цвета (как и при последовательном контрасте) не являются дополнительными,

хотя и близки к ним. Явление цветового контраста возникает при получении теней от двух источников света разного цвета. Чтобы это наблюдать, получают рядом две тени карандаша от двух электроламп и затем одну из них закрывают цветным стеклом; тогда даваемая ею тень, будучи окружена цветным фоном взятого стекла, будет казаться окрашенной в контрастный цвет. Такие цветные тени хорошо видны при одновременном освещении дневным светом

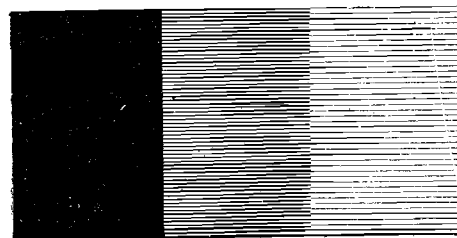


Рис. 402. Краевой контраст.

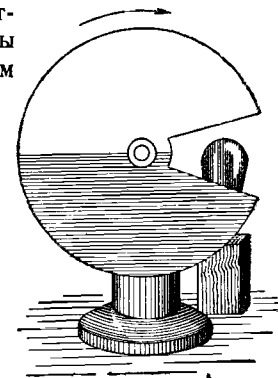


Рис. 403. Опыт Брега.

и свечой. опыты с контрастом можно показать на экране, пользуясь цветными стеклами и цветной бумагой; можно утомить глаз длительным наблюдением спектра и затем направить взгляд на белый экран.

Брегг рекомендует эффектный опыт (рис. 403). На электромоторе вращают картонный диск с вырезом. Половина диска — белая, половина — черная; при вращении диска по стрелке часов смотрят на красную лампу, поставленную сзади диска; лампа кажется зеленой. Этот контрастный цвет переносится на лампу с белой половины диска. Диск надо ярко осветить.

7. Сохранение впечатления в глазе.

1) Стробоскоп. 2) Томатроп. 3) Волчок с проводочными фигурами.

Впечатление, возникающее в глазе при каком-либо световом раздражении, не исчезает мгновенно по прекращении вызвавшей его причины, но сохраняется в течение некоторого времени (до 0,1 сек.). По этой причине перерывы в раздражении, следующие друг за другом через короткие промежутки (менее 0,1 сек.), не замечаются глазом и последний получает непрерывное длительное впечатление. Это свойство использовано при смешении цветов при помощи вращающихся кружков. При вращении кружка, составленного из черных и белых секторов (рис. 404), получается впечатление серого цвета той или иной густоты в зависимости от соотношения между размерами черных и белых секторов. На этом же свойстве глаза основано действие кинематографа, а также целого ряда игрушек и забав.

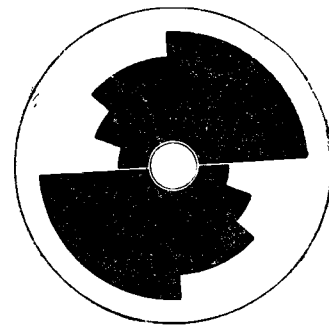


Рис. 404. Смешение белого и черного цветов.

В числе игрушек, имеющих целью получение движущихся рисунков, можно отметить стробоскоп и праксиноскоп.

Стробоскоп можно сделать в виде вращающегося диска с прорезами (рис. 405). Рядом с каждым прорезом изображена одна и та же фигура в разные моменты своего движения. Все картинки охватывают законченный период движения, после которого все повторяется снова. Стробоскоп держат перед зеркалом (картинками к зер-

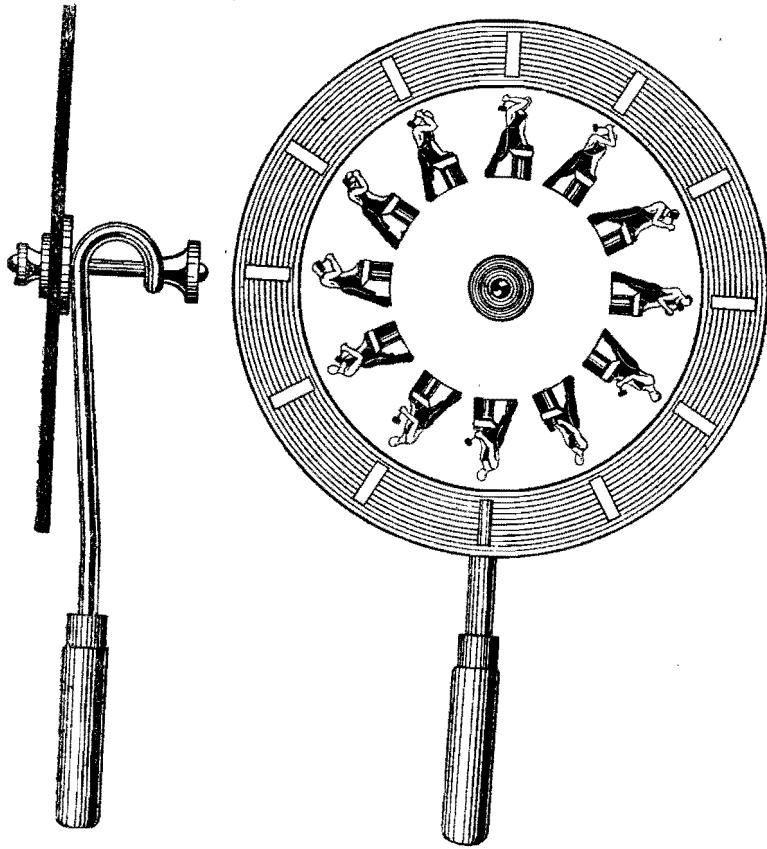


Рис. 405. Стробоскоп.

калу) и, приведя круг во вращение, смотрят через прорезы на изображения картинок в зеркале. Можно обойтись без зеркала, если взять два диска на общей оси: один — с картинками, другой — с прорезами (рис. 406). Через прорезы наблюдают картинки на другом диске. Наконец, можно стробоскоп сделать из цилиндрической круглой коробки; у верхнего края стенки продольно вырезаются вырезы (рис. 407); внутрь коробки вставляется полоса картона с картинками; их рассматривают через прорезы при вращении прибора.

Праксиноскоп (рис. 408) состоит тоже из вращающейся круглой цилиндрической коробки; внутри, вдоль ее стенки, помещается полоса

с рисунками; в центре коробки помещена многогранная зеркальная призма и над нею источник света (свеча) для освещения картинок. Число граней у призмы равно числу отдельных рисунков; при вращении всего прибора в зеркалах видны движущиеся фигуры. На рисунке 409 дан образец картины для стробоскопа. Из данного примера видно, как можно использовать стробоскоп для передачи некоторых движений, встречающихся в физике.

Стробоскоп можно заменить небольшой книжечкой ($b = 5-6$ см, $l = 8-10$ см) из толстой бумаги. На каждой странице помещена картинка, изображающая один из последовательных моментов движения. Если быстро перебирать страницы пальцем, как показано на рис. 410, и при этом смотреть на картинки, получаем впечатление непрерывного движения.

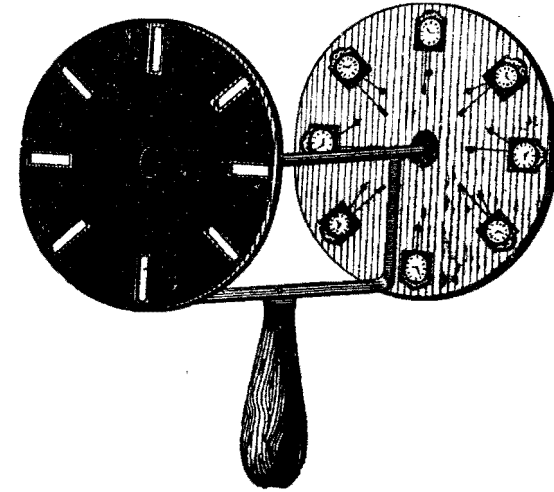


Рис. 406. Стробоскоп.

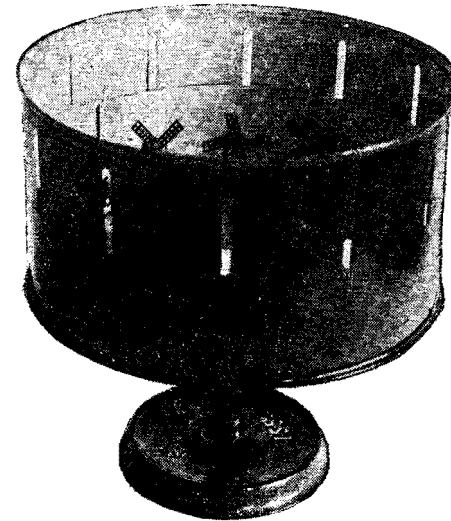


Рис. 407. Стробоскоп.

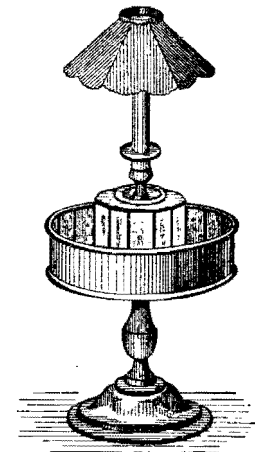


Рис. 408. Праксиноскоп.

Игрушка, названная томатропом, состоит из картонного кружочка с двумя шнурами по бокам (рис. 411). Закручивая пальцами оба шнура, можно привести кружок в быстрое вращение вокруг горизонтальной оси.

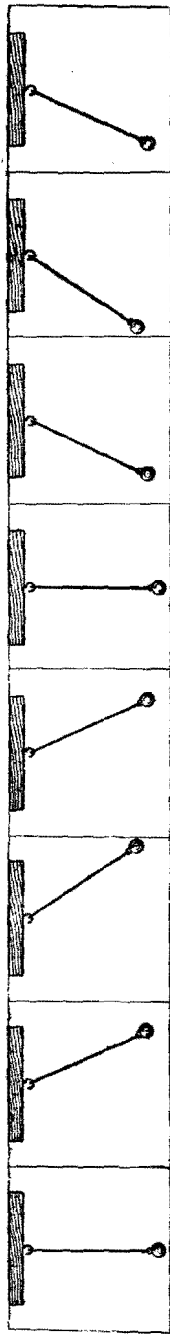


Рис. 409. Картина для стробоскопа.

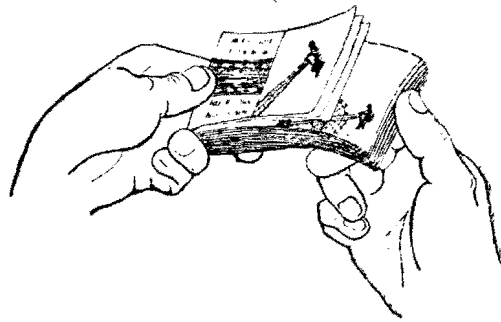


Рис. 410. Книжечка для получения движущегося рисунка.

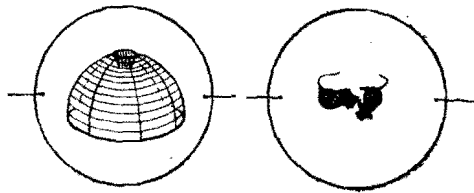


Рис. 411. Томатроп.

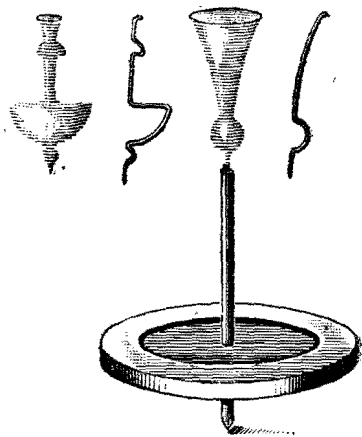


Рис. 412. Волчок с проволочными фигурами.

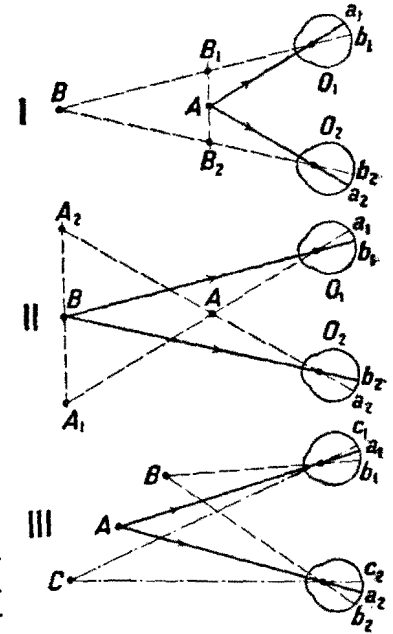
горизонтальной оси. По обеим сторонам кружка нарисованы два предмета или животных, которые при вращении кружка должны казаться находящимися вместе, или один внутри другого, например клетка и птица, мышонok и ловушка, лошадь и всадник, букет и ваза и т. п.

Если при помощи волчка (или юлы) заставить вращаться отдельные проволоки, изогнутые по наружному контуру ваз или сосудов (рис. 412), то создается впечатление рельефного тела.

§ 40. Зрение двумя глазами.

1. Бинокулярное зрение. Три (вязальные) спицы.

Когда человек смотрит двумя глазами (бинокулярное зрение) на один и тот же предмет и желает его ясно разглядеть, тогда оптические оси обоих глаз должны пересекаться на этом предмете; при таком условии в каждом глазе получается (на центральной ямке) свое изображение предмета, но впечатления этих двух изображений сливаются в одно и предмет виден в единственном числе. Свойством сливать изображения обладают не только центральные ямки, но целый ряд парных точек в обоих глазах. Такие точки называются соответствующими (или корреспондирующими), они лежат в обоих глазах на одинаковых расстояниях и по одну и ту же сторону от центральных ямок. Если два изображения одного и того же предмета не получаются на „соответствующих“ точках, то предмет представляется в двойном виде (двоится). Такое раздвоение можно наблюдать, если насильственно нарушить расположение глазных осей, осторожно надавливая пальцем на глазное яблоко. Можно также увидеть это на следующем опыте.



Берут две (вязальные) спицы A и B (рис. 413). Держа их вертикально в двух руках, помещают перед глазами (в плоскости, равноотстоящей от обоих глаз) на расстоянии 15—20 см друг от друга. Если внимательно смотреть на ближнюю спицу A , то оба ее изображения сливаются в одно. Но изображения дальней спицы B не сливаются, и она видна (в одной плоскости с A) в виде двух спиц B_1 и B_2 справа и слева от спицы A (изображение B_1 в правом глазе O_1 видно справа от A ; в левом — слева; такие изображения называют одноименными). Если теперь сосредоточить взгляд на дальней спице B (рис. 413, II), то ближняя A будет видна (в одной плоскости с B)

Рис. 413. Бинокулярное зрение.

в виде двух (разноименных) изображений A_1 и A_2 (изображение A_1 в правом глазе расположено слева от B).

Если вторую спицу передвигать ближе и дальше спицы A , но правее или левее ее (рис. 413, III), то изображения в обоих глазах тоже не попадают на соответствующие точки; спица B при этом

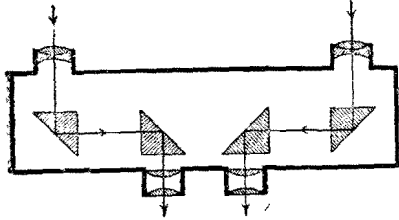


Рис. 414. Стереоскопическая труба.

не двоятся, но ясно представляется лежащей ближе и дальше спицы A . Как видно из расположения изображений в глазах на рисунке 413, в третьем случае изображения для спиц B и C односторонни (т. е. лежат по одну сторону от центральных ямок a_1 и a_2). Таким образом, несоответствующие точки

глаз (или, как называют, диспаратные) при некоторых условиях

тоже производят слияние изображений, но вместе с тем они дают и представление о расстоянии предмета от глаза. Этому помогает также сведение осей на одну точку. По мере удаления предмета от глаза способность последнего судить о расстоянии до предмета постепенно теряется, и, начиная с некоторого расстояния (примерно около 1—2 км), все предметы кажутся лежащими в одной плоскости. Для увеличения этого предельного расстояния надо искусственно раздвинуть глаза дальше друг от друга при помощи стереоскопических труб, у которых объективы раздвинуты на большое расстояние (в дальномерах до 30 м). Схематично ход луча в стереотрубе изображен на рис. 414. Стереотрубы имеют важное значение в военном деле.

2. Стереоскоп. 1) Прибор. 2) Картинки к стереоскопу.

Свойство глаз при несоответствии (диспаратности) изображений при бинокулярном зрении обуславливать представление о расстоянии предмета, а значит и об его рельефности, использовано при устройстве стереоскопа, т. е. оптического прибора, позволяющего видеть плоские картинки в форме рельефных тел.

1. Стереоскоп Брюстера (рис. 415) содержит две призмы (половинки выпуклой линзы), помещенные на таком расстоянии, на каком находятся глаза у человека (около 6,5 см). Перед призмами устанавливается стереоскопическая картинка, состоящая из двух изображений (одного и того же предмета или пейзажа), соответствующих левому и правому глазам. Такие изображения получают фотографированием при помощи фотоаппарата с двумя объективами (рис. 416), расставленными соответственно двум глазам. Каждое из полученных изображений

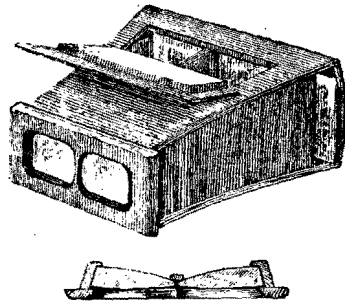


Рис. 415. Стереоскоп Брюстера.

рассматривается в стереоскопе только одним соответствующим ему глазом. С этой целью между призмами укрепляется перегородка.

Ход лучей в стереоскопе представлен на рисунке 417, где одинаковыми буквами отмечены изображения одной и той же точки на двух картинках (например a_1 и a_2) и видимое в стереоскопе изображение той же точки (например A). Точки A и B изображаются в одной плоскости и образуют „фон“ всего получаемого изображения. Изображения на картинках точки C (c_1 и c_2) сближены по сравнению с изображениями A и B , и потому изображение точки C кажется лежащим ближе к глазу впереди „фона“. Изображения d_1 и d_2 тоже сближены по сравнению с a_1 и a_2 или b_1 и b_2 , но в меньшей степени, и потому изображение D расположено дальше от глаза, чем C .

Рис. 416. Стереоскопический фотоаппарат.

На рисунке 418 изображен стереоскоп упрощенной конструкции и потому сравнительно дешевый, а на рисунке 419 — самодельный

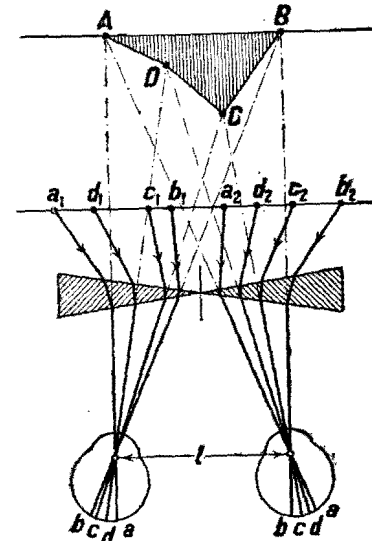


Рис. 417. Ход лучей в стереоскопе.

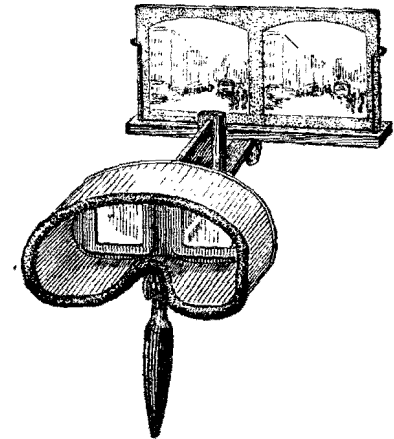


Рис. 418. Упрощенный стереоскоп.

стереоскоп с очковыми стеклами (фокусное расстояние около 20 см). У обоих стереоскопов картинка может перемещаться для установки по глазу.

2) Стереоскоп Уитстона (рис. 420) вместо призм имеет два зеркала, поставленных под углом друг к другу. Лучи света, идущие от двух картинок a_1b_1 и a_2b_2 , после отражения от зеркал попадают в глаза и дают рельефное изображение ABC (рис. 421).

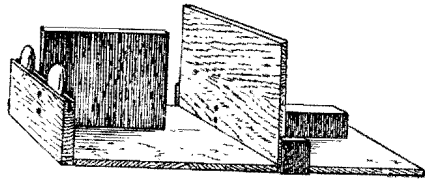


Рис. 419. Самодельный стереоскоп.

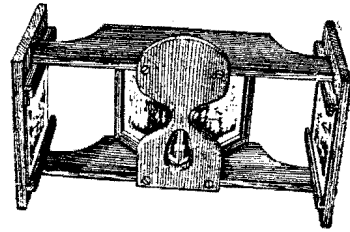


Рис. 420. Стереоскоп Уитстона.

3) Картины к стереоскопу. Подбор картин к стереоскопу должен преследовать учебные цели. При таком подходе можно поставить себе примерно такие задачи:

- иллюстрация курса географии и с видами местностей и городов всех стран мира;
- изучение искусства и архитектуры при помощи снимков скульптурных произведений и со зданий как снаружи, так и внутри;
- помощь в усвоении пространственных представлений при изучении геометрии путем стереоскопических картин с геометрических тел, встречающихся при доказательстве теорем (рис. 422);
- изображение формы кристаллов (рис. 423);
- пространственное изображение небесных тел (рис. 424);
- снимки производятся или с разных мест Земли, или при разных положениях Земли на ее орбите, отделенных промежутком в полгода;
- рельефное изображение механизмов и машин.

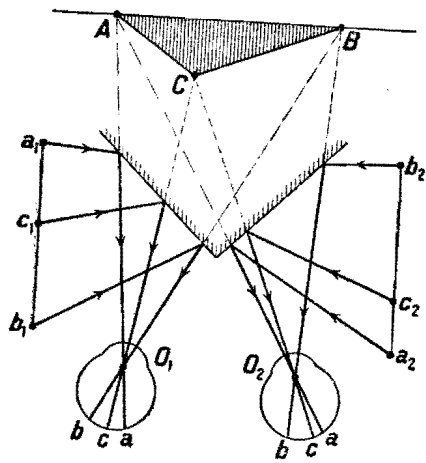


Рис. 421. Ход лучей в стереоскопе Уитстона.

Стереоскопическое зрение дается не всем людям (лица с разными глазами вообще не могут пользоваться стереоскопом) и обычно не сразу, а только после некоторой практики. Такую практику полезно специально провести на ряде простейших, особо подобранных стереоскопических картинок, изображающих по одному какому-либо телу или по два, находящихся на разных расстояниях, например: куб; конус; воронка; пирамида (усеченная); ряд удаляющихся колец; уходящий вдаль коридор; рыба в сосуде; здание и аэроплан; пароход и лодка и т. п. Такие картины надо рассматривать без стереоскопа (невооруженным

глазом), приспособив для этой цели простой станочек (рис. 425), и, постепенно переходя к более сложным, добиваться стереоскопического зрениа, т. е. слияния двух изображений в одно.

Построение простейших стереоскопических рисунков не представляет собой большого затруднения. Принцип такого построения заклю-

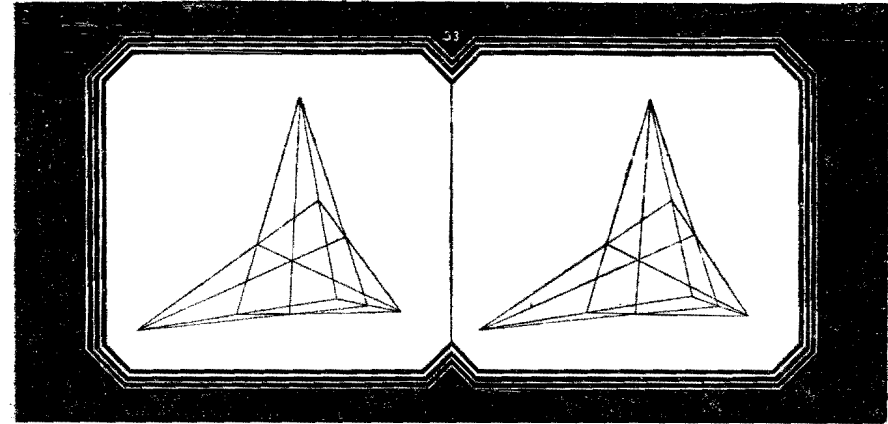


Рис. 422. Картина для стереоскопа (учебное пособие по геометрии).

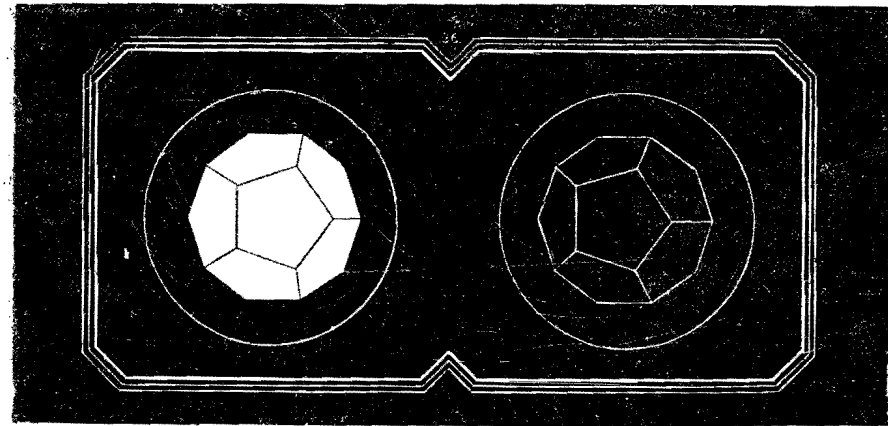


Рис. 423. Картина для стереоскопа (учебное пособие по кристаллографии).

чается в следующем. Пусть два глаза O_1 и O_2 (рис. 426) рассматривают стереоскопическую картину, находящуюся от глаз на расстоянии D . Точка, два изображения которой A_1 и A_2 на двух картинках отстоят друг от друга на расстоянии, равном расстоянию l между серединами глаз, кажется глазам находящейся бесконечно далеко. Всякая другая точка B , изображения которой B_1 и B_2 лежат на меньшем

расстоянии d (d меньше l), кажется находящейся от глаз на расстоянии L . Из подобия треугольников следует:

$$\frac{BC}{L} = \frac{d}{l},$$

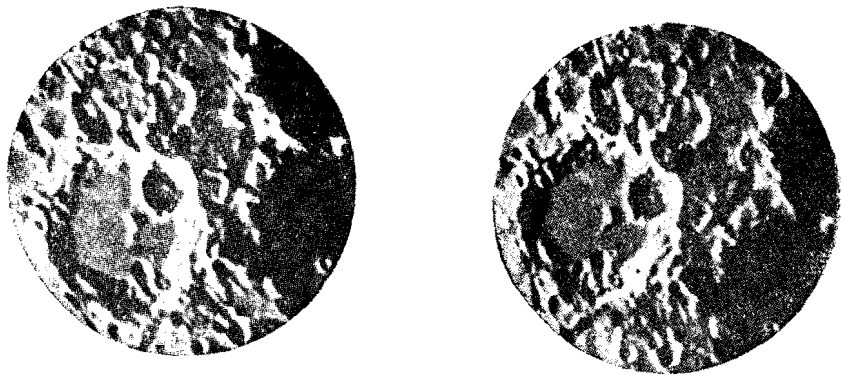


Рис. 424. Картина для стереоскопа (учебное пособие по астрономии).

или, так как $BC = L - D$,

$$\frac{L - D}{L} = \frac{d}{l};$$

отсюда получим:

$$\text{I. } \boxed{L = \frac{Dl}{l-d}} \quad \text{и} \quad \text{II. } \boxed{d = l - \frac{Dl}{L}}.$$

Расстояние l между глазами колеблется около $6,5 \text{ см}$; при рассмотрении картин без стереоскопа D равно расстоянию наилучшего зрения, т. е. около 25 см ; в стереоскопе D зависит от стекол и должно быть измерено. Задавшемся определенным расстоянием L , можно для него вычислить расстояние изображений d . Прямые линии A_1A_2 и B_1B_2 , соединяющие оба изображения одной и той же точки, должны или совпадать, или быть взаимно параллельными.

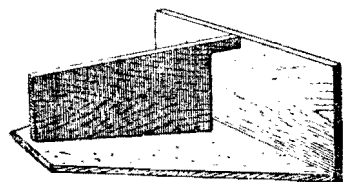


Рис. 425. Станочек для рассматривания стереоскопических картин.

нем получились две тени A_1 (красная) и A_2 (зеленая) предмета A , находящегося сзади экрана между ним и источниками света (рис. 427). Перед глазами O_1 и O_2 наблюдателя помещают картонные очки (рис. 427, внизу) с двумя цветными пленками—красной для правого глаза O_1 и зеленой для левого O_2 . Тогда правый глаз увидит одну красную

тень A_1 , а левый—зеленую тень A_2 . Оба полученных изображения сливаются в одно, находящееся в точке a пересечения лучей зрения, т. е. изображение предмета сойдет с экрана и приблизится к зрителям,

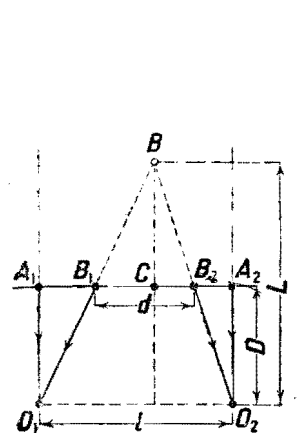


Рис. 426. Геометрическое построение стереоскопических картин.

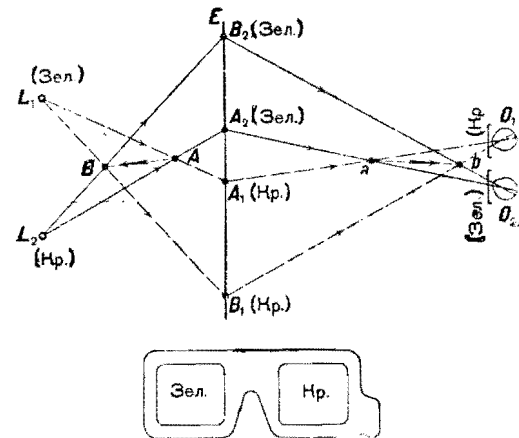


Рис. 427. «Чудеса теней».

и потому изображение станет рельефным. Если человек, стоящий в точке A за экраном, бросит мяч так, что он пролетит путь AB , то зрителям будет казаться, что мяч летит от экрана в публику по пути ab . Впечатление получается настолько реальное, что не поддаться ему очень трудно.

ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ.

§ 41. Луна.

1. Типы луп. Лупы, в большинстве случаев представляющие собой одно собирающее стекло, различаются по роду оправы, приспособленной к специфическим требованиям.

Так, например, лупа (рис. 428), предназначенная для рассматривания тканей, носит название текстильной. Две или три лупы (рис. 429), скла-

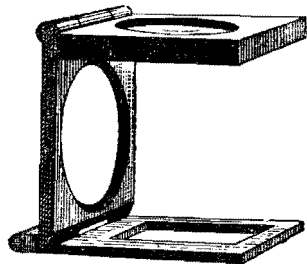


Рис. 428. Лупа текстильная.



Рис. 429. Лупа ботаническая.

дывающиеся вместе и предназначенные для экскурсионной работы, называются ботаническими.

Лупы на трех ножках предназначены, главным образом, для рассматривания семян (рис. 430). Наиболее универсальными являются лупы на ручках (рис. 431). Для физических кабинетов наиболее пригодными являются два последних типа, особенно последний. Уве-

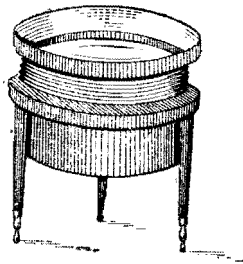


Рис. 430. Лупа для семян.

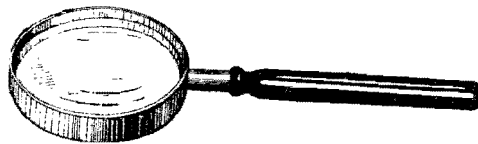


Рис. 431. Лупа на ручке.

личение луп трех первых сортов колеблется от 6 до 8 раз. Лупы на ручках изготавливаются разнообразных увеличений — от 3 до 10 раз.

Лупы, дающие большее увеличение, изготавливаются уже из 2—3 линз, употребляются, главным образом, биологами и для физического кабинета представляют собой мало интереса.

2. Определение увеличения лупы. 1) Две миллиметровые линейки. 2) Лупа. 3) Две стойки или штатив с лапкой и кольцом (рис. 432).

Зажимают лупу на высоте 25 см от основания штатива, на котором лежит шкала. Вторую шкалу кладут на кольцо и передвигают последнее до тех пор, пока деления шкалы не станут ясно видными в лупу.

Установив таким образом лупу, смотрят одним глазом через лупу на верхнюю шкалу, а другим — в то же самое время на нижнюю шкалу. Передвигая нижнюю шкалу, добиваются того, чтобы одни деления наложились на другие, и считают, сколько делений n_1 нижней линейки совпадает со сколькими делениями n_2 верхней шкалы, видимой в лупу. Отношение $\frac{n_1}{n_2}$ и дает линейное увеличение. Найдя это увеличение, полезно проверить приблизительную формулу увеличения лупы, для чего измеряют расстояние d между верхней линейкой и лупой; увеличение приблизительно должно быть равно $\frac{25}{d}$.

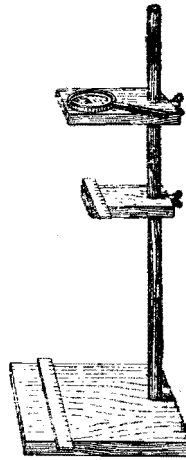


Рис. 432. Схема определения увеличения лупы.

Расстояние в 25 см от лупы до нижней шкалы дано как расстояние наилучшего зрения нормального глаза, поэтому лица, носящие очки, не должны их снимать. Лица с испорченным зрением и носящие очки могут взять несколько иное расстояние.

3. Самодельные лупы. 1) В осколок разбитой колбы наливают немного воды и получают плосковыпуклую линзу из воды. Фокусное расстояние такой линзы зависит от кривизны колбы; чем меньше была колба, тем сильнее лупа (рис. 433).



Рис. 433. Лупа из осколка колбы.



Рис. 434. Капля воды в качестве лупы.

2) В куске жестяго проделывают круглое отверстие, диаметром в 3—5 мм, и при помощи пипетки помещают на него каплю воды (рис. 434). Получается почти сферическая линза с очень большой кривизной, и, значит, с малым фокусным расстоянием. Такая капля дает увеличение в 50—75 раз, т. е. пригодна уже для рассматривания очень мелких объектов.

4. Система линз. Рассмотрим здесь лишь один случай, когда линзы приложены друг к другу вплотную. Как известно, в этом случае оптическая сила системы равна сумме оптических сил взятых линз, т. е.

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2}$$

где F — фокусное расстояние системы; F_1 — фокусное расстояние первой линзы; F_2 — фокусное расстояние второй линзы.

Этим свойством системы прежде всего полезно воспользоваться для определения фокусного расстояния рассеивающей линзы, так как другие способы дают менее точные результаты.

Определяют фокусное расстояние F_1 собирающей линзы (§ 36, 4).

Затем на той же скамье производят определение фокусного расстояния F , поставив обе линзы вместе; по приведенной формуле вычисляют F_2 .

Если вторая линза рассеивающая, то первую следует взять настолько сильную, чтобы фокусное расстояние системы оказалось во всяком случае не меньше 50 см. Длиннофокусные линзы (системы линз) требуют очень длинных оптических скамеек. При фокусном расстоянии в 50 см уже нужна скамья в 2,5—3 м. Поэтому всегда следует брать сильные собирающие линзы и слабые рассеивающие.

Этим же способом полезно воспользоваться и для определения фокусных расстояний очень слабых собирающих линз, соединяя их с довольно сильными.

§ 42. Микроскоп.

1. Устройство микроскопа. Современный микроскоп советского производства ВОМПа (Всесоюзного объединения оптико-механической промышленности) изображен на рисунке 435. Схема хода лучей в нем изображена на рисунке 436. На обоих рисунках одни и те же части помечены одинаковыми цифрами. Как видно из схемы хода лучей, назначение зеркала (16) — направить лучи от источника света вверх на рассматриваемый препарат. Обычно одна оправа содержит два зеркала: одно — плоское, другое — вогнутое. Плоское зеркало только поворачивает лучи, вогнутое поворачивает и собирает. Следовательно, вогнутое зеркало даст более сильное освещение. Когда рассматриваемый препарат очень мал, а значит, увеличение нужно очень большое, то для большей концентрации света употребляют еще конденсор (14) — плосковыпуклую линзу (систему линз), сильно собирающую лучи, идущие от зеркала. Главный фокус конденсора лежит на 1—2 мм выше плоской части, поэтому конденсор обычно поднимают вверх до соприкосновения с предметным стеклом.

Микроскопы, предназначенные для малых увеличений, обычно конденсора не имеют.

За препаратом помещается объектив. Таким образом, препарат рассматривается в проходящем свете. Объектив — самая сложная и самая важная часть микроскопа.

Обычно к одному штативу (так называют весь микроскоп без оптических частей) прилагают несколько объективов, различающихся по даваемому ими увеличению. На каждом объективе ВОМПа поставлено число, указывающее собственное увеличение объектива и апертуру. Заграничные фирмы обозначают объектив условными знаками: цифрами или буквами, восходящими в порядке оптической силы объективов. Цейсс на апохроматах ставит фокусное расстояние объектива.

На другом конце раздвижного тубуса (9) помещают окуляр. На окулярах ВОМПа стоят числа со знаком умножения, показывающие их увеличение. Заграничные фирмы нумеруют окуляры в порядке восходя-

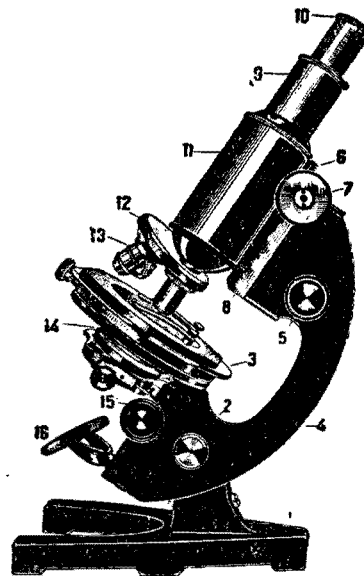


Рис. 435. Микроскоп.

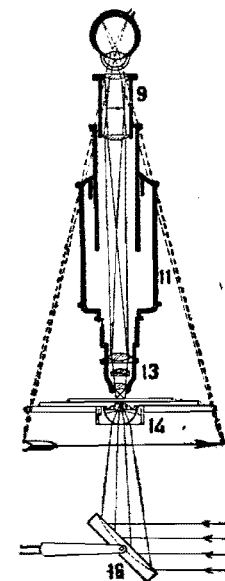


Рис. 436. Ход лучей в микроскопе.

щего увеличения. По внешности чем короче окуляр, тем он сильнее. Весь тубус может быть поднимаем или опускаем грубо при помощи кремальеры и винта (7) и очень тонко при помощи микрометрического винта (5).

2. Объективы и окуляры. Нижняя линза объектива, обращенная к препарату, носит название фронтальной. Грубо говоря, это — основная линза. Увеличение, главным образом, зависит от нее. Все остальные линзы преимущественно исправляют оптические недостатки фронтальной линзы.

Объективы, в которых в значительной мере исправлены все недостатки, а в особенности хроматическая aberrация, носят название ахроматических. Объективы, в которых в погоне за еще большим уничтожением всех недостатков оставлена некоторая aberrация в синих лучах, носят название апохроматов, — это высший сорт объективов. Оставшаяся в них небольшая aberrация исправляется специально сконструированными окулярами — компенсационными. Кроме своей оптической силы, объективы классифицируются по той среде, которую приходится проходить лучам между покровным стеклом и объективом.

На рисунке (437) изображен ход лучей от средней точки препарата через покровное стекло и далее в объектив в трех случаях: а) промежуточная среда — воздух ($n=1$); б) промежуточная среда — вода ($n=1,33$) и в) промежуточная среда — кедровое масло ($n=1,515$).

Из рисунка явствует, что чем меньше показатель преломления промежуточной среды, тем благодаря полному внутреннему отражению меньше лучей попадает в объектив¹⁾.

Объектив, рассчитанный на промежуточную среду — воздух, называется сухим; объективы, рассчитанные на жидкую промежуточную среду, называются иммерсионными (погруженными). В случае воды иммерсия называется водной; в случае масла — масляной, или гомогенной. На иммерсионных объективах это всегда отмечено (рис. 438). Все

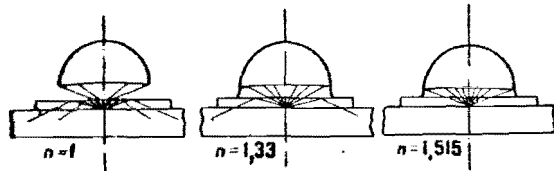


Рис. 437. Значение промежуточной среды.

слабые объективы — сухие, самые сильные объективы — иммерсионные.

По внешности чем сильнее объектив, тем меньше диаметр фронтальной линзы.

Так как при помощи окуляра можно рассмотреть лишь то, что дал объектив, то очень сильные окуляры бесполезны, совершенно так же, как бесполезно в лупу рассматривать рисунки, помещаемые в газетах. Поэтому следует всегда стремиться получать нужное увеличение при



Рис. 438. Иммерсионный объектив.

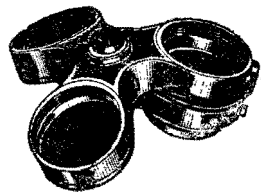


Рис. 439. Револювер.

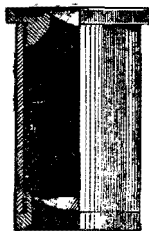


Рис. 440. Окуляр Гюйгенса.

помощи объектива, а не окуляра. Это общее правило требует приспособления для удобной и быстрой замены одного объектива другим. Таким приспособлением является револювер (12, рис. 435 и рис. 439),

¹⁾ По этой же причине стараются всегда препарат помещать тоже в среду с большим показателем преломления. Так, например, в большинстве биологических препаратов объект, помещаемый между покровным и предметным стеклами, заливается канадским бальзамом или желатином. Бактериологические препараты чаще рассматриваются без покровного стекла: сухими — при средних увеличениях и с каплей масла — при больших.

поворот которого сразу устанавливает другой объектив в нужном месте. Обычно микроскопы снабжаются окулярами Гюйгенса, состоящими из двух линз (рис. 440). Нижняя линза L_1 (рис. 441), помещаемая ниже того места, где без нее получилось бы изображение предмета, даваемое объективом, перехватывает пучки лучей и наклоняет их к главной оптической оси. Благодаря этому изображение несколько уменьшается, но зато пучки, ранее сильно расходящиеся, получают возможность попасть в верхнюю глазную линзу L_2 малых размеров, служащую лупой. Это позволяет наблюдателю, не перемещая глаза, сразу осматривать все поле зрения.

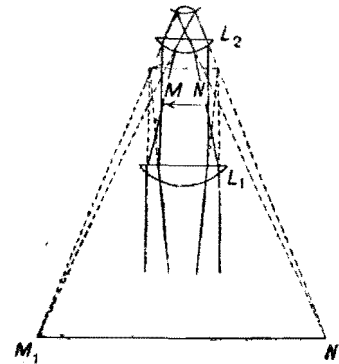


Рис. 441. Ход лучей в окуляре.

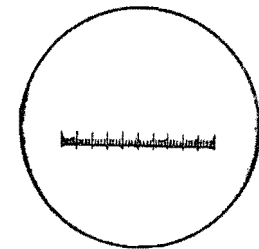


Рис. 442. Окулярный микрометр.

Так как в плоскости MN получается действительное изображение объекта, то, поместив здесь шкалу, можно одновременно видеть и объектив и шкалу. Такие шкалы называются окулярными. Обычно в окулярах в этом месте помещается диафрагма, на которую можно поместить окулярный микрометр (рис. 442).

3. Таблицы увеличений.

В ниже приводимых таблицах даны увеличения микроскопов различных фирм.

Таблица увеличений микроскопов ВОМПа

Объективы		Окуляры Гюйгенса				
собствен. увелич.	апертура	4× ¹⁾	5×	7×	10×	15×
10	0,25	40	50	70	100	150
20	0,40	80	100	140	200	300
40	0,65	160	200	280	400	600
90	1,25	360	450	630	900	1 350

¹⁾ 4× означает, что собственное увеличение четырехкратное.

Таблица увеличений микроскопов Цейсса.

Объективы	Окуляры					Компенсационные		
	1	2	3	4	5	8	12	18
11	15	23	28	43				
42	54	79	97	142				
39	50	73	90	131				
100	125	180	225	325				
175	225	325	405	580				
275	345	505	620	900	710	1 025	1 510	
420	530	770	940	1 360	1 085	1 570	2 310	
410	515	750	920	1 340	1 095	1 590	2 325	

Объективы	Окуляры компенсационные					
	2	4	6	8	12	18
Апохроматы { 16	31	62	94	125	187	281
8	62	125	187	250	375	562
4	125	250	375	500	750	1 125
3	167	333	500	667	1 000	1 500
2	250	500	750	1 000	1 500	2 250
1,5	333	667	1 000	1 334	2 000	3 000

Таблица увеличений микроскопов Рейхерта.

Объективы	Окуляры компенсационные					
	I	II	III	IV	V	12
Ахроматы { 1	20	25	30	40	55	—
2	23	28	33	48	65	—
3	50	60	75	95	130	—
4	70	90	110	145	200	240
5	150	190	235	310	430	520
6	180	230	280	375	520	640
7	260	335	400	540	750	900
8	310	390	470	640	880	1 100
9	385	495	585	800	1 100	1 400
18	470	600	725	980	1 350	1 800
196	580	740	890	1 200	1 650	2 400

Таблица увеличений микроскопов Лейца.

Объективы	Окуляры						
	0	I	II	III	IV	V	
Ахро- маты {	1	13	16	19	26	32	38
	2	23	29	35	46	58	70
	3	41	51	62	82	103	123

Объективы	Окуляры					
	0	I	II	III	IV	V
4	73	91	109	146	182	218
5	133	167	200	267	333	400
6	180	230	280	360	460	560
7	232	290	348	465	581	697
8	276	346	415	553	691	830
9	341	426	511	682	852	1 022
1/12	470	500	600	800	1 000	1 200
1/16	450	570	700	900	1 140	1 400

4. Уход за микроскопом. Как ни плотно свинчены стекла объективов и окуляров, все же пыль проникает и туда. Удалить эту пыль, в особенности в объективе, очень трудно, поэтому основное правило хранения микроскопа — беречь его самым тщательным образом от пыли.

Для этого недостаточно поставить микроскоп в футляр; следует еще микроскоп в футляре поставить в плотно закрывающийся шкаф и при этом лучше не на нижнюю полку.

Перед работой с микроскопом и после нее необходимо тщательно его осматривать и удалять всякую грязь. Пыль лучше всего обмахивать мягкой кисточкой. Если где-либо появилось загрязнение, его следует смыть. Наружные поверхности стекол, места, покрытые черным лаком или никелированные, можно протирать мягкой полотняной тряпочкой, смоченной чистым спиртом. Места, покрытые золотистым лаком, следует протирать бензином.

Иммерсионные объективы после работы нужно очень тщательно очищать от кедрового масла (промывать спиртом).

Не следует даже на самое короткое время объективы оставлять на столе. Объектив должен находиться или в своем футляре или быть ввинченным в микроскоп.

Не следует оставлять ни на одну минуту микроскоп с ввинченным объективом без окуляра.

Не следует оставлять микроскоп на столе под непосредственными лучами Солнца, ставить микроскоп у печки. От нагревания склеивающий линзы канадский бальзам может потечь, объектив станет от этого мутным, негодным для дальнейшей работы. В случае внесения сильно охлажденного микроскопа в теплую комнату, ему надо дать согреться, не вынимая из футляра.

Если зимой в морозные дни необходимо микроскоп перенести из одного здания в другое, нужно все объективы и окуляры переносить во внутреннем кармане с таким расчетом, чтобы они не были охлаждены.

5. Установка микроскопа. Ввинчивают объектив и помещают на место окуляр. Опускают весь тубус, примерно до той высоты, какая будет окончательно нужна, и, вращая зеркало, добиваются хорошего, равномерного освещения всего поля зрения. При слабых увеличениях можно вести наблюдение без конденсора с плоским зеркалом или с конденсором и вогнутым зеркалом; при больших увеличениях — без конденсора с вогнутым зеркалом или с конденсором и плоским зеркалом. Этот совет отнюдь — не правило, от которого нельзя отступать; наоборот, путем нескольких проб следует подобрать наилучшее освещение. Не следует при этом гнаться за очень сильным освещением, оно утомляет глаз.

Добившись хорошего освещения, помещают на предметный столик препарат, подлежащий рассматриванию, и, глядя сбоку, опускают тубус и приближают объектив к препарату больше, чем следует (см. таблицу).

Таблица 1).

Характеристика объектива	Фокусное расстояние объектива в мм	Увеличение объектива	Общее увеличение микроскопа в целом	Расстояние объектива от покровного стекла в мм
Самые слабые	17	10	40—100	7,5
Средние	7	20	75—300	2
Сильные	4	40	150—700	0,4
Самые сильные	2	90	400—1 200	0,1

Установив таким образом микроскоп, смотрят в окуляр и осторожно, медленно поднимают тубус, пока не увидят препарат.

Чтобы глаз не утомлялся, необходимо подвижный тубус выдвинуть при револьверной смене объективов до черты 180. Этим добиваются того, что изображение, даваемое окуляром, лежит на расстоянии наилучшего зрения (25 см). Если зрение ненормальное, нужно попробовать это расстояние менять в небольших пределах, пока не станет легко и удобно смотреть. В хорошей наводке можно убедиться следующим образом. Кладут рядом с микроскопом книгу на такой высоте,

¹⁾ Все числа приблизительны и годны лишь для первоначальной ориентировки.

чтобы глазу, находящемуся у окуляра, было удобно читать. Смотрят попеременно на книгу и в окуляр; если при этом не приходится менять аккомодации глаза, наводка хороша.

6. Наблюдение броуновского движения. Препаратом, подлежащим рассматриванию, в данном случае может служить: 1) капля воды, замученной небольшим количеством неснятого молока, 2) капля воды, замученной раствором канифоли в спирте, 3) любая акварельная краска, разведенная в воде, 4) тушь. Изготовление препарата сводится к помещению капли одного из указанных растворов на предметное стекло. Капля покрывается покровным стеклом, в зависимости от размеров последнего¹⁾ каплю берут большую или малую.

Поместив препарат на предметный столик, производим установку микроскопа, как описано в предыдущем разделе. Так как почти всегда, глядя в микроскоп, мы видим ряд точек — пылинки, лежащие на одном из стекол системы, а наш препарат представляет собой тоже ряд точек, то для различения их полезно слегка передвигать препарат. Если при этом наблюдаемые точки движутся в одну сторону, значит наблюдаем то, что нужно. Данное наблюдение может осложниться еще одним обстоятельством; если мы смотрим на очень ярко освещенную поверхность, то можем видеть движение клеток, плавающих в стекловидном теле собственного глаза (энтоптические явления). Это движение сначала легко принять за броуновское.

Для наблюдения броуновского движения требуется система, дающая не менее чем 500-кратное увеличение.

7. Объективный и окулярный микрометры. Для определения увеличения микроскопа и производства измерений под микроскопом необычайно полезны объективный и окулярный микрометры.

Объективный микрометр (рис. 443) представляет собой предметное стекло, на котором нанесен 1 мм, разделенный на 100 частей.

Наносятся эти деления при помощи делительной машины или фотографическим путем. Как бы деления ни были нанесены, — они полупрозрачны, а потому трудно находимы, в особенности при больших увеличениях. Они несколько лучше видны при косом

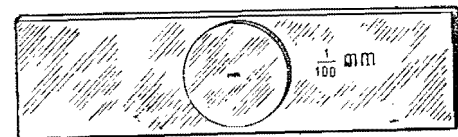


Рис. 443. Объективный микрометр.

освещении, которое и рекомендуется применять. Довольно легко их заметить также при очень сильном освещении, однако, так как оно вредно для глаз, то не может быть рекомендуемо.

Некоторые иностранные фирмы на том же стекле наносят несколько концентрических окружностей, охватывающих миллиметр, разделенный на части. Эти окружности, как более грубые, значительно легче улавливаются. Найдя часть такой окружности, уже легче найти

¹⁾ Чаще всего покровные стекла бывают круглые, диаметром в 15 и 18 мм и квадратные, со стороной в 15 и 18 мм. Толщина покровного стекла 0,1—0,2 мм. В случае отсутствия покровного стекла его можно заменить тонким кусочком слюды. Толстое покровное стекло не позволило бы при нужном здесь увеличении увидеть препарат.

деления, — для этого стоит лишь немного передвинуть весь микрометр. Передвигая микрометр, необходимо помнить, что микроскоп дает обратное изображение, а потому двигать надо в прямо противоположную сторону.

Окулярный микрометр представляет собой (рис. 442) круглое стеклышко, на котором нанесены произвольные равные деления, обычно 50. Он помещается внутри окуляра на диафрагме. Отвинтив обе линзы окуляра, кладут на диафрагму микрометр, ввинчивают глазную (верхнюю) линзу и пытаются рассмотреть деления микрометра. Если они видны недостаточно четко, начинают, не переставая смотреть на микрометр, вывинчивать глазную линзу. Если при этом изображение улучшилось, — пододвигают диафрагму немного вверх; если изображение ухудшилось, — передвигают диафрагму вниз.

Смотреть следует, направив ось окулярной трубки на лист белой бумаги.

Найдя нужное положение микрометра, свинчивают окуляр и вставляют в тубус микроскопа.

8. Измерения микроскопических объектов. Кладут на предметный столик объективный микрометр, а окулярный вставляют в окуляр.

Сфокусировав объективный микрометр, поворачивают окуляр до тех пор, пока оба микрометра, теперь видимые одновременно, не станут параллельны друг другу. Пододвигая объективный микрометр, добиваются того, чтобы обе системы делений налегли друг на друга и было удобно отсчитывать деления.

Пусть n_1 делений (рис. 444) объективного микрометра накладывается на n_2 делений окулярного. Тогда каждое окулярное деление (при данной системе) соответствует:

$$\frac{n_1}{100} : n_2 = \frac{n_1}{100 n_2} \text{ мм.}$$

Найдя таким образом цену деления окулярного микрометра, можно измерять любые объекты. Заменяв объективный микрометр препаратом, можно будет одновременно видеть и препарат и деления окулярного микрометра, а, значит, можно будет измерить взятый объект в делениях окулярной шкалы. Помножив полученное число делений на цену деления $\frac{n_1}{100 n_2}$, найдем искомый размер в миллиметрах.

9. Определение увеличения микроскопа. 1) Микроскоп. 2) Объективный микрометр. 3) Миллиметровая линейка. 4) Штатив. 5) Зеркало на подставке (рис. 445).

Если нет объективного микрометра, можно воспользоваться тонкой металлической проволокой, измерив ее диаметр микрометром, или вместо микрометра можно взять один из следующих объектов, сохраняющих довольно постоянно свои размеры:

Диаметр человеческого волоса	от 0,03 до 0,06 мм.
Диаметр споры ликоподия	0,003 мм.
Диаметр красного кровяного шарика	0,0075 мм.

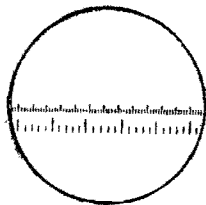


Рис. 444. Окулярный и объективный микрометры, видимые одновременно.

С другой стороны, необходимо изготовить подставку для зеркала (рис. 445). Для этого берут квадратную или круглую палку ($d = 20$ мм) и отпиливают от нее кусочек так, чтобы плоскость первого распила была перпендикулярна оси палки — это будущее основание, а плоскость другого распила должна с первой образовывать угол в 45° . Перпендикулярно к основанию просверливают в кусочке палочки отверстие ($d = 10$ мм). Наклеивают на наклонную сторону кусочек хорошего зеркала (15 мм \times 15 мм), в центре которого процарапано отверстие ($d = 2-3$ мм). Общая установка понятна из рисунков 446 и 447. Если смотреть через отверстие в зеркале MN , то, так как диаметр зрачка более 3 мм, будут одновременно видны и объективный микрометр и шкала AB .

Для того чтобы хорошо видеть обе шкалы сразу, необходимо подобрать соответствующим образом силу освещения того и другого масштабов. Обычно бывает этого легче достигнуть, изменяя степень освещения объективного микрометра путем поворота осветительного зеркала.

Поворачивая надлежащим образом объективный микрометр, легко добиться того, чтобы деления микрометра совпали с делениями вертикальной шкалы. Сосчитав, сколько делений n_1 шкалы совпадает с n_2 делениями объективного микрометра и приняв во внимание, что n_2 делений микрометра равны $\frac{n_2}{100}$ мм, легко получить увеличение микроскопа:

$$\omega = n_1 : \frac{n_2}{100} = \frac{n_1}{n_2} \cdot 100.$$

Вместо объективного микрометра можно взять один из указанных объектов, тогда $\omega = \frac{n_1}{d}$, где d — диаметр объекта.

10. Модель микроскопа.

- 1) Короткофокусная линза ($F = 3-5$ см, $d = 1-2$ см).
- 2) Линза ($F = 8-10$ см, $d = 3-5$ см).
- 3) Оптическая скамья.
- 4) Кусочек миллиметровой кальки.
- 5) Осветительная лампа.
- 6) Кусочек кальки или матового стекла.
- 7) Миллиметровая линейка.

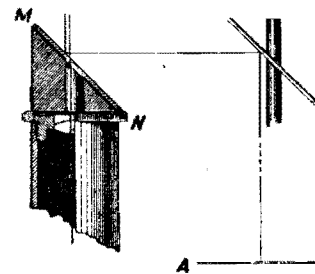


Рис. 446. Схема установки для определения увеличения микроскопа.

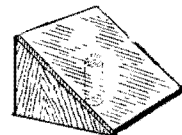


Рис. 445. Подставка для зеркала.

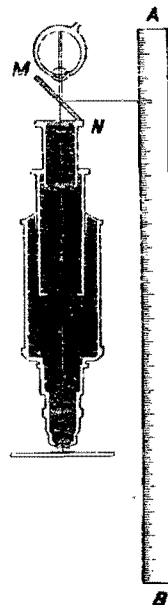


Рис. 447. Схема установки для определения увеличения микроскопа.

Укрепляют линзы, кальку, прозрачную клетчатку и осветительную лампу на стойках оптической скамьи (рис. 448). Сильно освещают кусок миллиметровой кальки, наклеенной на куске картона. AB — объект для рассматривания в микроскоп. За ним помещают более

сильную линзу на расстоянии, несколько большем, чем фокусное, и проектируют клетчатку на матовое стекло.

На рисунке 448 представлена схема установки: *S*—осветительная лампа; *AB*—миллиметровая калька; *L₁*—объектив (более сильная линза); *L₂*—окуляр (более слабая линза); *E*—экран (матовое стекло, калька).

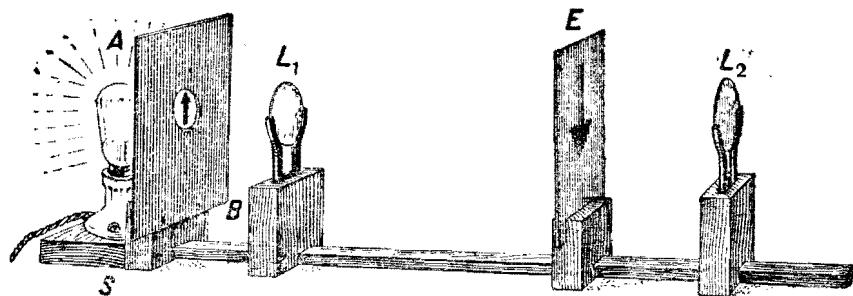


Рис. 448. Сборка схемы микроскопа.

Как известно, чем ближе предмет к главному фокусу линзы, тем изображение его дальше и больше. Не следует этим злоупотреблять. Если изображение находится на расстоянии *LE*, превышающем более чем в 4—6 раз расстояние *AL₁*, то изображение становится сильно окрашенным и неясным.

В качестве осветительной лампы хороша 4-вольтовая лампочка от карманного фонаря.

Полученное на матовом стекле изображение рассматриваем через более слабую линзу *L₂*. После установки линзы *L₂* убираем экран *E* и видим непосредственно увеличенную клетчатку—объект. Чтобы судить о характере изображения, полезно на клетчатке нарисовать небольшую (5 мм) стрелку. Можно, конечно, линзы укреплять не только в подставках оптической скамьи, а как угодно, например так, как указано на рисунке 449.

Поместив на расстоянии 25 см от окуляра, несколько сбоку, миллиметровую линейку, можно одним глазом смотреть в окуляр, другим—на линейку и определить, скольким миллиметрам *n₁* изображения соответствует *n₂* делений линейки. Тогда увеличение $w = \frac{n_2}{n_1}$.

11. Демонстрация хода лучей в микроскопе. Общий принцип демонстраций подобного рода описан раньше (§ 20, 1). Однако так как с подобного рода прибором несколько трудно показывать ход

Рис. 449. Схема микроскопа.

лучей в микроскопе, благодаря ограниченному числу „линз“, пригодных для этого, укажем одно приспособление, сделанное специально для данного опыта. Берут два очковых стекла (*F* = 6 см и *F₁* = 15 см). Путем предварительной пробы, как это описано в предыдущем раз-

деле, определяют расстояние от предмета до объектива и от объектива до окуляра. Отмечают эти расстояния на оси картона. Проделывают в этих местах чечевицеобразные отверстия с таким расчетом, чтобы в них влезли наши линзы, и вклеивают их (рис. 450). Линзы должны быть утоплены на одну треть. Непосредственно перед объективной

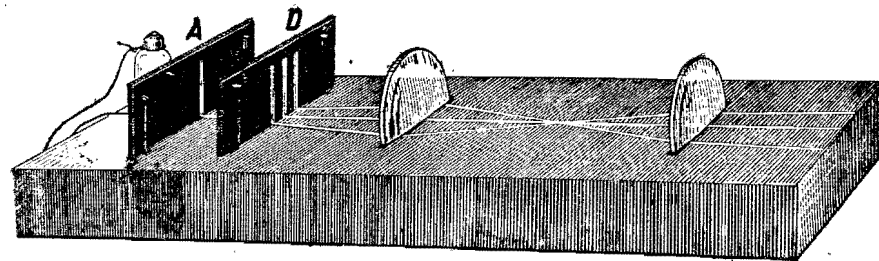


Рис. 450. Схема установки для демонстрации хода лучей в микроскопе.

линзой помещают кусок картона с тремя щелями, рассчитанными так, чтобы пучок света, расходящегося из щели *A* и прошедшего через щели *D*, попал на объектив. Если теперь перед щелью *A* поместить однонитную 12-вольтовую лампочку, то на поверхности картона вырисуетесь весь ход лучей.

12. Микропроекция. В физике, главным образом, интересны две микропроекции: броуновское движение и рост кристалла: первая требует большого увеличения и сильного освещения; вторая дает хорошие результаты при слабом увеличении и среднем освещении.

1) Броуновское движение. Для проекции необходимо микроскоп с системой, дающей увеличение не меньше 500-кратного.

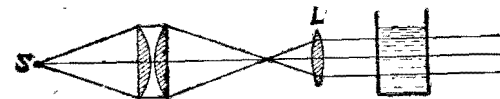


Рис. 451. Схема освещения для микроскопа.

Необходимость сильного освещения заставляет прежде всего позаботиться о хорошем охладителе: на пути лучей, даваемых фонарем, нужно поместить толстый слой воды (сантиметров 10), ограниченный плоско-параллельными стенками.

Пучок световых лучей, падающих на зеркало микроскопа, можно осуществить следующими путями:

а) На пути лучей, выходящих из конденсора фонаря, устанавливается в расходящемся уже пучке собирающая линза. Собирающая линза (рис. 451) должна быть так помещена, чтобы ее главный фокус оказался в самом узком месте пучка, даваемого конденсором. Напомним, что при правильном расположении источника света относительно конденсора (т. I, глава XIV, § 83) самое узкое место (фокус) получается на расстоянии около 1,5 *d*, где *d*—диаметр двухлинзового конденсора. А потому, чтобы весь пучок был охвачен линзой *L*, ее фокусное расстояние *F* должно быть меньше, чем 1,5 *d*.

б) Конденсор фонаря можно заменить круглодонной колбой (емкостью в 2—3 л) с водой. Колба служит одновременно и конденсором

и охладителем. Вместо линзы L (рис. 451) можно взять тоже колбу (емкостью 400—500 см³) с водой (рис. 452). Охлаждение получится достаточно хорошее, пучок — не очень хорош, так как сферическая аберрация здесь будет очень сильна.

Где поместить ванну с водой — все равно. Получив так или иначе достаточно узкий и интенсивный пучок света, располагают микроскоп так, чтобы весь пучок падал на осветительное зеркало. На предметный столик помещают препарат с краской (§ 42, 6), удаляют окуляр и прямо на тубус ставят призму полного внутреннего отражения (равнобедренную, прямоугольную). Перед призмой, на расстоянии, не большем 1 м, помещают просвечи-

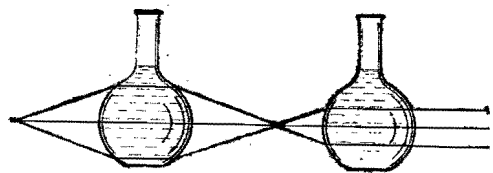


Рис. 452. Схема простейшего осветителя.

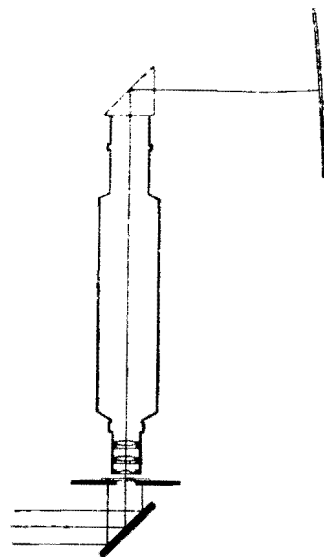


Рис. 453. Схема микропроекции.

вающий экран (матовое стекло или кальку) и проектируют (рис. 453).

Так как частицы, принимающие участие в броуновском движении, очень малы и необходимо много света, то проектирование на отра-

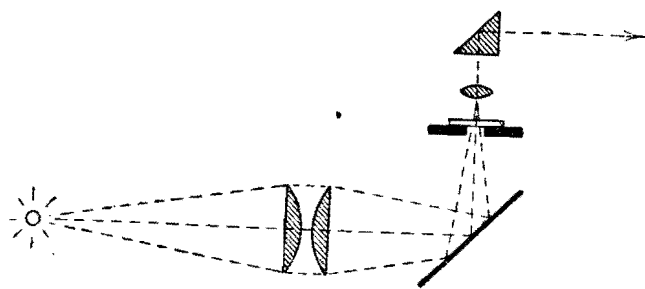


Рис. 454. Микропроекция без микроскопа.

жающий экран дало бы слишком слабую картину. Просвечивающий экран даст хорошую картину лишь в том случае, если смотреть будут по направлению, почти перпендикулярному к нему. Другими словами, при проектировании броуновского движения всем сразу его показать не удастся. Придется экран перемещать и соответственно поворачивать призму, чтобы экран оказался в нужном направлении последовательно для всех зрителей.

2) Для проектирования роста кристалла можно поступить так же, как и в предыдущем случае, взяв, однако, слабый объектив. Можно спроектировать рост кристалла и без микроскопа. В последнем случае полученный от фонаря (при помощи конденсора) пучок лучей зеркалом поворачивают вверх. На кольцо, зажатое в штатив, помещают небольшой кусок фанеры с высверленным отверстием ($d = 1$ см); на фанеру кладут препарат. Кольцо устанавливают так, чтобы препарат пришелся ниже самого узкого места светового пучка на 2—3 см. Над препаратом помещают линзу ($F = 2—3$ см) (годна глазная линза от окуляра); над линзой ставят призму полного внутреннего отражения (рис. 454). Изменяя расстояние от препарата до линзы, добиваются хорошей картины на экране.

Охладитель и здесь необходим. Препаратом может служить небольшое количество салола. Для расплавления его достаточно стекло слегка подогреть спичкой (салол в таблетках даст несколько искаженную картину, так как в нем имеется склеивающее вещество, не плавящееся при температуре плавления салола).

§ 43. Зрительная труба.

1. **Ход лучей в трубе.** Идея астрономической трубы заключается в том, что окуляр еще раз увеличивает изображение, даваемое объективом и уже им „увеличенное“.

Ход лучей в трубе представлен на рисунке 455, где лучи a, a, a представляют собой пучок лучей, вышедших из верхней точки предмета, не изображенного на рисунке, и падающих на объектив O . Этот пучок можно рассматривать как параллельный, ибо наш предмет находится где-то очень далеко. Этот пучок объективом O превращается в сходящийся в точке A_1 . Другими словами, точка A_1 является изображением верхней точки предмета, даваемого объективом. То же относится к точке B_1 и лучам b, b, b , вышедшим из нижней точки предмета.

Итак, A_1B_1 есть „увеличенное“ изображение предмета. Оно рассматривается в окуляр O_1 , как в лупу. Окуляр дает изображение

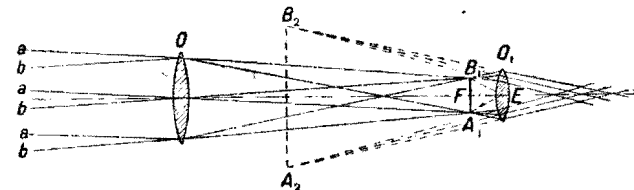


Рис. 455. Ход лучей в астрономической трубе.

$A_2 B_2$ — мнимое, увеличенное и прямое по отношению к изображению $A_1 B_1$ и обратное по отношению к предмету.

Для изучения трубы нужно показать: 1) где получается изображение $B_1 A_1$; 2) почему мы говорим об „увеличении“; 3) каково общее увеличение трубы.

2. **Прибор для измерения угла зрения.** Схематически прибор (рис. 456) состоит из стойки A с диоптром, находящимся на высоте

15 см от подставки MN, и второго диоптра, могущего скользить по стойке B. Высота второго диоптра определяется по шкале, наклеенной на стойку B. Расстояние между диоптрами 25 см.

Располагают диоптры на одной высоте и наводят их на какую-нибудь точку удаленного предмета (соседнего дома, удаленного окна в коридоре). Поднимают подвижной диоптр и фиксируют направление на какую-либо другую точку того же предмета. Делают по линейке B отсчет положений диоптра; тогда отношение

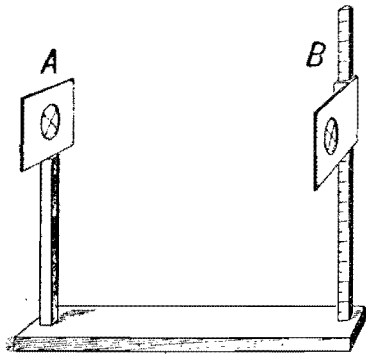


Рис. 456. Прибор для определения угла зрения.

перемещения диоптра l к расстоянию между диоптрами дает тангенс угла зрения (рис. 457):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{l}{d}.$$

Осуществить прибор можно или сделав самостоятельно отдельный прибор (рис. 458), или воспользовавшись любой оптической скамьей.

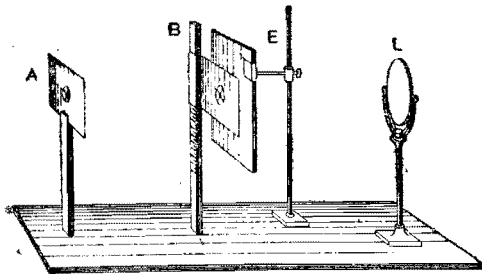


Рис. 458. Прибор для измерения угла зрения.

угол α_1 , под которым нам видно изображение. Весьма полезно, убрав экран, убедиться в том, что и без экрана в диоптры видно то же самое изображение.

Убирают экран и линзу. Наши диоптры окажутся направленными на предмет. Измеряют угол α_2 , под которым виден предмет.

Отношение $\frac{\alpha_1}{\alpha_2}$ даст нам угловое увеличение. Только найдя указанное отношение, учащийся ясно поймет, почему, несмотря на то, что изображение получилось уменьшенное, мы говорим об увеличении

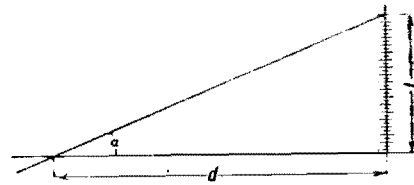


Рис. 457. Определение угла зрения.

3. Определение углового увеличения. 1) Оптическая скамья. 2) Длиннофокусная линза ($F = 50$ см или больше) на стойке. 3) Просвечивающий экран на стойке. 4) Прибор для измерения угла зрения (рис. 458).

Устанавливают линзу L и получают на экране действительное изображение очень удаленного предмета. Вплотную к экрану придвигают диоптр B прибора для измерения угла зрения и измеряют

Полезно данную линзу заменить другой, обладающей другим фокусным расстоянием, и проделать тот же опыт. Сопоставление результатов приведет к выводу, что чем больше фокусное расстояние, тем линза дает большее угловое увеличение.

Так как изображения будут малы, то нити в диоптрах нужно брать очень тонкие.

4. Составление трубы и определение ее увеличения. 1) Оптическая скамья. 2) Линзы ($F_1 = 50$ см и $F_2 = 8$ см). 3) Просвечивающий экран. 4) Масштаб с четкими крупными делениями.

Укрепляем на хорошо освещенной стене масштаб. В качестве такого очень хороши нивелирные рейки, употребляемые геодезистами. Если их нет, можно взять полоску миллиметровой бумаги ($l = 100$ см, $b = 4$ см) и закрасить черной краской столбики по 5 см длиной и 2 см шириной поочередно справа и слева (рис. 459).

По возможности дальше от масштаба располагаем оптическую скамью. Получаем на экране изображение, даваемое длиннофокусной линзой. Это изображение рассматриваем через короткофокусную линзу как лупу, располагая ее за экраном. Удаляем экран, — масштаб оказывается прекрасно видимым, — труба готова. Тут же выясняется роль второй линзы, — она служит лупой, значит, дает мнимое изображение.

Для определения увеличения трубы смотрят одним глазом в трубу, а другим непосредственно на масштаб. В сознании две картины, воспринятые двумя разными глазами, накладываются одна на другую. Замечают, какие деления лучше совпадают, и отсчитывают, скольким делениям n_1 непосредственно видимым, соответствует n_2 делений, видимых в трубу. Отношение $\frac{n_1}{n_2}$ и дает искомое увеличение.

Оправы линз должны быть настолько тонки, чтобы не загораживать свет второму глазу.

Рис. 459. Рейка.

§ 44. Бинокль.

1. Ход лучей. Бинокль представляет собой (рис. 460) две трубы Галилея, соединенные вместе. Преимущество его перед зрительной трубой — значительно меньшая длина. В самом деле, длина кеплеровой (рис. 455) трубы равна $F_1 + F_2$, где оба фокусных расстояния положительны; длина галилеевой трубы (рис. 461) тоже равна $F_1 + F_2$, но F_2 отрицательно.

В призматических биноклях (рис. 462) укорочение трубы достигается тем, что луч внутри трубы заставляют пройти дважды. Для демонстрации хода луча в призматическом бинокле полезно иметь один из приборов (рис. 463 и 464), в которых легко проследить все отражения лучей. Разница между этими приборами та, что в первом отражение получается при помощи призм полного внутреннего отражения, во втором — при помощи зеркал.

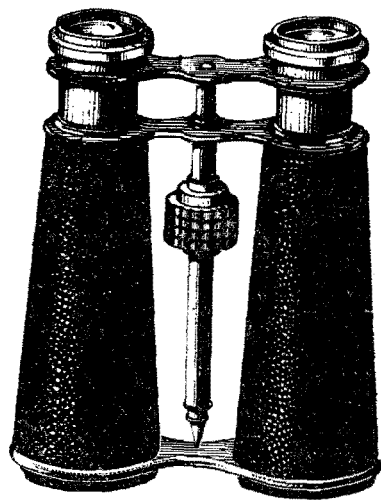


Рис. 460. Бинокль.

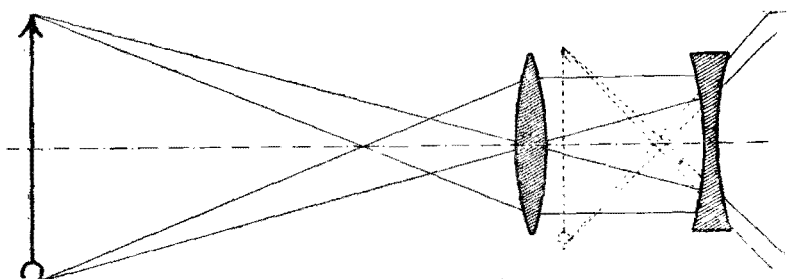


Рис. 461. Ход лучей в бинокле.

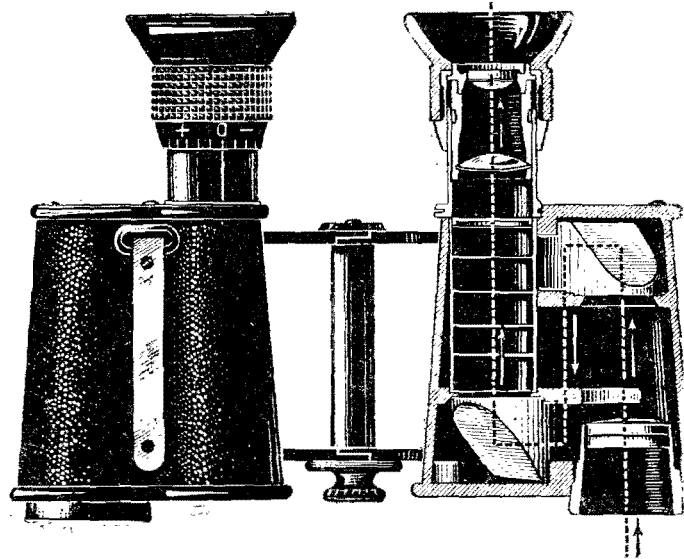


Рис. 462. Призматический бинокль.

2. Построение бинокля и определение увеличения. 1) Собирающая линза ($F = 30$ см, $d = 4-5$ см). 2) Рассеивающая линза ($F = 8$ см, $d = 2-1,5$ см). 3) Оптическая скамья. 4) Рейка (§ 43,4). 5) Экран.

На оптическую скамью ставят собирающую линзу—объектив—и так располагают скамью, чтобы линза была обращена к далеко стоящей, но хорошо освещенной рейке. Располагают на той же скамье экран и передвигают его до тех пор, пока на нем не получится резкое изображение нашего объекта—рейки. Между экраном и собирающей линзой помещают рассеивающую линзу—окуляр, убирают экран и смотрят в получившуюся трубу Галилея непосредственно глазом. Рассеивающая линза должна быть так помещена, чтобы экран (впоследствии удаленный) оказался в ее главном фокусе. Если это было выполнено, то очень небольшого передвижения окуляра достаточно для окончательной установки получившейся трубы.

Глядя одним глазом на рейку непосредственно, а другим через галилееву трубу, считают, сколько

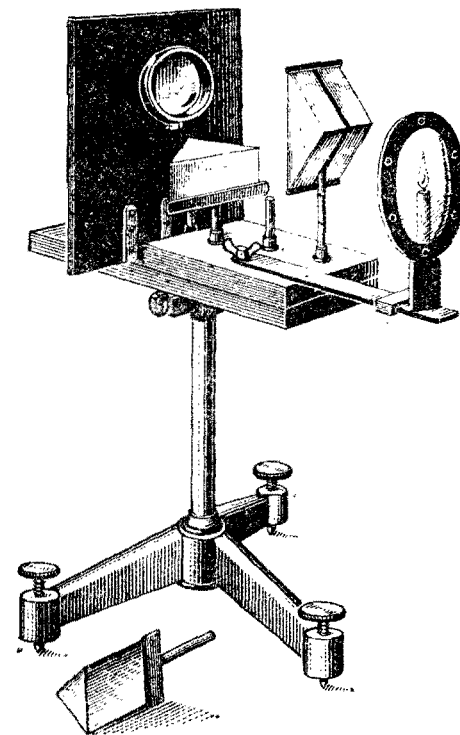


Рис. 463. Демонстрация хода лучей в призмах бинокля.

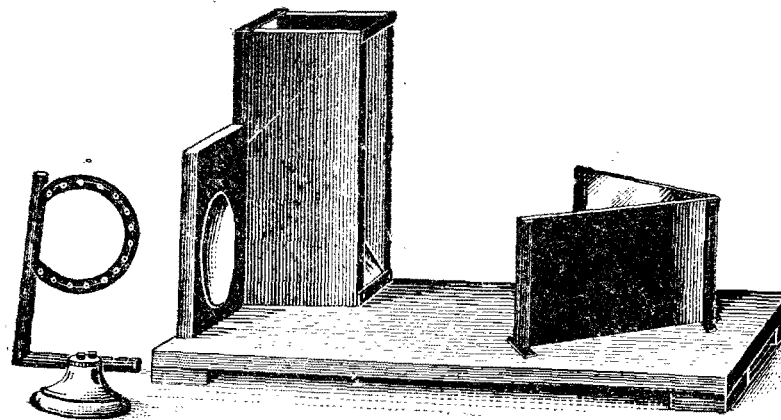


Рис. 464. Прибор, иллюстрирующий ход лучей в призмах бинокля.

делений n_1 рейки соответствует n_2 делениям изображения. Увеличение равно $\frac{n_1}{n_2}$.

§ 45. Проекционный фонарь.

Проекционные фонари и способы их применения были описаны в томе I, главе XIV, поэтому здесь опишем лишь прибор, пригодный для практических работ учащихся.

Основной частью этого фонаря является карманный электрический фонарь. В нем имеется источник тока, источник света и почти готовый конденсор. Переделка должна заключаться в следующем. Прежде всего тем или иным способом несколько отодвигаем линзу от лампочки настолько, чтобы получить почти параллельный пучок света. Добавляем

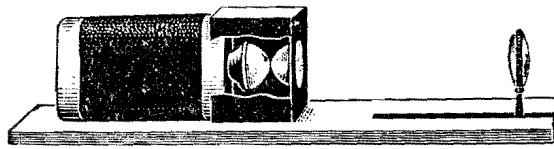


Рис. 465. Проекционный фонарь для лабораторных работ.

вторую такую же линзу, обращая их выпуклыми сторонами друг к другу. Для укрепления второй линзы придется корпус карманного фонаря заключить во второй корпус, сделанный либо из дерева, либо из жести,

и уже в нем пристроить оправу для линзы и заодно направляющие для объектива. Размеры полученного нами фонаря позволят проектировать киноленту, а потому около конденсора надо сделать отверстие для ленты. Объективом с успехом может служить лупа ($F=4-5$ см).

Общий вид такого фонаря изображен на рисунке 465.

Темой работы может быть определение увеличения, даваемого фонарем. Для этой цели закладывают в фонарь один кадр киноленты и проектируют на стену (конечно, в хорошо затемненной комнате). Измеряют размеры предмета — кадр киноленты и размеры полученного изображения. Деля последнее на первое, получают искомое увеличение.

Полезно полученный результат проверить по формуле $w = \frac{l}{F}$, где l — расстояние от объектива до экрана; F — фокусное расстояние объектива. Последнее может быть найдено, как указано в § 36, 4.

§ 46. Фотоаппарат.

Фотоаппарат как технический прибор — см. т. I, изд. 2-е.

1. Определение светосилы. 1) Фотоаппарат или модель фотоаппарата. 2) Штангенциркуль. 3) Оптическая скамья. 4) Метровая линейка.

Фотоаппарат или, правильнее, модель фотоаппарата, здесь нужен самый простой. Лучше всего модель фотоаппарата изготовить самим в виде двух коробок (рис. 466): в одну коробку вставляют линзу-объектив, которую можно заменить другой; во вторую коробку вставляют матовое стекло. Определяют одним из способов (см. § 36, 4) фокусное расстояние F линзы-объектива. Измеряют диаметр d отверстия, т. е.

незакрытой части линзы. Определяют светосилу $q = \frac{d}{F}$; d всегда меньше F , а потому q — всегда правильная дробь. Эту дробь принято приводить к виду $\frac{1}{Q}$, т. е. к такому, чтобы числитель был равен единице:

$$q = \frac{1}{Q}; \tag{2}$$

$$\frac{1}{Q} = \frac{d}{F}, \tag{3}$$

откуда

$$d = \frac{F}{Q}. \tag{4}$$

Величина d носит название относительного отверстия; дробь $\frac{F}{Q}$ никогда не сокращают.

Пример. Пусть $d=3$ см; $F=12$ см; тогда

$$q = \frac{3}{12} = \frac{1}{4}, \quad Q = 4 \quad \text{и} \quad d = \frac{12}{4} = \frac{F}{4}.$$

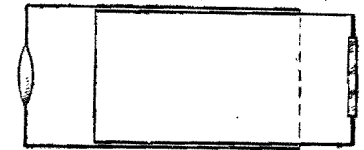


Рис. 466. Модель фотоаппарата.

Во всех равенствах важно число 4. Строго говоря, светосила в нашем примере $\frac{1}{4}$, но чаще говорят светосила 4, или $\frac{F}{4}$; последний способ формулировки означает, что мы характеризуем светосилу наибольшим относительным отверстием $d = \frac{F}{Q}$.

Найденная нами светосила будет характеризовать фотоаппарат при снимках очень далеких предметов. При снимках близких предметов светосилу нужно выразить так: $q_1 = \frac{d}{f}$, где d — поперечному диаметр отверстия, а f — расстояние от объектива до матового стекла.

Фокусируют аппарат последовательно на предмет, находящийся на расстоянии 5—6 м, и предмет, находящийся на расстоянии 0,25—0,5 м. Убеждаются, что чем ближе предмет, тем светосила становится меньше.

2. Определение угла поля зрения. 1) Модель фотоаппарата. 2) Рейка (§ 43, 4). 3) Метровая линейка.

Фокусируют рейку, которая должна быть хорошо освещена. Определяют число делений N рейки (рис. 467), видимых на матовом стекле, и расстояние от объектива до рейки d . Тогда $\text{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{N}{2d}$, откуда определяют α .

Изменяется ли угол поля зрения при изменении расстояния? Для ответа на этот вопрос определяют α , помещая рейку на другом расстоянии.

3. Определение глубины фокуса. 1) Модель фотоаппарата. 2) Метровая линейка. 3) Три рейки или других плоских объектов с резкими контурами.

Устанавливают один объект на расстоянии, в 3—4 раза превышающем фокусное расстояние объектива, и фокусируют его возможно лучше

на матовом стекле. Далее, не трогая фотоаппарата, помещают второй объект и придвигают его к объективу до тех пор, пока изображение его не станет заметно размыто, однако не настолько, чтобы портить картину (рис. 467).

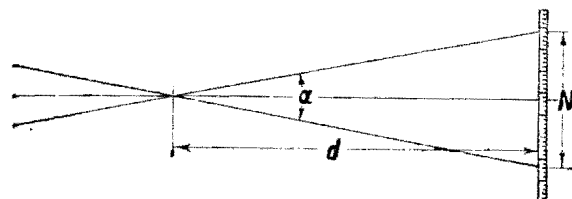


Рис. 467. Определение поля зрения фотоаппарата.

Третий объект, наоборот, удаляют настолько возможно, чтобы размытость его изображения еще не вредила картине. Измеряют расстояние K между вторым и третьим объектами, а равным образом расстояние d между объективом и первым (лучше всего сфокусированным) объектом. Отношение $\frac{K}{d}$ характеризует глубину фокуса.

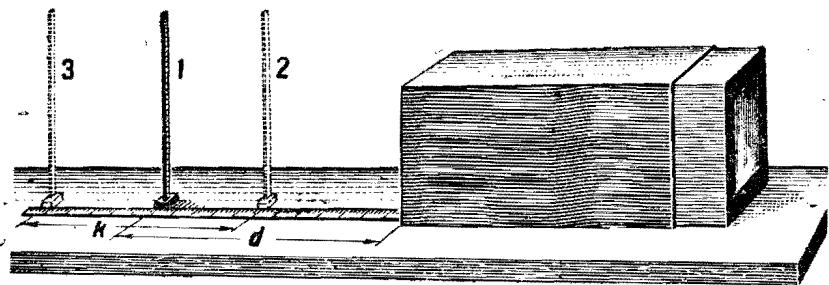


Рис. 468. Определение глубины фокуса.

Как изменяется глубина фокуса при диафрагмировании? Не меняя расстояния d , диафрагмируют объектив и вторично проделывают тот же опыт. Зависит ли отношение $\frac{K}{d}$ от d ? Помещают первый объект на расстоянии, в 20—30 раз превышающем фокусное расстояние объектива, и, проделывая новый опыт, находят новое значение $\frac{K}{d}$.

ФОТОМЕТРИЯ.

§ 47. Терминология.

Фотометрия представляет собой область технической физики, разрабатывающей способы измерения видимого света, поэтому этот отдел физики тесно связан с физиологической оптикой. Все фотометрические измерения основаны на выборе образцового источника света (светильника), каким является международная свеча (сокращенно — *м. св*), представляющая собой с 1921 г. международный эталон света, сохраняющийся посредством электрических ламп накаливания в государственных лабораториях. В СССР этот эталон принят в 1925 г. и сохраняется в Всесоюзном институте метрологии и стандартизации в Ленинграде.

В Германии до сих пор допускается применение старого эталона — свечи Гефнера, равной 0,9 международной свечи.

Международная свеча при равномерном испускании света во все стороны дает световой поток, равный 4π люменов. Отсюда люмен (сокращенно — *лм*) — единица светового потока, равная потоку внутри телесного угла в один стерадиан, исходящему из 1 международной свечи.

Световой поток, падая на ту или иную поверхность, создает освещенность — плотность светового потока в данной точке. При равномерной освещенности освещенность есть отношение светового потока к площади.

Фот (сокращенно — *ф*) — единица поверхностной освещенности, равная плотности светового потока в 1 *лм*, равномерно распределенного на 1 *см*²; 0,0001 фота = 1 люксу, т. е. 1 люкс (*лк*) — освещенность в 1 *лм* на 1 *м*², или освещенность сферы радиусом в 1 *м* помещенным в ее центре равномерным источником света с силой света в 1 международную свечу. Сила света точечного источника в некотором направлении — приходящийся на единицу телесного угла световой поток, излучаемый этим источником в данном направлении.

Средняя сила света источника — среднее из значений силы света по всем направлениям, или частное от деления полного светового потока источника на 4π .

Стильб (*сб*) — яркость равномерно светящейся поверхности, спускающей в перпендикулярном к ней направлении свет силой в 1 *м. св* с 1 *см*².

Светимостью какой-либо светящей поверхности (самостоятельно испускающей свет или освещенной) называется световой поток, испускаемый единицей поверхности. Светимость измеряется в люксах или фотах.

Светимость или освещенность — величины одной и той же размерности: первый термин применяется, когда речь идет об испускании какой-либо поверхностью, например белым экраном, отражающим свет; второй термин применяется, когда речь идет об освещении каким-либо источником света этого экрана.

Например: проекционный фонарь освещает и дает освещенность в 200 лк; светимость экрана, определяющая яркость проекции, будет меньше в зависимости от качества экрана и будет составлять около 25—30% от освещенности.

Мы приводим здесь эти определения единиц, применяемых в современной фотометрии, так как они необходимы для определения количественных условий самых элементарных опытов по фотометрии.

§ 48. Световые эталоны.

Источники света, которые могут быть применены в качестве эталонов в школе, с очень малой точностью могут быть выражены в международных единицах.

Обычная стеариновая свеча с нормальной величиной пламени по указанию Фабри дает в горизонтальном направлении силу света, мало отличающуюся от 1 международной свечи.

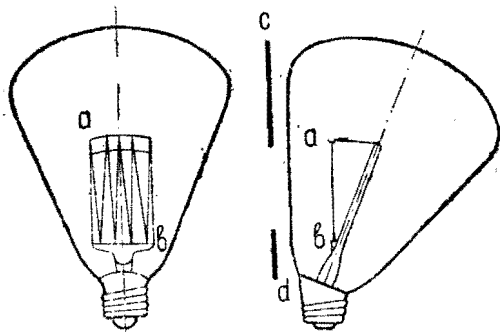


Рис. 469. Эталонная электрическая лампа.

Электрические лампы накаливания по стандарту определяются не силой света в данном направлении, а полным световым потоком. Полный световой поток, выраженный в люменах, деленных на 4π , дает силу света лампы в международных свечах. По стандарту СССР 1928 г. (ОСТ 195) электрические газополные лампы дают при мощности в 100 вт и напряжении в 120 в световой поток в 1256 лм, или почти 1 св на 1 вт. При большей мощности световая отдача увеличивается и при 1000 вт достигает 1,5 св на 1 вт. При меньшей мощности световая отдача уменьшается и при 15 вт достигает 0,86 св на 1 вт. Лампы низкого напряжения дают до 1,5 св на 1 вт. Сила света электрической лампы весьма сильно зависит и от напряжения и от срока службы лампы, почему напряжение необходимо строго контролировать.

Эталонные электрические лампы (рис. 469) ничем особо существенным не отличаются от обычных, и с некоторой степенью точности любая электрическая лампа может служить эталоном, если ее световой поток будет определен в фотометрической лаборатории сравнением с эталоном того или иного класса. При этом чрезвычайно важно иметь совершенно то же напряжение на зажимах лампы при сравнении ее с эталоном и при употреблении ее в качестве эталонного светильника.

При этом надо иметь в виду, что постоянство силы света лампы дает после некоторого предварительного горения и что, применяя обычные лампы в качестве эталонов, выгоднее пользоваться несколько пониженным напряжением против того, на которое лампа изготовлена (например 105—110 в для 120-вольтовой лампы).

Пламя ацетилена имеет яркость примерно в 8 св, т. е. каждый квадратный сантиметр в перпендикулярном направлении испускает силу света в 8 св. Яркость освещенной искусственным светом поверхности бумаги равна 0,001 св.

Исходя из этих данных, имеет смысл показать электрическую лампу в 100 вт, питая ее от слегка повышенного трансформатора и измеряя ее напряжение вольтметром. При напряжении в 120 в для новой лампы можно считать, что сила света будет около 100 международных свечей ($\pm 15\%$).

Полезно зажечь стеариновую свечу, затемнив помещение и потушив все другие источники света. Эти демонстрации дают представление о силе света 1 международной свечи.

Если имеется возможность использовать какую-либо фотометрическую лабораторию, важно отобрать несколько подержанных ламп разной мощности и определить их силу света в международных свечах.

Одновременно с лампами необходимо отправить в лабораторию и вольтметр. По этому вольтметру в лаборатории будет отмечено то напряжение, под которым лампа горела при сравнении с эталоном, и внесено в протокол испытания. Вольтметр надо хранить вместе с лампами и при употреблении ламп в качестве светового эталона, по этому же вольтметру нужно доводить напряжение до той величины, которая указана в протоколе. Это исключает ошибку в показаниях вольтметра, и от вольтметра требуется только сохранение одинаковой чувствительности, а не абсолютно правильные показания.

§ 49. Законы освещенности.

1. Закон обратных квадратов.

Случай 1. 1) Электrolампа (100 вт). 2) Три экрана. 3) Футляр для лампы.

Газополная электрическая лампа в 100 вт в непрозрачной коробке, открытой с одной стороны, ставится на столике или штативе посередине комнаты на расстоянии 3 м от стены, где находится экран. Так как лампа имеет силу света в 100 св, то освещенность экрана будет около 10 лк. Затем два небольших экрана ставятся на расстоянии от лампы в 1 м (освещенность в 100 лк) и на расстоянии 2 м (освещенность в 25 лк). Экраны имеют такую величину и так устанавливаются, чтобы один экран проектировался на другой, т. е. чтобы было удобно сравнивать освещенности между собой.

Случай 2. 1) Кинолампочка (12 в). 2) Футляр для лампочки. 3) Три экрана с вырезами. 4) Длинная доска.

На длинной доске ($l = 2 \text{ м}$) располагают, как показано на рисунке 470, три экрана с вырезами посередине в виде квадратов. Сторона квадрата на первом экране 10 см, на втором 20 см, на третьем 30 см.

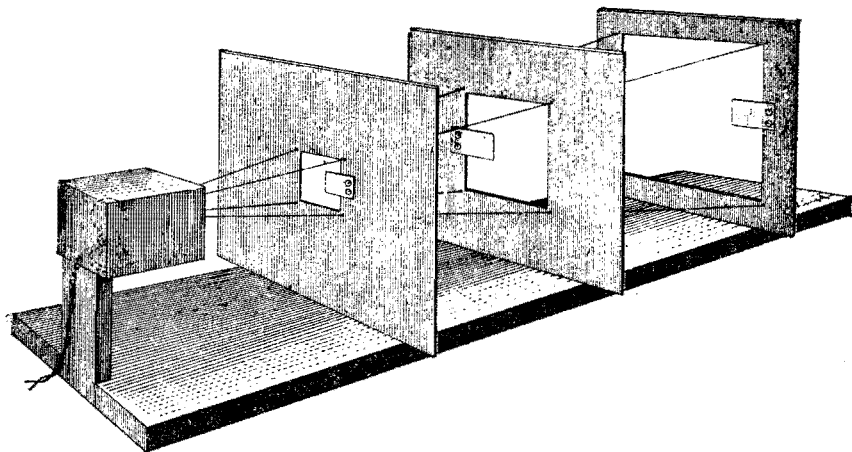


Рис. 470. Демонстрация закона обратных квадратов.

На конце доски укрепляют низковольтную лампочку в коробочке, открытой с одной стороны. Затем ставят на каком-нибудь расстоянии первый экран, на двойном — второй и на тройном — третий. К коробке

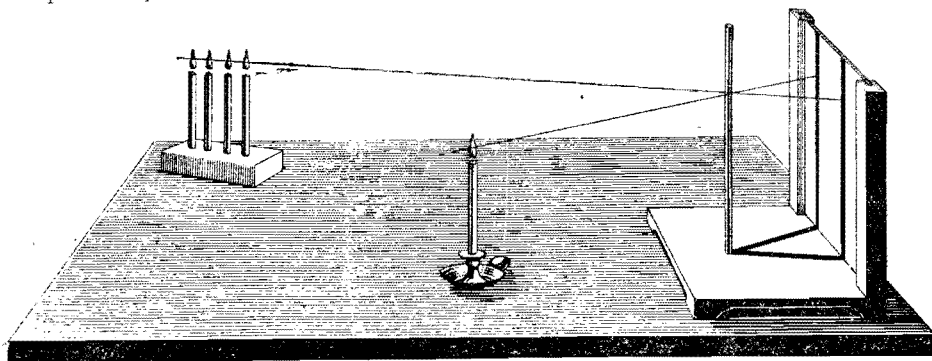


Рис. 471. Демонстрация фотометра Румфорда.

лампочки укрепляют красные шнуры, протягиваемые через дырочки, проколотые по углам квадратов. Коробочка для лампочки делается таким образом, чтобы при заданном расстоянии до первого экрана нити сходились на светящейся нити лампочки. Доска располагается на столе лампочкой к ученикам и поворачивается во время демонстраций так, чтобы все ряды учеников могли сделать сравнение между освещенностью первого, второго и третьего экранов, для чего в вырезанные квадраты вставляются небольшие кусочки белого картона.

Случай 3. 1) Фотометр. 2) Пять одинаковых источников света.

Можно воспользоваться любым типом фотометра и для сравнения взять один и два или четыре источника света, одинаковых по силе с первым.

Опыт состоит в получении равной освещенности от одного источника и двух источников, помещенных в $\sqrt{2} = 1,4$ раза дальше, чем один источник. В случае применения 4 источников их надо отодвинуть от экрана для получения той же освещенности на расстояние в 2 раза большее, чем расстояние одного источника.

Рисунок 471 изображает расположение этого опыта с фотометром Румфорда.

2. Закон косинуса.

Случай 1. 1) Электrolампа в футляре. 2) Лист белой бумаги. 3) Проекционный фонарь.

Количественно закон косинусов демонстрировать довольно трудно. Качественно показать уменьшение яркости освещенности в зависимости от угла падения лучей очень просто.

В затемненной комнате освещают параллельным пучком света из проекционного фонаря двугранный угол, сложенный из куска белой бумаги. Одну грань располагают перпендикулярно к направлению лучей, другую — наклонно под различными углами. Замечают различие освещенности граней, перпендикулярной и наклонной к лучам (рис. 472).

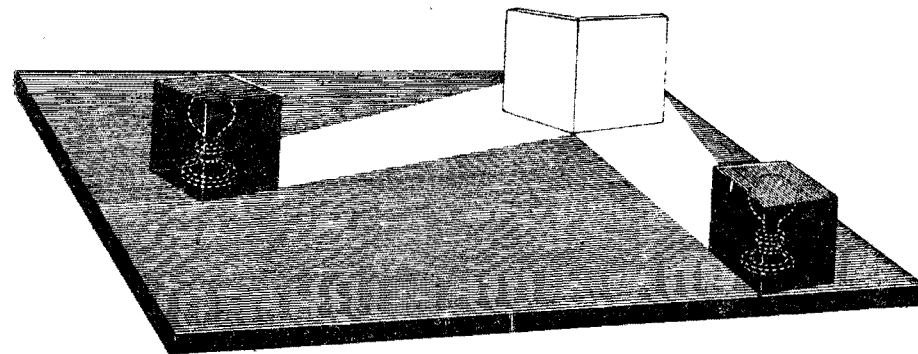


Рис. 472. Демонстрация закона косинуса.

Лампочкой, заключенной в картонный футляр, освещают наклонную грань, оставляя в тени грань, перпендикулярную к лучам из фонаря. Добиваются равенства освещенностей граней. Меняют угол и снова, передвигая лампочку, добиваются равенства освещенности. Лучи лампочки падают на грань перпендикулярно, и даваемая ей дополнительная освещенность будет обратно пропорциональна квадрату расстояния от грани до лампочки.

Случай 2. 1) Кинолампочка (12 в). 2) Футляр для лампочки. 3) Молочное стекло.

За большим молочным стеклом на расстоянии нескольких сантиметров от него ставят лампочку с малой светящей площадью (12-вольтовую кинолампу). Наблюдают различные освещенности стекла на различных расстояниях от наиболее яркого места, находящегося ближе всего к лампочке.

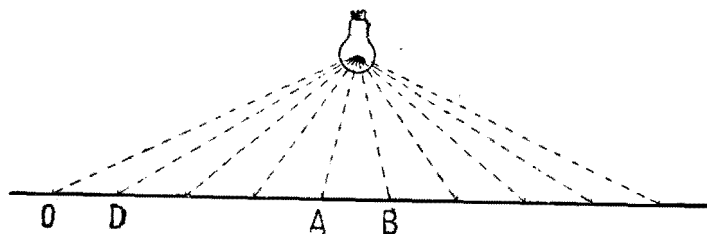


Рис. 473. Демонстрация уменьшения освещенности в зависимости от угла падения.

Наблюдения поясняются чертежом, изображенным на рисунке 473, показывающим, как изменяется световой поток, приходящийся на единицу поверхности плоскости стекла в зависимости от угла падения лучей.

Случай 3. 1) Шар из молочного стекла. 2) Кинолампочка (12 в). 2) Экран с вырезом.

Более трудно осуществим следующий опыт. Шар из молочного стекла, применяемый в уличных фонарях, освещают лампочкой с малой величиной светящей поверхности, помещая ее в центре шара. Поверхность шара окажется равномерно освещенной. Если поставить экран с четырехугольным отверстием и за ним расположить освещенный шар, то впечатление рельефа, округлости шара совершенно исчезает, и поверхность шара кажется плоской. Испускание лучей площадкой в направлении, наклонном к нормали, уменьшается как раз во столько раз, во сколько уменьшается для глаза видимый размер площади (рис. 474).

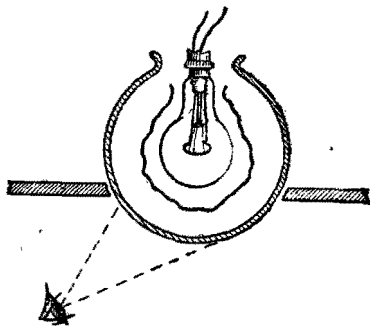


Рис. 474. Исследование освещенности шаровой поверхности.

сеян, так как только в этом случае будет выполняться закон Ламберта. В том случае, если шар недостаточно полно рассеивает свет, лампочку надо окутать одним или несколькими слоями бумаги.

Интересно показать в этом случае вид шара без рассеивающих слоев и с рассеивающими слоями бумаги. Также интересно сравнить впечатление от шара, освещенного изнутри, и шара, освещенного снаружи. Различие в освещенности при разных углах падения создает впечатление рельефа (статуя, архитектурные украшения).

§ 50. Фотометры и люкметры.

1. Принципы устройства. При фотометрических измерениях можно ставить различные задачи. Обычное применение фотометров по существу заключается в определении силы света источника по данному направлению по сравнению с силой света другого источника, принимаемого за стандартный. Но нужно помнить, что, вообще говоря источник света по разным направлениям имеет разную силу света и по одному определению силы света, сделанном в одном направлении, нельзя делать заключение о полном световом потоке, исходящем от источника. Отсюда вытекает вторая основная задача фотометрии — определение полного светового потока. Наконец, весьма часто для практических целей нас интересует не сам источник, а создаваемая им освещенность на изучаемой нами поверхности. Приборы, измеряющие освещенность, часто называются люкметрами. Иногда нас интересует световая отдача самой освещенной поверхности, тогда нам необходимо знать ее яркость, выраженную в стильбах.

Фотометр представляет собой обычно прибор для относительных измерений, и выражение полученных данных в международных единицах со сколько-нибудь большой точностью почти невозможно для школьной практики. Относительные измерения в специальных фотометрических лабораториях делаются с точностью до 0,5%, а в условиях школы нельзя и думать получить точность, большую 10%. Абсолютные измерения до сих пор в центральных национальных лабораториях различаются на 2—3%, а в условиях школы они не смогут достичь и точности даже в 20%, так как единственным практическим эталоном для школы являются обычные лампы накаливания, силы света которых по стандарту не определяются точнее 15%.

Однако это не значит, чтобы не надо было вводить в школу демонстраций и лабораторных работ, дающих представление об абсолютных световых единицах.

Всякий фотометр имеет две различные по своему назначению части.

Во-первых, при помощи того или другого приспособления в фотометре можно сравнивать освещенность двух полей, освещенных двумя источниками. Чтобы сравнение могло быть произведено возможно точнее и увереннее, поля должны лежать рядом друг с другом и не должны быть разделены заметной границей. Фотометрическое определение тем совершеннее, чем граница лучше исчезает при равенстве в освещении полей.

Во-вторых, должно быть приспособление для ослабления освещенности от одного из источников. По большей части это достигается отодвиганием от фотометра одного источника, что ослабляет освещенность обратно пропорционально квадрату расстояния.

Иногда на пути света от одного источника ставится поглощающая среда в виде клина (фотометрический клин). Видоизменением этого способа является применение диафрагмы, уменьшающей сечение пучка (трубчатый фотометр для исследования фотопластинок). Наконец, можно использовать наклон одного поля к направлению лучей

для изменения освещенности по закону косинуса (фотометр Вигнера, люксметр Оптического института).

Последнее время значительное развитие получила так называемая объективная фотометрия при помощи различных фотоэлементов, имеющих характеристику по длинам волн, близкую к характеристике чувствительности глаза.

О фотоэлементах и их применении для фотометрии — см. главу XVI.

2. Теневой фотометр Румфорда. Перед белым экраном или стеной класса ставят лабораторный или другого вида штатив со стержнем достаточной толщины ($d = 15—20$ мм). Перед стержнем штатива ставят

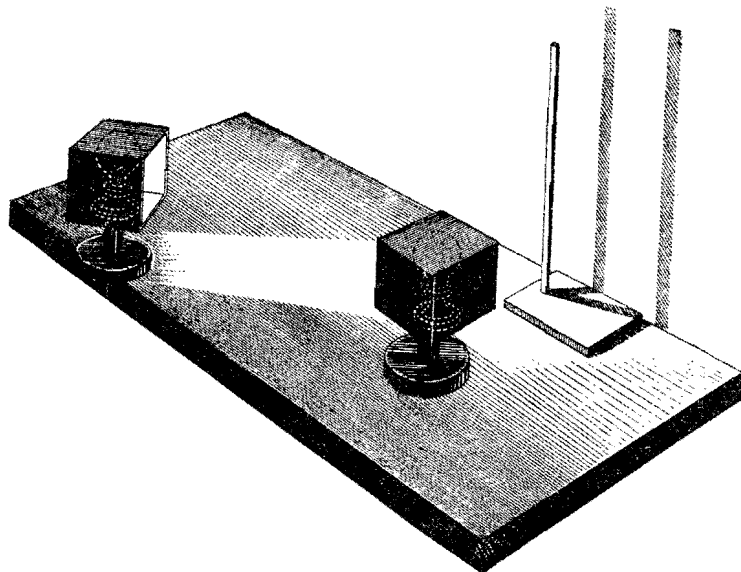


Рис. 475. Теневой фотометр Румфорда.

два источника света так, чтобы на стене получились две тени от палки близко друг от друга (на расстоянии, равном ширине тени или даже ближе) (рис. 475). При разной освещенности экрана тем и другим источником тени будут иметь различную темноту, причем тень, принадлежащая более сильно освещающему источнику, будет темнее. Передвигая или показывая источники, легко дать представление о том, какая тень какому источнику принадлежит. Отодвигая более яркий источник от экрана, добиваемся одинаковой темноты обеих теней. Измеряем расстояние от источников до экрана и возводим полученные числа в квадрат. Отношение квадратов расстояний равно отношению сил света, даваемых источниками. Равенство освещенности теней легко устанавливается только при полной одноцветности источников, поэтому в качестве сравниваемых источников удобно брать две электрические лампы одного типа, но разной мощности (например газополные лампы в 50 и 100 вт).

При разноцветности источников сравнение выйдет гораздо увереннее, если в качестве экрана взять светлозеленую матовую бумагу.

3. Фотометр Бунзена (с масляным пятном). Фотометр представляет собой кусок тонкой бумаги с небольшим жирным пятном посредине. Бумага ставится между источниками света. При разнице освещения с той и другой стороны видно при рассматривании сбоку или темное пятно на светлом фоне (это значит, что источник, стоящий с той стороны, с которой смотрят на бумагу, освещает ярче, чем другой), или светлое пятно на темном фоне (это значит, что источник, стоящий с противоположной стороны, освещает сильнее). При равенстве освещенности бумаги с той и другой сторон пятно делается почти незаметным при рассматривании с обеих сторон¹⁾.

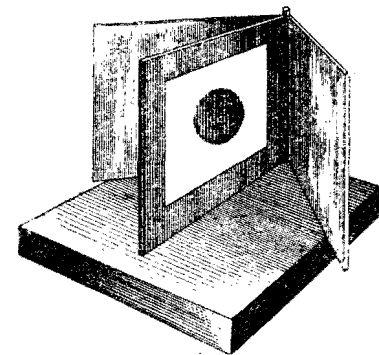


Рис. 476. Фотометр Бунзена с зеркалами.

Бумага и жир должны быть подобраны опытным путем так, чтобы пятно было мало заметно.

Для удобства рассматривания можно поставить два зеркала под углом, как показано на рисунке 476.

Более всего пригодна плотная папиросная бумага, наклеиваемая на картонную рамку (картон 30 см \times 20 см, отверстия 15 см \times 10 см).

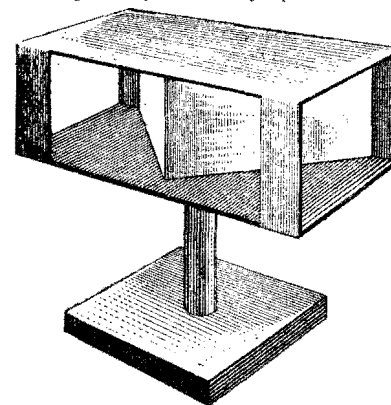


Рис. 477. Фотометр Ричи.

В качестве жира можно взять вазелин, который втирается в бумагу пальцем с обеих сторон. Не должно быть большого излишка вазелина, а с другой стороны, он должен хорошо пропитать бумагу. Диаметр пятна — около $20—40$ мм. Допустимо небольшое подогревание. Хорошие результаты дает парафин, который вводится в бумагу при проглаживании горячим утюгом. Так как этот фотометр не дает точных результатов и хуже хотя бы фотометра Жолли, то стараться особенно хорошо его изготовить не имеет большого смысла и можно для демонстрации использовать любой кусок обычной тонкой бумаги и любое

масло или жир.

¹⁾ Теория показывает, что если назвать через d_1 и d_2 расстояния при установке на исчезновение пятна с одной стороны, а через k_1 и k_2 — расстояния при исчезновении с другой стороны, то силы света источников будут относиться, как $d_1 k_1$ к $d_2 k_2$.

И. А. Гезехус предложил пластинку фотометра наклонять к линии, соединяющей источники, и делать на ней три небольших пятна. Установка делается значительно точнее, так как, кроме исчезающего среднего пятна, крайние дают противоположную разницу в освещенности.

4. Фотометр Ричи. Фотометр представляет собой призму, грани которой освещаются двумя источниками света (рис. 477). Понятно, что обе грани покрыты белой краской и должны быть совершенно одинаково наклонены к линии, соединяющей источники. Трудность осуществления этого условия — слабое место этой системы фотометра. Другое слабое место — это резкое разделение двух полей острием призмы. При равенстве полей между ними видна черная полоска, мешающая правильно оценить одинаковую освещенность.

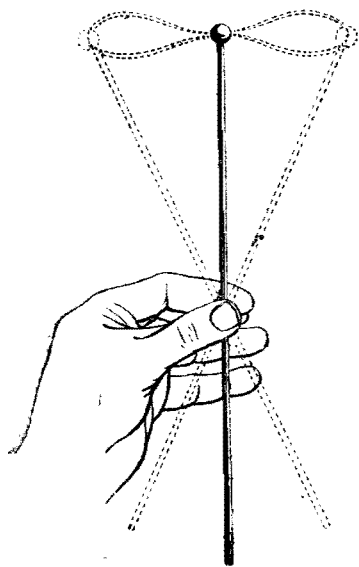


Рис. 478. Фотометр с блестящим шариком (Уитстона).

Для демонстрации можно воспользоваться картонной призмой из набора геометрических тел, взять любую коробку, оклеенную белой бумагой прямоугольной формы или согнуть из белой бумаги двугранный угол. В простом виде этот фотометр легко изготавливается из спичечной коробки, в которой вырезают кусок боковой стенки, покрытой зажигающим составом, и внутрь которой вставляется полоска плотной белой бумаги, изогнутая углом. Внутренность коробки зачернивается. Можно также сделать призму с углом 90° из куска мела.

Для демонстрации можно воспользоваться картонной призмой из набора геометрических тел, взять любую коробку, оклеенную белой бумагой прямоугольной формы или согнуть из белой бумаги двугранный угол.

5. Фотометр Уитстона (с блестящим шариком). Стальной или вообще блестящий шарик ($d = 5 \text{ мм}$) укрепляют на какой-нибудь палочке или пружине (рис. 478). Шарик двигают или заставляют колебаться между двумя сравниваемыми источниками света. Вследствие отражения от поверхности движущегося шарика обоих

источников света получаются две световые полосы разной яркости при неодинаковом освещении шарика обоими источниками света; при одинаковой освещенности получаются обе полосы одинаковой яркости. Передвигая источники света или шарик, добиваются одинаковой яркости обеих полосок. Этот фотометр годится для приблизительного сравнения слабо светящихся источников, например окна и лампы. В этом случае он дает так называемую интегральную яркость светящегося предмета, имеющего большую поверхность.

6. Фотометр Жолли. Фотометр Жолли представляет собой два куска парафина одинаковой прозрачности, разделенных тонкой непрозрачной перегородкой. Чем тоньше перегородка, чем она будет незаметнее разделять оба куска, тем лучше. Куски укрепляются в жестяной окрашенной в черный цвет обойме с раструбом и освещаются с обоих боков (рис. 479). При равенстве размеров обоих кусков, прозрачности парафина и равенства освещения с обеих сторон куски кажутся при рассматривании сбоку одинаково светлыми.

Для демонстрации фотометр ставится посередине стола в затемненном классе и освещается источниками света с обеих сторон. Прямой

свет от источников загораживается кусками картона. Передвигая источники по столу, добиваются равенства освещенности кусков парафина.

7. Изготовление фотометра Жолли. Для изготовления фотометра берут чистый белый парафин и расплавляют его в химическом стаканчике или чашке на водяной или песочной бане, не перегревая сильно после расплавления. Для отливки берут внутреннюю часть спичечной

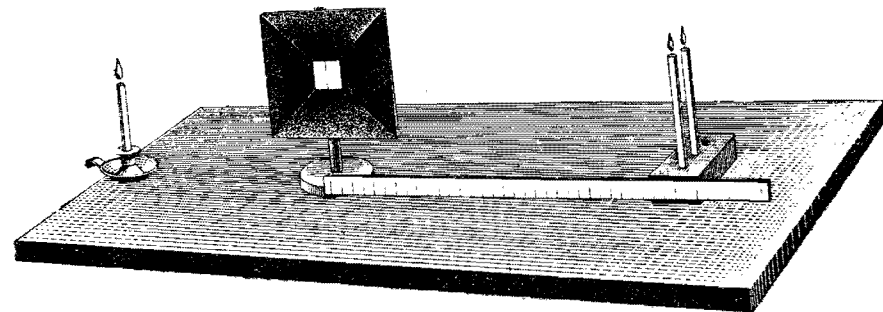


Рис. 479. Фотометр Жолли.

коробки (рис. 480) и перегораживают ее посередине кусочком алюминиевой бумаги, в которую обертывают шоколад и конфеты. Перегородка должна быть по возможности плоская и прямая. Наливают в коробку парафин, поддерживая перегородку, пока не начнется застывание. После полного застывания, на что нужно 2—4 часа, разламывают коробку и кусок очищают острым тонким ножом так, чтобы перегородка была точно посередине куска. Брусочек укрепляется в картонный раструб, изображенный на рисунке 479, причем его задняя часть обязательно закрывается черной фотографической бумагой.

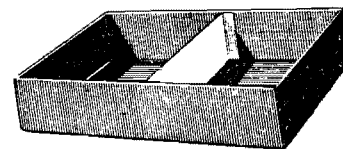


Рис. 480. Форма для отливки фотометра Жолли.

8. Фотометр Луммера. Фотометр является своеобразным „нулевым“ прибором, констатирующим отсутствие разницы в освещенности двух полей.

Как указывалось выше, при помощи фотометра можно установить одинаковую освещенность тем точнее, чем лучше исчезает для глаза граница между полем, освещенным одним источником, и полем, освещенным другим. В описанных выше фотометрах эта граница выступала более или менее резко, и в этом был их основной недостаток.

Наиболее совершенным оптическим фотометром является кубик Луммера и его усовершенствование, предложенное Бродхуном.

Кубик Луммера представляет собой две прямоугольные призмы, сложенные гранями, являющимися их гипотенузами, причем между гранями введена капля канадского бальзама. Ход лучей, освещающих две соседние грани кубика, показан на рисунке 481. Лучи, идущие в направлении AC в средней части, падающей на каплю канадского бальзама, благодаря одинаковому показателю преломления стекла

и бальзама пройдут насквозь и дадут освещенное пятно a . То же самое будет с лучами, идущими в направлении BD , которые дадут пятно b_1 . Свет, идущий в направлении AC , но попадающий вне капли, будет отражен гранью призмы в направлении D и осветит пространство вокруг пятна b_1 , создав кольцо a_1 . Свет, идущий из B , будучи отражен гранью, дает в направлении к C кольцо b . При удачном крае капли граница между полями a и b почти исчезает при их одинаковой освещенности.

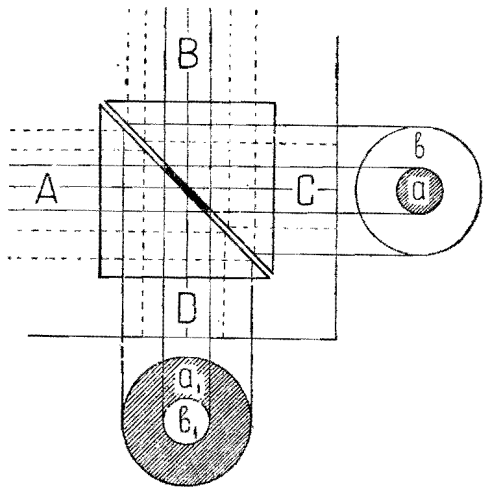


Рис. 481. Ход лучей в кубике Луммера.

Применение кубика очень просто. Рассматривая два источника света A и B из D , мы будем видеть поле b_1 , освещенное источником B , а кругом него поле a_1 , освещенное источником A . Если источник A дает более слабую освещенность, то a_1 будет темнее b_1 . Отодвигая источник B или придвигая источник A , добиваемся одинаковой освещенности полей.

При практическом осуществлении фотометрирования по большей части удобнее рассматривать через кубик непосредственно не сами источники, а освещенные ими белые пластинки или молочные стекла.

9. Изготовление кубика Луммера. Кубик Луммера служит, как сказано выше, для сведения в одном направлении двух световых потоков, идущих в направлениях, перпендикулярных друг другу, и применяется в целом ряде фотометров.

Для изготовления кубика нужны две прямоугольные призмы от призматического бинокля и капля канадского бальзама. Призмы тщательно очищают по их гипотенузам, промывая их спиртом и вытирая мытым батистом или другой тряпочкой, не оставляющей волосков на поверхности стекла.

Затем одну из призм укрепляют в какой-нибудь подставке, вырезанной из куска пробки или дерева, как показано на рисунке 483, так, чтобы поверхность гипотенузы была горизонтальна. На эту поверхность

Бродхун предложил одну из соприкасающихся граней призм делать сферической, а верхушку сферы шлифовать под плоскость, и к этой плоскости приклеивать канадским бальзамом вторую призму (рис. 482). При этом усовершенствовании, значительно упрощающем изготовление, раздел полей делается еще более незаметным.

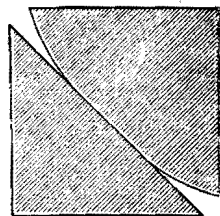


Рис. 482. Кубик Бродхуна.

при помощи стеклянной палочки кладут каплю канадского бальзама, достаточно густого, чтобы капля медленно растекалась по стеклу. Капля должна иметь объем для обычного размера призмы около 1 мм^3 . После этого на призму накладывают гипотенузой вторую призму, стараясь не сдвинуть каплю в сторону, а добиваясь того, чтобы капля растекалась в виде круга. На края призмы можно положить две пластинки станиоля, которые потом вытаскивают. Призмы не надо придавливать друг к другу. После наложения призм оставляют сохнуть бальзам, не сдвигая призм, в течение 1—2 суток (лучше дольше). После высыхания бальзама кубик готов. В фотометр кубик помещают на куске пробки, приклеивая кубик мастикой. Качество кубика определяется чистотой поверхностей призм и краев пятна. При равенстве освещения пятно должно исчезать.

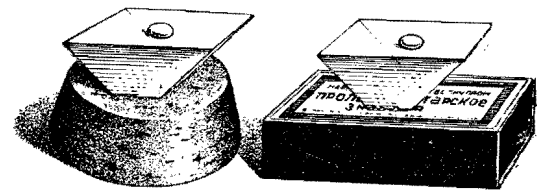


Рис. 483. Изготовление кубика Луммера.

10. Тубус-фотометр. Из прочного картона склеивают две трубки: одну небольшую ($d = 35-40 \text{ мм}$; $l = 10 \text{ см}$), другую побольше ($d_1 = 50 \text{ мм}$; $l_1 = 50-80 \text{ см}$). Трубки окрашивают внутри в черный цвет и маленькую прикрепляют к большой так, чтобы получилась фигура, похожая на букву Т. В маленькой трубке прорезают предварительно отверстие и укрепляют в ней посередине кубик Луммера (рис. 484). В большой трубке устанавливают несколько диафрагм для предотвращения постороннего света. В большой трубке ставят молочное стекло и устраивают приспособление для передвижения электрической лампочки таким образом, чтобы положение лампочки в каждый данный момент можно было определить по шкале (деленной на миллиметры) (рис. 485).

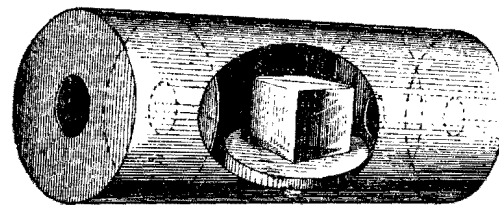


Рис. 484. Укрепление кубика Луммера внутри фотометра.

Посторонний свет должен быть тщательно задержан.

Фотометр может служить для определения силы света источника или для определения освещенности любой поверхности, т. е. может служить люксметром.

В первом случае отверстие малой трубы закрывается также молочным стеклом и перед ним на определенном расстоянии ставится изучаемый источник света. Во втором случае малая труба направляется на освещаемую поверхность непосредственно. Само собой разумеется, эта поверхность должна быть белой. В другое отверстие малой трубы смотрят. Наблюдатель видит два поля: внутри — поле света, проходящего через кубик, снаружи — поле света, идущего от молочного

экрана внутри большой трубы. Передвижением электрической лампочки поля уравниваются. Если включить параллельно лампочке точный

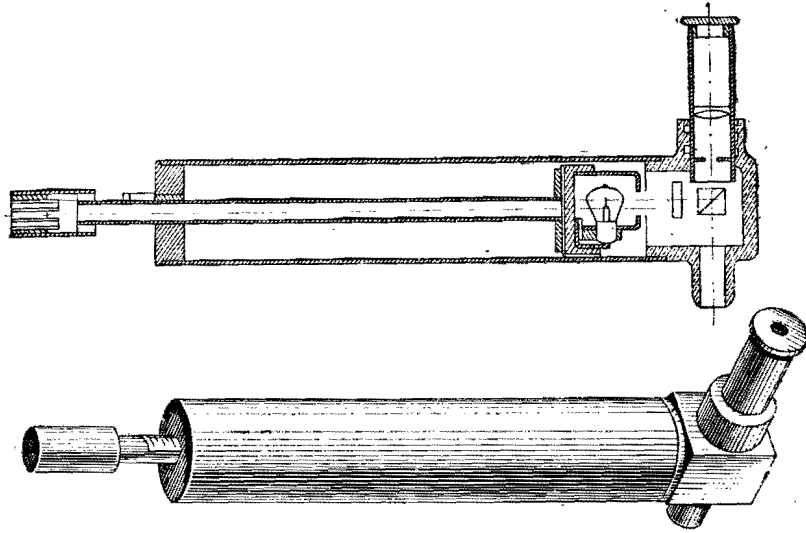


Рис. 485. Общий вид и разрез тубус-фотометра.

вольтметр (желательно до сотых долей вольта) и контролировать таким образом напряжение на лампочке, изменяя его последовательно включенным реостатом, то можно фотометр градуировать в абсолютных международных единицах, если для градуировки иметь стандартный источник света, абсолютный фотометр или люксметр.

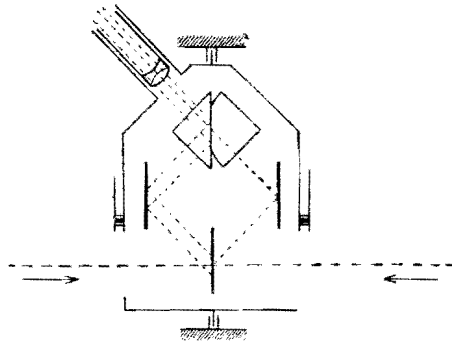


Рис. 486. Фотометр с кубиком.

Расположение приборов, показанное на рисунке 486, дает возможность такого рассматривания и сравнения, причем фотометр и оба источника располагаются по одной прямой линии.

11. Фотометр для сравнения сил света двух источников. Для сравнения сил света двух источников на оптической скамье неудобно их рассматривать непосредственно через кубик Луммера, так как через кубик будут видны все детали источника (например волосок электрической лампы). Поэтому предпочитают рассматривать и сравнивать освещенность какой-либо пластинки с двух сторон одним и другим источниками света.

Для проверки одинакового отражения света зеркалами и одинаковости поверхностей пластинки производят второе измерение, поворачивая фотометр на 180° .

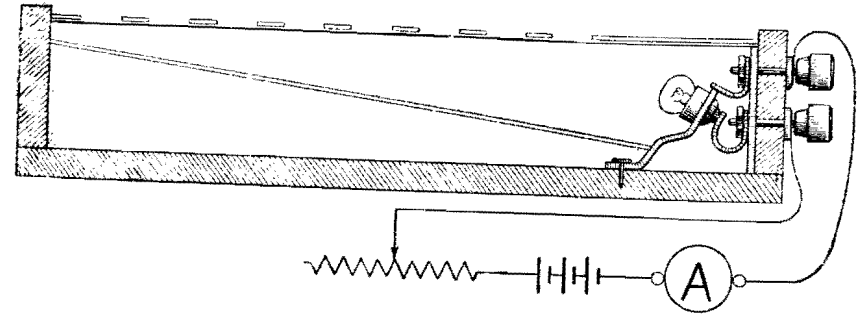


Рис. 487. Простой люксметр.

Чтобы несколько увеличить размеры видимого пятна, в окулярную трубку помещают слабую выпуклую линзу (лучше ахроматическую), служащую лупой. Расстояние от стекла до экрана по ходу лучей должно быть меньше фокусного расстояния этого стекла.

Имея в виду все сказанное выше, легко построить этот фотометр, изготовив сначала кубик Луммера, как описано выше.

12. Простой люксметр. Очень простой люксметр можно построить следующим образом: склеивают между собой две полоски бумаги — белой и черной (размер полосок $30 \text{ мм} \times 200 \text{ мм}$). В полосках аккуратно пробивают 10—12 отверстий ($d = 0,5—0,8 \text{ см}$) и со стороны белой бумаги полоску заклеивают папиросной бумагой (рис. 487).

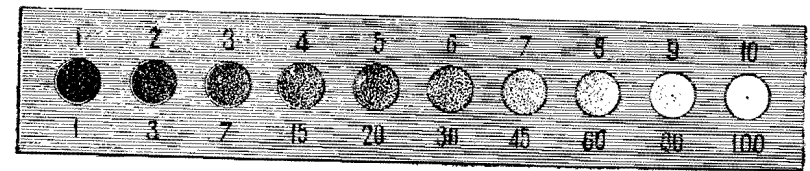


Рис. 488. Вид шкалы люксметра.

Полоску наклеивают на прорез в крышке небольшого ящика или коробочки, зачерненной внутри. С одного бока укрепляют лампочку от карманного фонарика. Поперек ящика наклонно к верхней крышке укрепляют белый картон, освещаемый лампочкой. Прямое освещение отверстий лампочкой устраняют с помощью какого-либо черного экрана из бумаги. Лампочку приключают к батарее через реостат и последовательно с лампочкой ставят амперметр или параллельно ей вольтметр и поддерживают все время постоянную силу тока или напряжение. Лампочка будет освещать белый экран со все уменьшающейся освещенностью (рис. 488).

Ящик ставят на ту поверхность, освещенность которой хотят определить, и смотрят, какая дырочка кажется почти исчезнувшей. Эта дырочка равно освещена и сверху и снизу. Она легко находится, так как освещение или определенно темнее или определенно светлее окружающего фона.

Люксметр может быть приблизительно градуирован при помощи газополной 100-ваттной лампы, дающей освещенность в 100 лк на расстоянии 1 м. Для получения меньшей освещенности надо лампу отодвинуть дальше. После градуировки около каждого отверстия можно написать значение освещенности в люксах.

Лампочку надо включить не надолго только во время отсчета, так как от продолжительного горения сила света ее изменяется. Другая лампочка или изменение вольтажа потребует новой градуировки. Изменением режима лампочки можно дать шкале ряд новых значений, что очень удобно, так как расширяет пределы измерений.

§ 51. Фотометрические измерения.

1*. Сравнение силы света двух источников. Для сравнения силы света двух источников при демонстрации удобнее всего пользоваться фотометром Ричи или фотометром Жолли, причем эти фотометры должны быть сделаны достаточно большого размера.

Фотометр ставится посередине демонстрационного стола, а источник света (лучше всего две газополные лампы) — по концам стола.

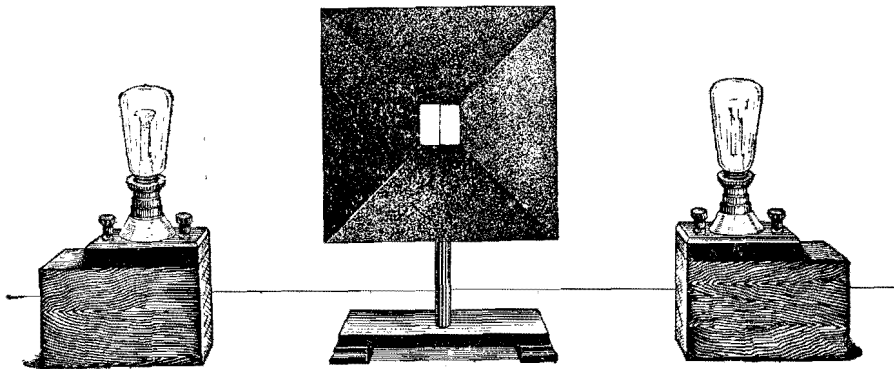


Рис. 489. Установка фотометра Жолли для сравнения источников света.

Свет от источников нужно загораживать от учащих непрозрачными экранами. Один источник поддвигают до получения равенства освещения и измеряют расстояния при помощи метра с видными издали делениями (рис. 489).

Можно на этой же установке сравнить свет одного источника со светом нескольких источников (двух-трех), равных с первым и сразу освещающих фотометр с одной стороны. Для этого опыта удобны небольшие низковольтные лампочки или просто стеариновые свечи. В такой установке опыт позволит проверить закон обратных квадратов. Для нескольких свечей удобно иметь деревянный брусок с отверстиями (рис. 490).

2*. Сравнение силы света двух источников фотометром Жолли. Для лабораторной работы при сравнении силы света двух источников удобнее всего использовать самый простой и более или менее точный фотометр Жолли, причем всей установке можно придать сравнительно небольшие размеры. Если имеется оптическая скамья, то ее удобно использовать для работы, однако в скамье нет необходимости, так как можно расположить источники света и фотометр на подставках около обыкновенной линейки с делениями.



Рис. 490. Деревянный брусок для установки свечей

Работа проводится в затемненном помещении, и для источников света надо иметь довольно большие чехлы для того, чтобы свет не мешал соседним группам. Так как электрические источники света требуют подводы для питания проводов к каждому источнику, то удобнее пользоваться свечами разной величины (сравнить силу света тонкой елочной свечи с обычной свечой).

Можно сравнить силу света 1 св с силой света 2 св и проверить закон обратных квадратов.

3*. Проверка закона обратных квадратов. Для получения источника, сила света которого могла бы меняться, причем это изменение могло бы более или менее точно учитываться, можно воспользоваться следующим приспособлением. В куске фанеры делают прямоугольное отверстие (размером, например, 10 мм × 50 мм), которое с одной стороны закрывается молочным стеклом. Рядом со стеклом располагаются две непрозрачные полоски картона,двигающиеся в жестяных обоймах, расположенных параллельно отверстию (рис. 491, 492). Эти пластинки

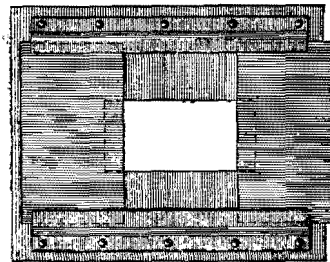


Рис. 491. Передняя стенка прибора Бакушинского.

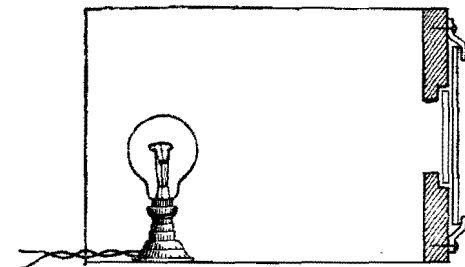


Рис. 492. Источник света с равномерно меняющейся силой света (по Бакушинскому).

могут передвигаться, и при помощи их можно закрыть часть полоски молочного стекла. Площадь открытой полоски молочного стекла легко определяется измерением миллиметровой линейкой.

Стекло освещается сильной электрической лампой (12 в, 50 или 100 вт), находящейся на таком расстоянии, чтобы можно было считать, что все стекло освещено равномерно. Лампа находится в непрозрачном колпаке. Такого рода осветитель освещает фотометр с одной стороны. С другой стороны фотометр освещается неподвижной лампой. Изменяя светящую

площадь, можно изменять силу света, даваемую осветителем в любое число раз¹⁾.

Работа проводится в следующем порядке. Ставят осветитель на край скамьи или линейки и полосу полностью открывают; отмечают расстояние до фотометра. Уравнивают освещенность фотометра передвижением другой лампочки. Закрывают полосу осветителя, оставляя открытой только половину. Сила света уменьшается вдвое. Придвигают осветитель до тех пор, пока освещенность не уравнивается. Измеряют расстояние. Если справедлив закон обратных квадратов, то второе расстояние должно равняться квадратному корню из первого.

СПЕКТРЫ.

§ 52. Разложение света на цвета.

1. Опыт Ньютона. 1) Призма. 2) Проекционный фонарь. 3) Щель. 4) Экран.

Между конденсором и объективом проекционного фонаря помещают щель. Она должна быть равномерно освещена по всей своей длине, поэтому ее изображение, полученное при помощи объектива на

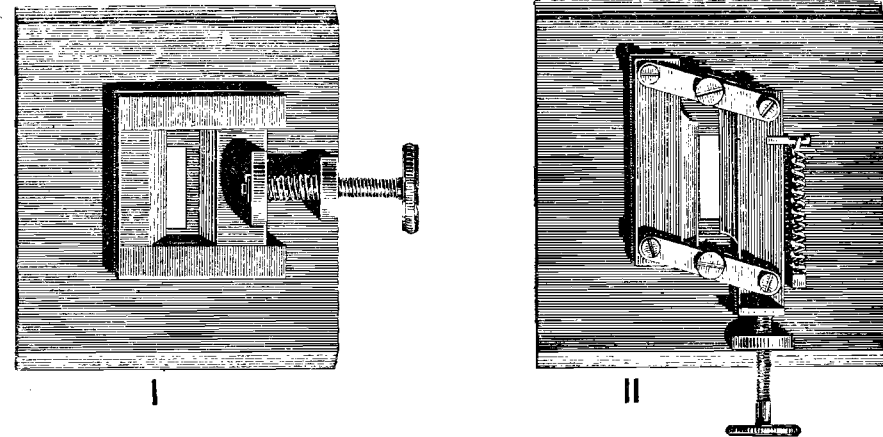


Рис. 493. Раздвижные щели.

экране, должно иметь равномерную яркость по всей длине. Освещать щель надо или параллельными лучами, или слабо расходящимся пучком. Весьма желательно иметь раздвижную щель.

У такой щели одна из пластинок, образующих щель (рис. 493, I), перемещается или при помощи винта, или одновременно поступательно смещаются обе пластинки, причем сближаются они под действием пружинки, а раздвигаются под давлением винта (рис. 493, II). Часто такая щель составляет одну из принадлежностей фонаря и своим кольцом надевается на тубус фонаря; щель может устанавливаться отдельно или на салазках оптической скамьи (при фонаре), или на особой подставке (на столе); наконец, за неимением специальной щели можно сделать несколько щелей ($b = 1-3$ мм), прорезав их на куске ровного картона (например пресшпана), или жести, или станиоля (наклеенного на стекло или на картон с широким отверстием). Кусок картона со

¹⁾ Способ предложен В. Н. Бакушински

щелью вставляется в рамку для диапозитивов и вместе с ней устанавливается на фонаре (рис. 501).

При помощи объектива, помещенного перед щелью, проектируют на экран (на расстоянии 3—5 м) изображение щели. Оно должно

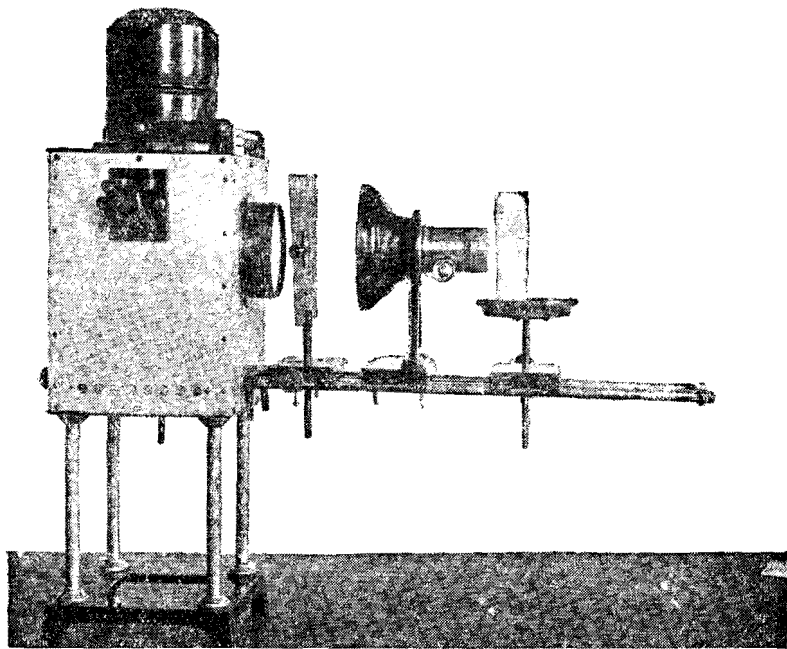


Рис. 494. Установка для получения спектра.

быть прямолинейным, параллельным самой щели и увеличенным примерно в 4—5 раз. Экран должен стоять перпендикулярно к лучам. Затем за объективом ставят на подставке стеклянную трехгранную призму (обычно с преломляющим углом в 60°) так, чтобы ее преломляющее ребро было параллельно щели (рис. 494), и затем поворачивают призму так, чтобы лучи шли через призму с наименьшим отклонением (лучи располагаются симметрично относительно призмы) (рис. 331). Тогда наблюдаются два явления:

1) изображение щели отклоняется призмой к ее основанию (рис. 495);

2) изображение щели из бесцветного становится окрашенным в радужные цвета.

При таком опыте изображение сходит с экрана в сторону, поэтому нужно иметь второй (небольшой подвижной экран) и на него поймать изображение щели в его новом положении. После этого надо повернуть фонарь и всю установку так, чтобы вернуть изображение щели на ее прежнее место. Целесообразнее поступить иначе: в первый раз спроектировать щель на боковой вспомогательный экран, а во второй раз (при отклонении призмой) получить изображение на основном экране.

Явление заключается в том, что после призмы цветные изображения щели ложатся не друг на друга, а рядом, вследствие различного преломления и отклонения цветных лучей. Чем щель более узкая, тем меньшую ширину имеют ее изображения и тем более однородную по цвету полоску спектра охватывает изображение щели. Отдельные изображения щели, располагаясь рядом, частично налегают друг на друга, но при узкой щели налегают так незначительно, что глаз не в состоянии заметить различия в оттенках, налагаемых друг на друга; поэтому результат сложения почти одинаковых по цвету оттенков для глаза остается незамеченным и не нарушает основных тонов спектра. При таких условиях получается „чистый“ спектр, но зато его яркость тем меньше, чем более узка щель. Если же взять широкую щель (например $b = 5—10$ мм) или круглое отверстие, то отдельные цветные изображения налегают по нескольку друг на друга и спектр получается, хотя и более яркий, но не чистый. Дело может дойти до того, что средняя часть спектра будет бесцветной (белой), и только края будут окрашены (один в красный, другой — в фиолетовый цвет).

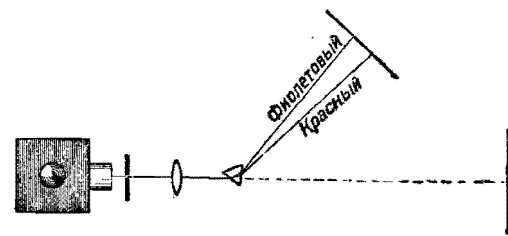


Рис. 495. Ход лучей при проектировании спектра.

Надо указать учащимся, что в призматическом спектре имеется бесчисленное множество цветных оттенков. Сколько из них можно выделить, чтобы дать им особые названия, зависит от чувствительности глаза и его способности различать цвета. Вообще говоря, выбор того или иного числа отдельных цветов в спектре совершенно произволен. По традиции, установленной Ньютоном, продолжают выделять семь спектральных цветов: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый. Возможно и допустимо взять иные названия, если они более соответствуют наблюдаемому спектру, или пропустить какой-либо цвет, если он в спектре не замечается.

Вместо сплошной стеклянной призмы можно применить полую призму (§ 29, 6), наполнив ее водой или какой-нибудь другой жидкостью, например бензолом или сероуглеродом. Вещества обладают различным светорассеянием как полным (для всего спектра в целом), так и частичным (для отдельных участков спектра), поэтому спектры, полученные при помощи призм из разных веществ, но с одинаковым преломляющим углом, имеют на экране при прочих равных условиях различную длину (рис. 496). Как видно из рисунка, всего выгоднее применять сероуглерод, но надо помнить, что с этой жидкостью надо обращаться крайне осторожно — она весьма легко загорается (температура воспламенения 120°). Продажный сероуглерод обладает весьма неприятным запахом (тухлой редьки).

Призма с сероуглеродом должна быть наполнена раз навсегда и так закупорена, чтобы не чувствовалось никакого запаха, для чего пробка

заливается парафином. В самодельную призму наливать сероуглерод не рекомендуется; надо пользоваться призмами фабричного изготовления с притертой пробкой (рис. 497). Призму с сероуглеродом надо

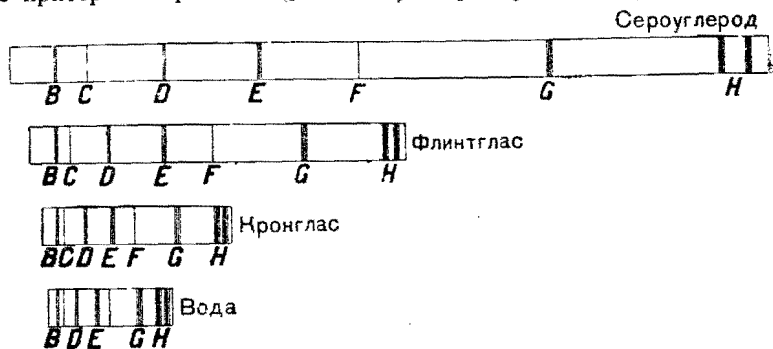


Рис. 496. Светорассеивание различных веществ.

оберегать от нагревания, так как он сильно расширяется (температура кипения 48°); по этой же причине надо призму наполнять примерно на три четверти, оставляя над жидкостью свободное пространство. Для уменьшения испарения на сероуглерод наливают тонкий слой воды. Призму с сероуглеродом необходимо хранить в темноте, и при этом надо помнить, что при долгом хранении сероуглерод изменяется.

В физических кабинетах встречается прибор в виде сосуда с двумя подвижными стенками *A* и *B* (рис. 498). В сосуд наливают жидкость (воду) и, передвигая стенки, полу-

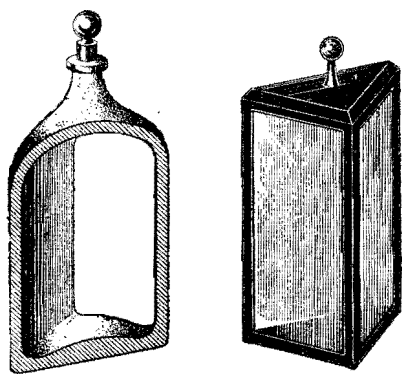


Рис. 497. Полюе призмы.

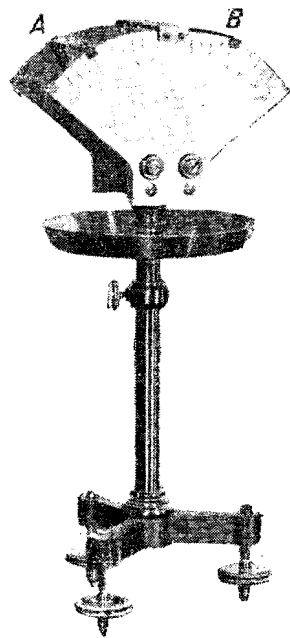


Рис. 498. Полая призма с подвижными стенками.

чают призму с любым преломляющим углом (от 0 до 70°). Под сосудом на стойке помещен поднос для сбора воды, просачивающейся в местах прикосновения подвижных стенок.

Для увеличения дисперсии (светорассеивания) можно прибегнуть к нескольким призмам, но установка их требует большой аккуратности и тщательности, поэтому возможно, хотя это и нельзя рекомендовать, воспользоваться призмами от большого спектроскопа, имеющегося в физическом кабинете. Делать это можно лишь при условии, если от прибора без всякого вреда для него легко отвинчиваются коллиматорная и зрительная трубы, причем нельзя никоим образом нарушать установку призмы. Ход лучей в нескольких призмах изображен на рисунках 499, I и II.

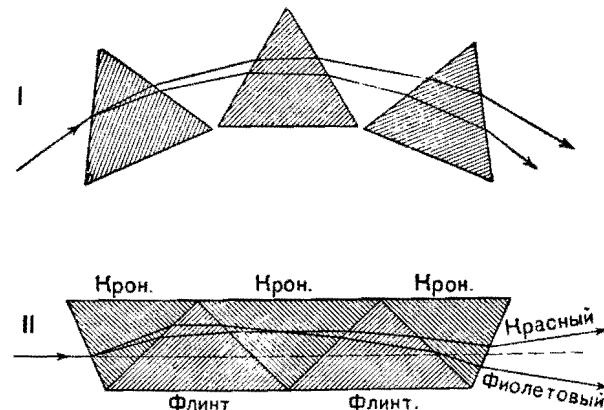


Рис. 499. Ход лучей в сложных призмах.

В первом случае все призмы установлены в положении наименьшего отклонения. Во втором случае призмы из кронгласа и флинтгласа сложены вплотную и, не отклоняя среднего луча, создают сильную дисперсию. Такое приспособление называется призмой прямого зрения (рис. 528) средняя часть прибора с призмами отделяется легко, и опасность повредить призмы мала. Карманный спектроскоп прямого зрения (рис. 530) можно применить целиком, отвинтив окулярную диафрагму. Щель освещается источником света.

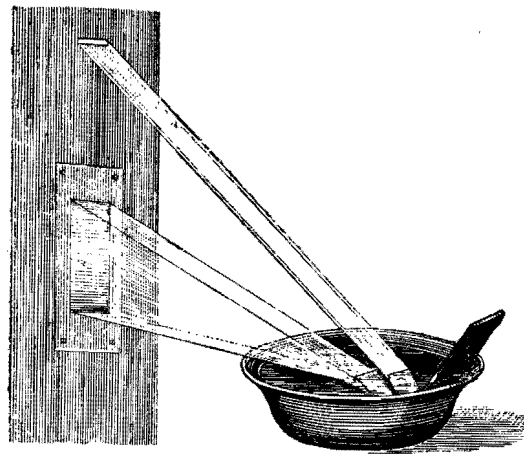


Рис. 500. Получение спектра по Донату.

Упрощенный способ получения спектра представлен на рисунке 500, где опыт поставлен с солнечным светом, пропущенным через щель в ширме; можно взять иной источник света.

3. Спектральные цвета—простые¹⁾. 1—4) См. опыт 1. 5) Вторая призма 6) Кусок картона со щелью ($b = 5-10$ мм). 7) Штатив.

¹⁾ Под отдельным спектральным цветом здесь подразумевается узкая полоска в спектре, кажущаяся глазу однородной по цвету.

Чтобы показать, что каждый из спектральных цветных лучей является „простым“ и потому более не разлагается, на пути цветных лучей (между призмой и экраном) помещают лист картона со щелью так, чтобы весь спектр, кроме одной цветной полоски, был закрыт картоном (рис. 501).

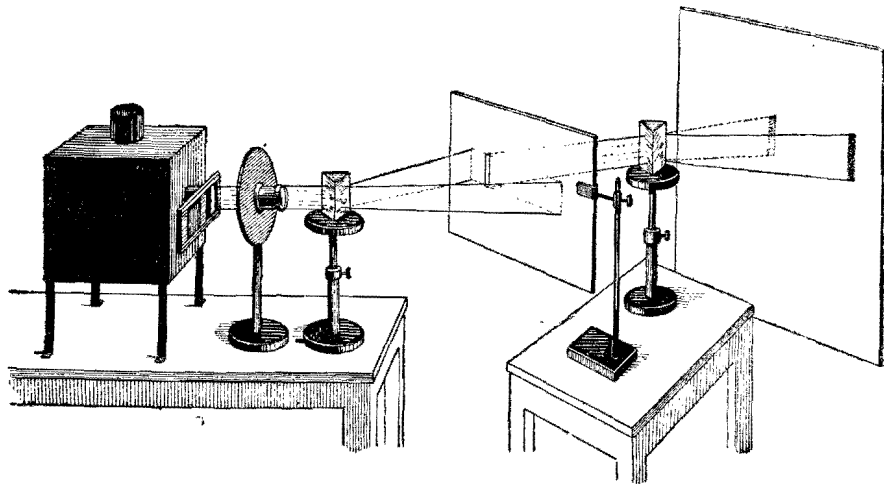


Рис. 501 Установка опыта Ньютона.

На пути цветного луча, прошедшего через вторую щель, ставят вторую призму (ребра обеих призм должны быть параллельными друг другу). Тогда цветной луч отклоняется призмой в сторону, но цвета

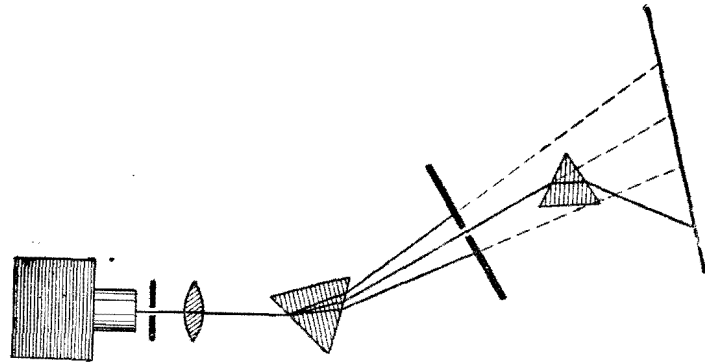


Рис. 502. Ход лучей в опыте Ньютона.

своего не изменяет и больше уже не разлагается на другие цвета (рис. 502).

Опыт повторяют с несколькими цветами, например с красным, зеленым и синим.

4. Опыт Ньютона с перекрестными призмами. 1—5) См. опыт 3.

Опыт является дополнением к опыту 3 и ставит своей целью показать, что все простые цветные лучи отклоняются призмой по-разному —

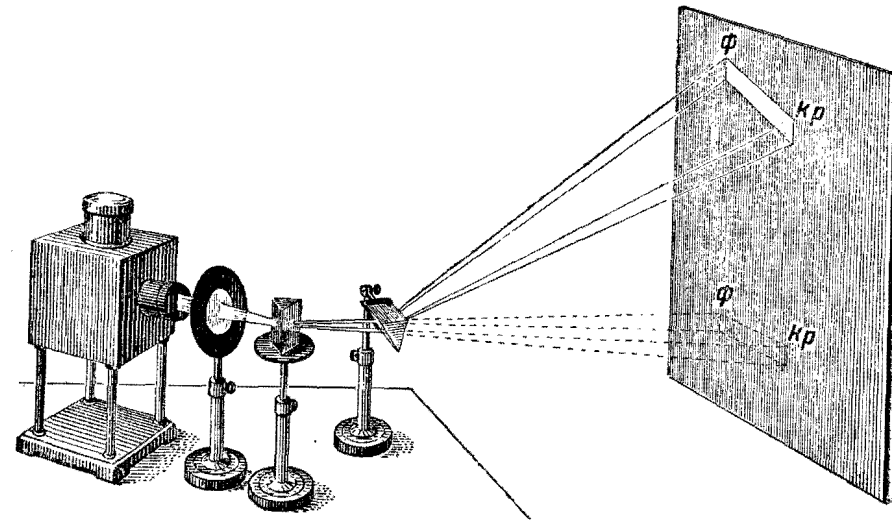


Рис. 503. Опыт с перекрестными призмами (первый случай).

всего сильнее отклоняется фиолетовый, всего слабее — красный (величина отклонения стоит в прямой зависимости от показателя преломления).

Осуществляют установку опыта 1, но берут возможно более короткую щель (примерно $l=1-2$ см при $b=2$ мм) и получают ее

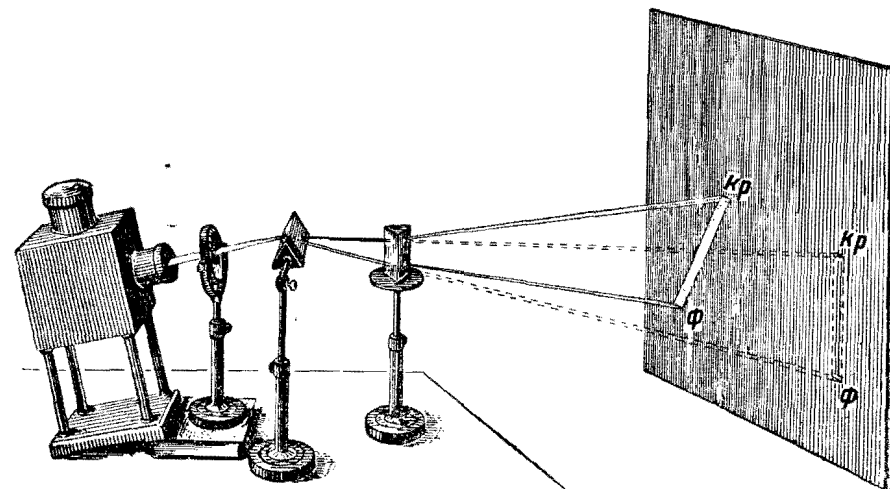


Рис. 504. Опыт с перекрестными призмами (второй случай).

изображение на самом нижнем краю экрана (рис. 503). Затем перед первой призмой (рядом с нею, но ближе к экрану) устанавливают вторую призму так, чтобы преломляющие ребра призм были взаимно перпендикулярны; тогда, если первая призма отклоняла лучи в сторону (например влево) по горизонтальному направлению, то вторая будет их отклонять по вертикальному направлению (например вверх).

Опыт покажет, что полоска спектра, отклоненная второй призмой, не параллельна первой полоске, как это было бы, если бы все цветные лучи отклонялись одинаково. Наклон второй полоски относительно первой подтверждает предположение, высказанное в опыте 3 относительно различия в отклонении цветных лучей; направление второй полоски с несомненностью доказывает, что всего сильнее отклоняются фиолетовые лучи, всего слабее — красные.

Чтобы можно было сравнить обе полоски между собой, надо второй призмой закрыть и отклонить не весь пучок лучей, а только его половину. Если обе полоски не умещаются в пределах экрана, то можно поступить трояко:

1) спроектировать вторую полоску на потолок, но тогда гораздо труднее уловить ее наклон; можно только обратить внимание на переход ее формы из прямоугольника в параллелограм;

2) приблизить всю установку к экрану или наоборот;

3) переменить направления призм так, чтобы первая отклоняла в вертикальной плоскости (например вниз), а вторая — в горизонтальной плоскости (например влево); при этом лучи света из фонаря надо направить кверху (рис. 504); если отклоненный спектр выходит за пределы экрана, надо взять второй экран.

Опыт можно еще видоизменить так. Взять круглое отверстие вместо щели и на пути пучка лучей поставить перекрестные призмы так, что весь пучок разделится на четыре части (рис. 505): одна часть

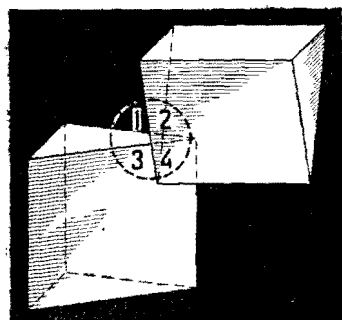


Рис. 505. Широкий пучок при перекрестных призмах.

лучей пройдет мимо призм, вторая и третья отклонятся одной из призм и дадут на экране горизонтальную и вертикальную полоски; четвертая отклонится обеими призмами и даст на экране наклонную полоску спектра (рис. 506).

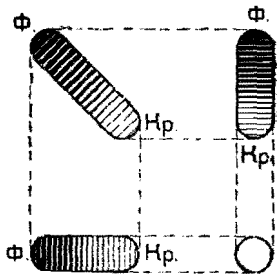


Рис. 506. Проектирование широкого пучка на экран.

5. **Сложение спектральных цветов.** 1—4). См. опыт 1. 5) Собирающая линза. 6) Вогнутое зеркало. 7) Прибор Остинга. 8) Кружок Ньютона 9) Центробежная машина. 10) Источник света.

Данный опыт служит непосредственным продолжением опыта 1 и является для него обратным, так как воспроизводит сложение спектральных цветов; в результате получается опять начальный белый цвет, какой дает источник света. Различают сложение спектральных цветов объективное — когда на экране получается белое изображение щели (взамен цветного), и субъективное — когда впечатление белого цвета возникает в глазах наблюдателя. Объективное сложение можно получить несколькими способами в зависимости от того прибора, при помощи которого производится собирание цветных лучей в одну точку; прибор помещают после призмы на пути цветных лучей. Могут встретиться следующие случаи, понятные по рисункам без описания.

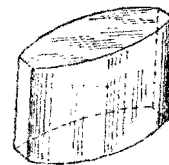


Рис. 507. Цилиндрическая линза.

Случай 1. Сложение спектральных цветов при помощи собирающей линзы (рис. 508, I) — лучше цилиндрической (рис. 507); за неимением цилиндрической — можно произвести сложение обычной сферической; ее положение подбирают на опыте, добиваясь получения белой полоски на экране.

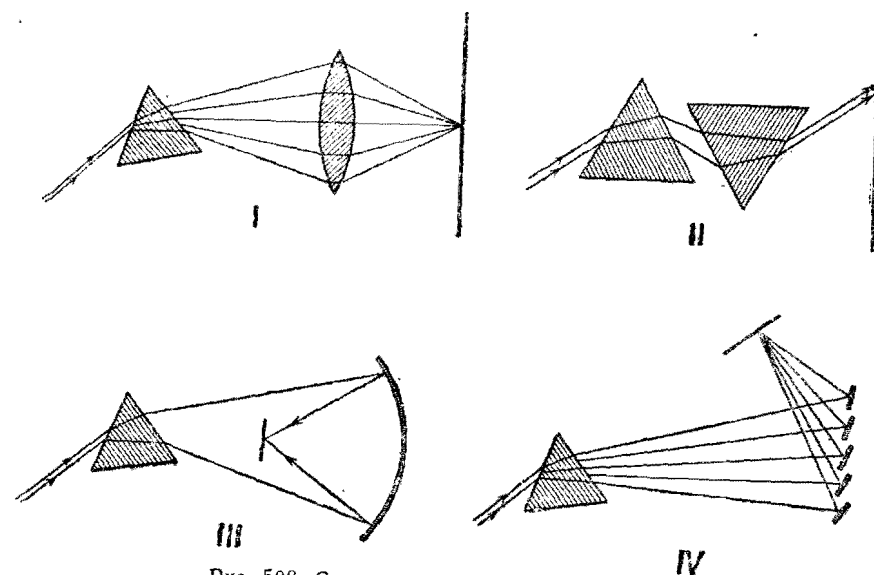


Рис. 508. Сложение спектральных цветов.

Случай 2. Сложение спектральных цветов при помощи призмы (рис. 508, II) — вторая призма, одинаковая с первой, должна отклонять лучи в обратную сторону и собрать их на экране.

Случай 3. Сложение спектральных цветов при помощи вогнутого зеркала (рис. 508, III) — экран берут прозрачный, малого размера.

Случай 4. Сложение спектральных цветов при помощи плоских зеркал (рис. 508, IV). Здесь применяют прибор Остинга (рис. 263), придавая всем зеркалам такое направление, чтобы все отраженные цветные лучи собрались вместе на экране; этот способ очень кропотливый.

Субъективное сложение достигается при помощи кружка Ньютона (§ 53, 3).

6. **Дополнительные цвета.** 1—4) См. опыт 1. 5) Призма с малым преломляющим углом ($8-10^\circ$). 6) Цветные кружки. 7) Центробежная машина.

Призма с малым преломляющим углом обычно в физических кабинетах имеется в виде комбинации двух призм, составляющих вместе ахроматическую призму. Еще лучше вместо призм взять цилиндрическое очковое стекло (с преломляющим углом примерно около 5°).

Возобновив установки опыта 5 (случай 1), на пути пучка цветных лучей помещают (недалеко от первой) вторую призму так, чтобы она отклонила в сторону часть лучей; тогда все спектральные лучи окажутся разделенными на две части, причем лучи каждой части будут

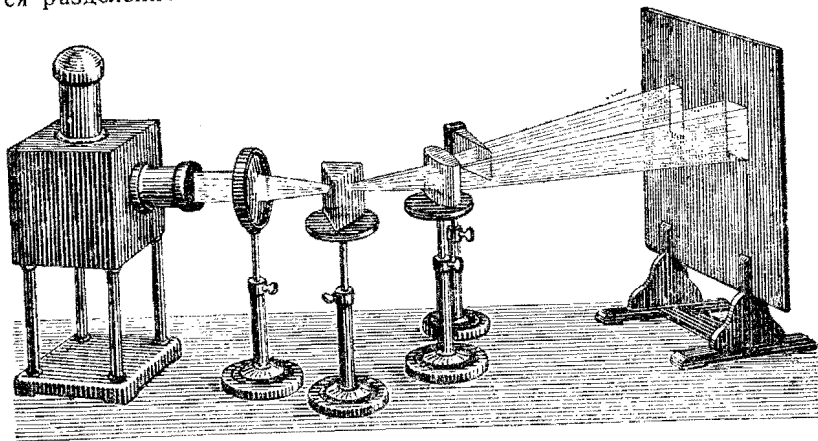


Рис. 509. Получение дополнительных цветов.

попрежнему собраны на экране, но не в одном месте, а благодаря второй призме в двух местах, в виде двух полосок (рис. 509). Эти полоски не останутся бесцветными (белыми), так как являются результатом сложения вместе лишь части спектра, и будут окрашены в два различных определенных цвета. Ввиду того что при сложении двух полученных цветов вместе получается белая полоска, такие два цвета названы дополнительными.

Если пучок лучей, дающих на экране один из дополнительных цветов, отклонить при помощи плоского зеркала так, чтобы этот пучок попал на то место экрана, где получен второй дополнительный цвет,

то произойдет сложение двух дополнительных цветов, дающее в результате белый свет.

Необходимо показать несколько пар дополнительных цветов, отклоняя второй призмой разные части спектра. Изложенный способ имеет тот недостаток, что позволяет отклонять в сторону лишь крайние части спектра (с обоих его концов) той или иной ширины. Отклонение любой средней части спектра является невозможным. Чтобы это сделать, берут призму в виде узкой полоски (шириною в несколько миллиметров), наклеенной на плоское стекло. Такую призму можно поместить в любое место спектра и таким путем отклонить любую узкую полоску из спектра. Вместо узкой призмы иногда удается применить стеклянный брусочек, у которого противоположные грани не вполне параллельны.

Второй способ демонстрации дополнительных цветов заключается в субъективном сложении их при помощи цветных кружков, вращаемых посредством центробежной машины и, что лучше, электромотора (§ 53, 3).

Опыт с получением дополнительных цветов можно рассматривать как вычитание из белого цвета одного из дополнительных; тогда второй дополнительный представляет собой разность между белым и первым дополнительным.

7. **Ахроматическая призма и линза.** 1) Прибор Вейнгольда с тремя призмами. 2) Система двух линз.

Чтобы показать получение ахроматизма, т. е. уничтожение светорассеивания при ходе лучей через призму или через линзу, надо иметь особый прибор, состоящий из двух призм с одинаковой полной дис-

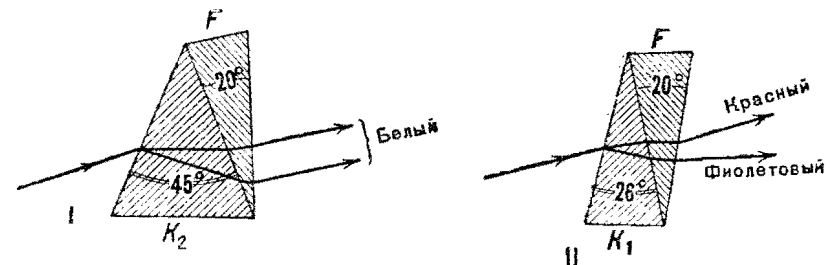


Рис. 510. Ахроматическая призма (I) и призма прямого зрения (II).

персией¹⁾. Призмы делаются из разных стекол — флинтгласа и кронгласа. У флинтгласа удельная²⁾ дисперсия больше, чем у кронгласа примерно в 2 раза (рис. 496), поэтому у призмы из этого стекла подбирается меньший преломляющий угол (примерно в 2 раза) так, чтобы полные дисперсии обеих призм стали одинаковыми. При таком условии лучи, пройдя через обе сложенные призмы (основаниями в разные

¹⁾ Полной дисперсией призмы называется произведение удельной дисперсии вещества призмы на ее преломляющий угол.

²⁾ Удельной дисперсией вещества называется разность коэффициентов преломления вещества для фраунгоферовых линий С (красная) и Н (фиолетовая).

стороны), выходят параллельными¹⁾ и дальше идут без разложения на цвета, но с отклонением в сторону (рис. 510, I).

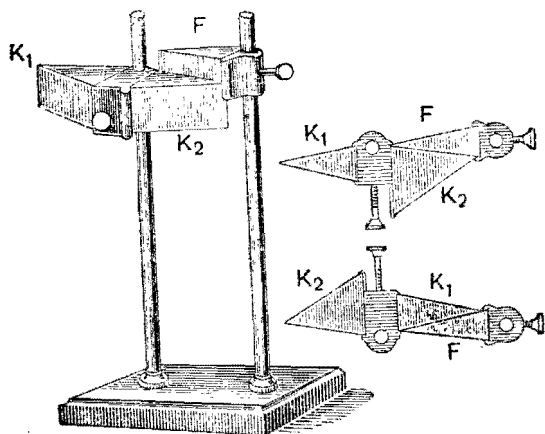


Рис. 511. Прибор Вейнгольда.

срединных лучей спектра одинаковы, а полные дисперсии различны, поэтому призма прямого зрения производит дисперсию, не отклоняя спектра в сторону (§ 52, I). Дисперсия такой призмы равна разности дисперсий обеих призм (в случае нескольких призм общая дисперсия равна сумме дисперсий флинтгласовых призм минус сумма дисперсий кронгласовых призм).

Чтобы показать действие ахроматической призмы, берут основную установку опыта 1, но вместо одной призмы ставят две, вместе составляю-

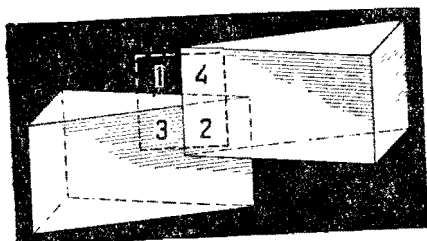


Рис. 512. Демонстрация ахроматической призмы.

¹⁾ Из определения удельной дисперсии видно, что при помощи двух призм можно достигнуть параллельности только для двух лучей, остальные отклонятся в сторону и вызовут некоторое окрашивание, т. е. не дадут полного ахроматизма.

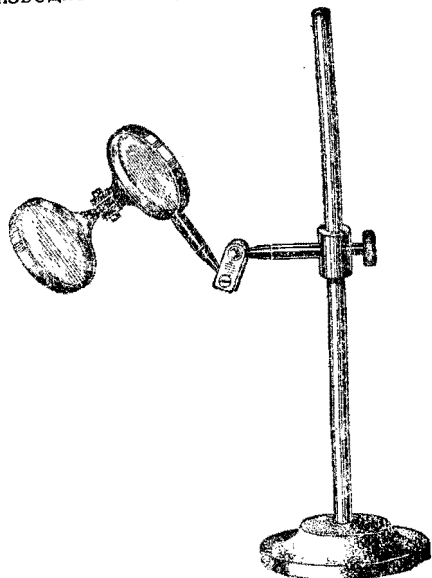


Рис. 513. Ахроматическая линза.

Еще лучше иметь прибор Вейнгольда с тремя призмами (рис. 511); из них одна (F) из флинтгласа с преломляющим углом в 20° и две (K_1 и K_2) из кронгласа с преломляющими углами в 26° и 45° . Комбинация призм F и K_2 дает ахроматическую призму (как описано выше), а призмы F и K_1 , сложенные вместе (основаниями в разные стороны), образуют призму прямого зрения (рис. 510, II и рис. 499, II). У таких призм преломляющие углы подобраны так, что отклонения

щие ахроматическую. Удобно наложить призмы лишь частично друг на друга, и взять щель такой ширины, чтобы весь пучок света разбился на 4 части (рис. 512): первая часть пройдет мимо призм; вторая — через обе и третья и четвертая — через одну из призм.

Знание принципа действия ахроматической призмы позволяет понять устройство ахроматической линзы. Она состоит из двух линз — двояковыпуклой (из флинтгласа) и двояковогнутой или выпукло-вогнутой (из кронгласа), соединенных вместе на шарнире (рис. 513). Если две эти линзы сложить вместе, получается ахроматическая линза.

Чтобы показать ее действие, пропускают пучок света сперва через каждую линзу в отдельности. На экране получают светлые (белые) пятна, окрашенные по краям вследствие хроматической аберрации (§ 35, 2) в красный или синий цвет в зависимости от положения экрана (ближе или дальше от линзы). Затем складывают линзы вместе, и окраска краев светлого пятна на экране исчезает.

§ 53. Цветоведение.

1. Краски и спектр. При изготовлении цветных рисунков спектров и кружка Ньютона может оказаться полезной следующая таблица (по Гельмгольцу):

Фраунгоферовы линии	Длина волны	Тон цвета	Краска	Примечание
A	760	Крайний красный	Темнокоричнево-красная	Незначительное изменение тона цвета, постепенное увеличение яркости
B	687	Красный	Кармин в порошке	
C	656	Граница красного и оранжевого	Киноварь	
	589	Оранжевый	Сурик	
		Золотисто-желтый	Желтый кадмий	
E	527 517	$\frac{1}{3}$ чистый желтый	Желтый хром	Очень быстрое изменение цвета
		$\frac{1}{3}$ желто-зеленый	Желто-зеленая киноварь	
		$\frac{1}{3}$ чистый зеленый	Швейнфуртская зелень	

Продолжение

Фраунгоферовы линии	Длина волны	Тон цвета	Краска	Примечание
	486	Голубовато-зеленый	Ярь-медянка ¹⁾	
		$\frac{1}{3}$ голубой	Берлинская лазурь	
	430	$\frac{2}{3}$ индиго-синий (по Гельмгольцу) Ультрамаринный (по Бецольду)	Ультрамарин	
H	397	Фиолетовый	Шелк, окрашенный фиолетовой анилиновой краской	Незначительное изменение тона цвета; постепенное уменьшение яркости

Изготовление рисунка идет в следующей последовательности. На листе хорошей бумаги (лучше всего гладкий ватман) обрисовывают границы полосы спектра карандашом. Затем размечают положение фраунгоферовых линий по длинам волн (надо иметь в виду, что в призматическом спектре красная часть спектра несколько сжата, а фиолетовая растянута). Закрашивают акварельными красками соответствующими тонами, указанными в таблице, оставляя между ними промежутки, руководясь отчасти примечаниями в таблице (быстрое изменение цвета в желто-зеленой области). При этом стараются брать чистую краску и хорошо мыть кисть при переходе от одного цвета к другому.

Особенно трудно получить фиолетовую часть и красную в виде чистых тонов. Окраска производится сразу в полную силу тона. После того как основные цвета нанесены, промежутки между ними окрашивают, подбирая цвета на-глаз и выравнивая переходы.

2. Вращающиеся кружки для сложения цветов. Для различных опытов по составлению сложного цвета из простых можно пользоваться вертушкой для быстрого вращения цветных секторов, сливающихся для глаза в один тон.

Применение этой вертушки разработано Максвеллом, а вращающийся кружок, разрисованный по секторам цветами спектра, носит обычно название кружка Ньютона.

Кружок Ньютона в школьной практике применяется только для получения белого цвета как результат сложения всех цветов спектра.

¹⁾ Или изумрудно-зеленая, смешанная с небольшим количеством кобальта (по Эбни).

Это применение является частным случаем, вытекающим из общего способа сложения цветов при помощи вращающегося диска.

Вращение диска может быть осуществлено весьма различными способами:

1) Из деревянного, картонного или металлического кружка делаем большую „юлу“ (рис. 514). Диаметр кружка 5—15 см. Ось кружка укрепляется при помощи пробки и клея (в случае деревянного кружка) и пайки (в случае металлического). Толщина оси около 3—4 мм; длина с одной стороны 2 см, с другой — 10—12 см.

Цветные кружки надеваются на ось сверху и удерживаются куском резиновой пробки, надетой на ось.

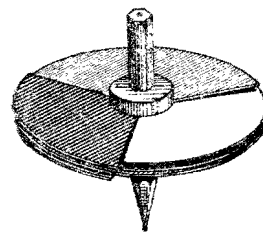


Рис. 514. Вертушка (юла) для сложения цветов.

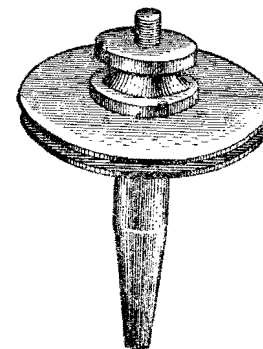


Рис. 515. Насадка для кружка Ньютона к центробежной машине.

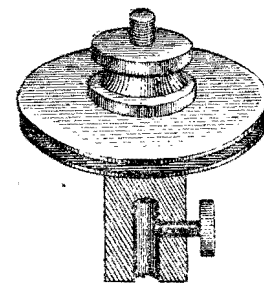


Рис. 516. Насадка к электромотору для кружка Ньютона.

Вертушку пускают во вращение двумя пальцами, как „юлу“, или двумя ладонями рук, вращая ось между ними.

Наблюдения приходится производить сверху.

2) Кружок вращается на центробежной машине.

Для кружков надо иметь ось, зажимающуюся в центробежную машину с небольшим кружком, имеющим сверху шайбу и гайку (рис. 515). Кружки прочно зажимаются винтом. Кружок может вращаться в вертикальной плоскости, если это допускает конструкция центробежной машины (т. II, § 42).

3) Наконец, можно сделать насадку к любому небольшому электрическому моторчику для укрепления бумажных кружков. Насадка имеет вид, изображенный на рисунке 516. Отверстие насадки должно находиться в соответствии с диаметром оси мотора.

Цветные кружки вырезаются из цветной бумаги или окрашиваются соответствующими красками. Кроме цветных кружков, надо иметь белый и черный кружки.

Набор кружков следующий: 1) белый, 2) черный, 3) 5 или 7 кружков спектральных цветов: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый; 4) кружки из дополнительных тонов: красный ($\lambda = 656$ ¹⁾) и сине-зеленый ($\lambda = 492$), оранжевый и голубой, желтый ($\lambda = 564$) и синий ($\lambda = 461$); зеленовато-желтый и фиолетовый.

¹⁾ Длины волны даны в миллимикронах.

У каждого кружка ($d = 10-20$ см) вырезается (пробивается пробойником или сверлом для пробок) в центре отверстие для надевания на ось вращения (т. IV, рис. 359) и, кроме того, вдоль одного из ра-

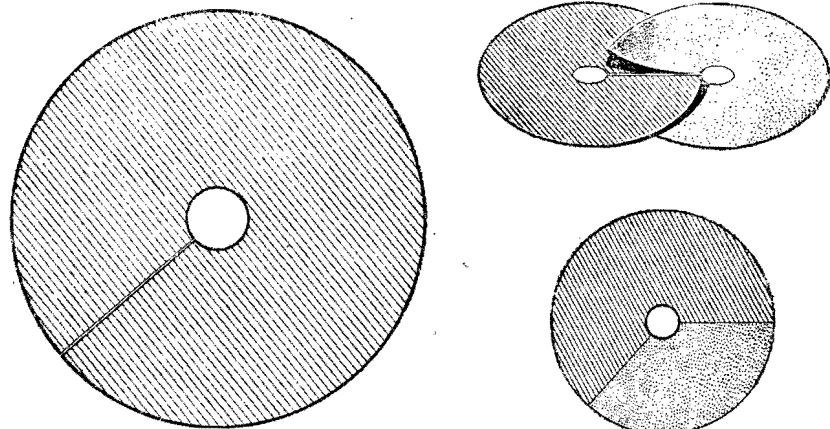


Рис. 517. Цветные кружки для сложения цветов.

диусов делается прорез до центра для вкладывания двух кружков друг в друга (рис. 517). Соединяют два кружка вместе так, чтобы центры их совпали и чтобы в прорез одного кружка входил другой, тогда получим кружок, состоящий из двух секторов, имеющих два разных цвета. Поворачивая кружки вокруг общего центра, можно менять размеры секторов и подбирать их по своему усмотрению.

3. Опыты с вертушкой.

1) Сложение цветов по Ньютону. Набирают кружок из всех спектральных цветов, причем, изменяя величину того или другого сектора, добиваются при вращении совершенно белого цвета.

Можно воспользоваться готовым кружком Ньютона (рис. 518). Картонный кружок делится на 7 или 14 секторов, которые окрашиваются в 7 радужных цветов (при 14 секторах все цвета повторяются 2 раза). Кружок приводится в быстрое вращение и при этом ярко освещается белым цветом.

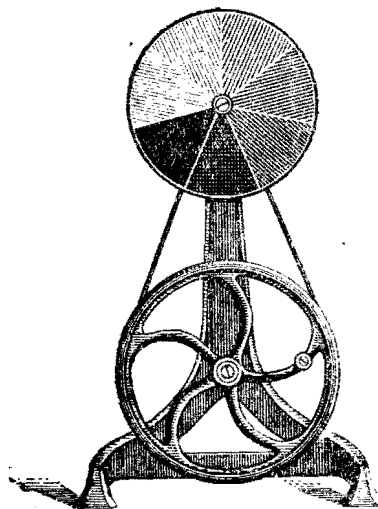


Рис. 518. Кружок Ньютона.

Для вращения можно применить центробежную машину (т. II, § 42, 3). В таком случае картонный кружок наклеивается на металлический диск, имеющий ось для укрепления на центробежной машине. Весьма удобно пользоваться электромотором, укрепляя кар-

тонный кружок на оси мотора при помощи специального приспособления (рис. 516 и т. IV, рис. 359).

При быстром вращении в глазу успевают промелькнуть все 7 цветных секторов, пока еще не исчезло впечатление от первого из них, поэтому воздействия всех цветов в глазу складываются вместе и производят впечатление белого цвета.

Совершенно белым кружок не кажется и почти всегда имеет сероватый оттенок. Зависит это от несовпадения красок со спектральными цветами, от неудачного подбора красок, от несоответствия размера секторов ширине отдельных цветов в спектре, от скачкообразного перехода между секторами.

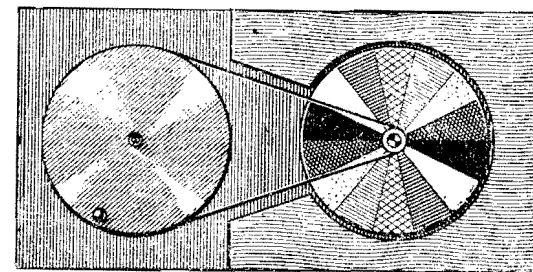


Рис. 519. Диапозитив для сложения цветов.

Кружок Ньютона большого размера ($d = 23$ см) входит в состав

таблиц по цветоведению В. С. Зикеева (Изогиз, 1935 г.).

Существуют прозрачные стеклянные кружки Ньютона для проектирования на экран (рис. 519). Вращение производится от руки, как на центробежной машине.

2) Сложение дополнительных цветов. Берут пары кружков, соответствующие дополнительным цветам¹⁾, и попарно приводят их во вращение. При сложении дополнительных цветов размеры секторов надо подобрать следующим образом: 1) красный 113° и голубовато-зеленый 247° ; 2) голубой 255° и оранжевый 105° ; 3) желтый 140° и синий 220° ; 4) желто-зеленый 87° и фиолетовый 273° ; 5) зеленый 82° и пурпурный 278° .

Указанные размеры надо заранее отметить карандашом на кружках (хотя бы на одном и из каждой пары).

При вращении каждой пары кружков создается впечатление сероватого тона, как бы хорошо ни были кружки освещены. Объясняется это теми же обстоятельствами, как при вращении кружка Ньютона.

3) Синтез цвета из трех цветов, белого и черного. Составляют кружок из белого, черного и трехцветного сектора: изменяя величину сектора, создают разнообразную гамму цветов.

4) Анализ цвета. Берут образец какого-нибудь сложного цвета (коричневого) и подбирают к нему такую комбинацию размеров секторов, которая бы давала цвет, наиболее схожий с образцом.

4. Сложение цветов. 1) Цветные кружки (или цилиндр Кольбе). 2) Центробежная машина. 3) Цветные стекла. 4) Проекционный фонарь.

¹⁾ Набор кружков входит в таблицы по цветоведению В. С. Зикеева, Изогиз, 1935.

Случай 1. Для опыта нужны те кружки, какие были описаны в опыте 2. Вдвигая один кружок в другой, получаем два сектора разных цветов. Сложенный двойной кружок приводят во вращение при помощи или центробежной машины, или электромотора. Наиболее удачные комбинации цветов и размеры секторов полезно подобрать заранее на опыте. Можно рекомендовать такой подбор кружков (при равных секторах — по 180°):

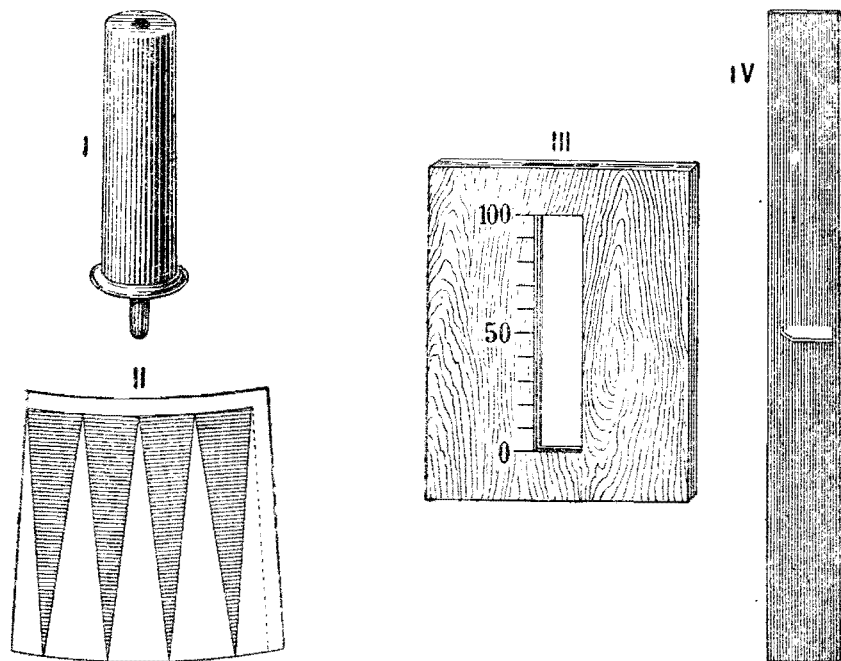


Рис. 520. Прибор Кольбе для сложения цветов.

1) красный + фиолетовый = пурпурный; 2) красный + синий = темномалиновый; 3) красный + зеленый = фиолетовый; 4) красный + желто-зеленый = оранжевый; 5) фиолетовый + голубой = синий; 6) синий + зеленый = голубой.

Можно вместе составлять 3, 4 и т. д. кружка.

Случай 2. Прибор Кольбе. При помощи центробежной машины вращают деревянный конус (рис. 520, I) с очень малым углом при вершине [$h=20$ см, d (внизу) = 5,5 см, d (вверху) = 5 см]. На конус надевают картонную гильзу, оклеенную треугольниками, вырезанными из цветных бумаг. Развертка такой гильзы изображена на рисунке 520, II. Кольбе рекомендовал цветные бумаги, применяемые для изготовления искусственных цветов, четырех следующих окрасок:

1) карминовая; 2) желтая, 3) зеленая (с легким голубоватым оттенком) и 4) ультрамариновая.

Вырезанные по шаблону треугольники наклеиваются крахмальным клейстером на заранее приготовленную гильзу с начерченными треугольниками.

При вращении прибора наблюдается непрерывный и равномерный переход от одного цвета к другому, причем одновременно можно видеть результат сложения двух взятых цветов в любом процентном отношении. Чтобы выделить нужный сложный цвет, перед прибором помещают ширму с горизонтальной щелью ($b=1$ см). Если при этом хотят знать процентный состав смешанных красок, то устанавливают ширму (рис. 520, III) с вертикальной щелью ($b=3$ см; h = высоте треугольников). Вдоль щели нанесены 100 делений, по которым можно определить состав наблюдаемого цвета. Соответствующее ему деление показывает процентное содержание той краски, для которой основания треугольников находятся у деления 100. Чтобы выделить определенный сложный цвет, вдоль щели в пазах передвигают полоску картона с горизонтальной щелью (1 см \times 2 см) с указателем (рис. 520, IV).

Случай 3. Если имеется возможность применить два проекционных фонаря или фонарь с двумя объективами (см., например, т. I, рис. 241), то можно спроектировать на экран два цветных изображения двух отверстий, закрытых цветными стеклами. В том месте, где два изображения накладываются друг на друга, наблюдается сложение цветов.

Случай 4. Сложение цветов можно наблюдать субъективно, положив на стол два цветных кружка и поставив между ними кусок оконного стекла (рис. 521). Смотри на стекло с одной стороны, надо так расположить глаз, чтобы увидеть один из кружков и рядом с ним изображение в стекле второго кружка, частично налегающее на первый кружок; в этом месте виден результат сложения двух цветов.

5. Цвета тел. 1—4) См. опыт 1. 5) Полоски разноцветной бумаги. 6) Набор цветных стекол.

На экране получают возможно более яркий спектр (опыт 1); затем берут (по одной) узкие ($b=2-4$ см) полоски цветной бумаги и, прикладывая их к экрану, продвигают вдоль всего спектра. В тех лучах спектра, какие данная цветная бумага отражает, она кажется ярко окрашенной. В других местах ее окраска бледнеет, меняется и в некоторых местах бумага кажется черной.

Опыт показывает, что окраска непрозрачного тела обуславливается подбором тех лучей, какие отражает поверхность тела. До своего отражения лучи должны пройти внутрь слоя краски на некоторую глубину, где часть лучей поглощается. Остальная часть идет назад и создает ту или иную окраску тела. Если применить очень наклонно падающие лучи (с большими углами падения), большая часть их будет отражаться от самой поверхности тела до их проникновения в слой краски, поэтому при таких скользящих лучах окраска тела кажется иной.

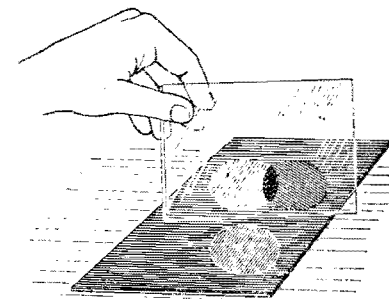


Рис. 521. Сложение цветов при помощи стекла.

Цветные полосы должны быть матовыми. Они нарезаются или из цветной папиросной бумаги, или же из яркоокрашенных материй, или изготавливаются самодельно, при помощи акварельных красок. Так как не всегда удается сразу составить набор цветных полосок, то полезно постепенно накапливать их, пользуясь каждым подходящим случаем. Так как не со всеми красками опыт выходит достаточно эффективно, то необходимо путем проверки на опыте заранее подобрать наиболее удачные цвета. Полезно полоски наклеить на белый картон.

Из исследуемого куска бумаги или материи вырезают узкую полоску и наклеивают ее рядом с белой полоской такой же ширины. Эти две полоски ставят в разные цвета спектра и приблизительно оценивают освещенность цветной и белой полосок в разных участках спектра.

Чтобы показать, от чего зависит окраска прозрачных тел, необходимо иметь набор цветных стекол (красное, желтое, зеленое, голубое, синее). Когда случайно попадают цветные стекла, их надо приобретать для физического кабинета. В продаже существует набор цветных пленок, заклеенных между двумя стеклами. Иногда встречаются цветные прозрачные листы так называемого целлофана.

Помещая цветные стекла на пути спектральных лучей, показывают, что окраска прозрачного тела определяется теми лучами, какие через это тело прошли.

Вместо стекол можно применить цветные жидкости в плоско-параллельных сосудах (см. дальше, § 54, 4). Можно взять растворы анилиновых красок.

6. Явление Пуркинье. Цвета при слабом освещении. При слабом освещении глаз воспринимает свет исключительно теми элементами сетчатки, которые не различают цветов (периферическое зрение). Опыт производится так: в темной комнате, лучше с темными стенами и потолком, вешают на стене разноцветные куски ткани или бумаги, составляя из них какой-нибудь рисунок или в порядке цветов спектра. Сначала в комнате должно быть совершенно темно, так темно, чтобы не было видно очертаний предметов даже после того, как глаз полностью привык к темноте (на это надо 15—20 мин. времени). Затем производят постепенно увеличивающееся освещение небольшой электрической лампочкой, прямой свет которой загорожен. Удобно взять 30-ватную лампочку с достаточно большим реостатом, который постепенно выводят. При появлении света очертания предметов делаются видными, но цвета совершенно не различимы. Все цвета спектра кажутся серыми (отсюда пословица: „в темноте все кошки серы“). Усиливая постепенно свет, начинают замечать синий свет; при значительно большем усилении света различается красный цвет от зеленого. При слабом освещении красный и зеленый цвета кажутся одинаковыми и просто темными.

Явлением Пуркинье объясняется синеватая окраска лунного освещения. Цветы красный мак и василек днем кажутся одинаково светлыми, а вечером при слабом освещении василек кажется заметно более светлым.

При очень ярком освещении все цвета кажутся, наоборот, беловатыми или желтоватыми (освещение сильным светом вольтовой дуги).

7. Цветные тени, основанные на сложении цветов. Берут 4 очковых стекла ($F=15-20$ см) и помещают их на куске фанеры или картона перед 4 отверстиями, как изображено на рисунке 522. Стекла закрывают 4 светофильтрами из окрашенных стекол или желатина. Этот 4-кратный объектив помещают перед конденсором проекционного фонаря. На экране получается от каждого стекла окрашенный круг. Пересечения кругов дают смешанные цвета как попарно, так и все четыре света сразу. Передвигая пластинку со стеклами относительно конденсора и весь фонарь относительно экрана, изменяют величину областей, где цвета смешиваются.

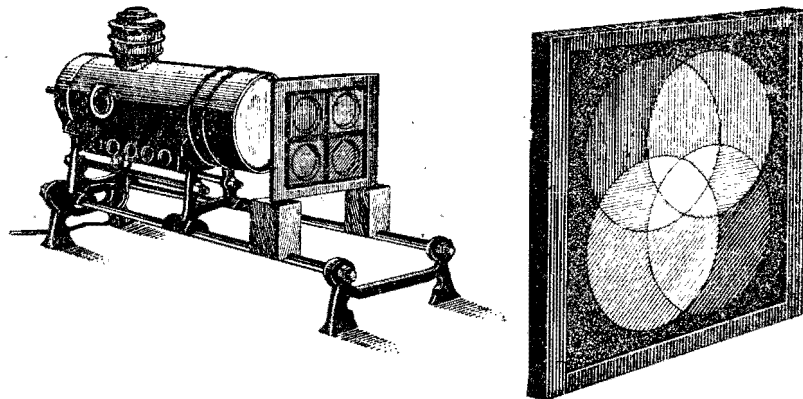


Рис. 522. Объектив для цветных теней.

Если перед пластинкой поставить предмет (руку, букет искусственных цветов и пр.), на экране получают тени от 4 источников, окрашенные в самые разные цвета.

§ 54. Спектроскопы.

1. Общие замечания. Для индивидуального наблюдения и для детального исследования спектров применяется особый прибор, названный спектроскопом. Необходимыми составными частями всякого спектроскопа являются: 1) одна или несколько стеклянных призм; 2) щель с изменяемой шириною; 3) одна или несколько линз для получения резкого изображения или для рассматривания спектра в увеличенном виде. Сверх этого, для определения положений спектральных линий спектроскоп дополняется особым приспособлением, снабженным шкалой для отсчетов. В зависимости от хода лучей в призмах спектроскопы делятся на приборы с ломаным ходом луча (рис. 523—527) и на приборы с прямым ходом (рис. 528—533), или спектроскопы прямого зрения.

2. Спектроскоп с ломаным ходом луча (Бунзена и Кирхгофа, рис. 523—524). Схема устройства спектроскопа изображена на рисунке 524. Ход лучей в приборе изображен на рисунке 525. Прибор

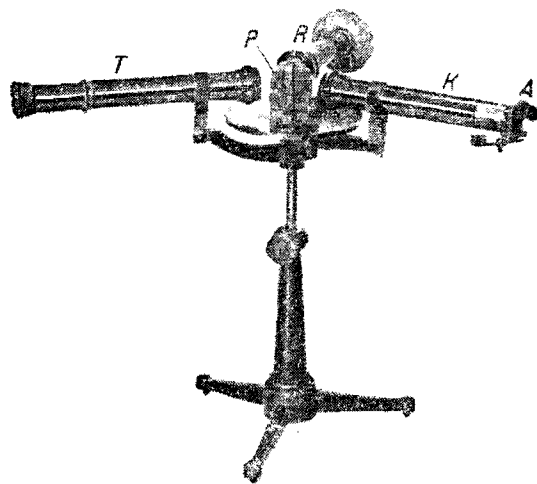


Рис. 523. Спектроскоп Бунзена.

длит разложение света на отдельные цвета, но лучи каждого цвета остаются параллельными между собой. Пройдя через объектив O ,

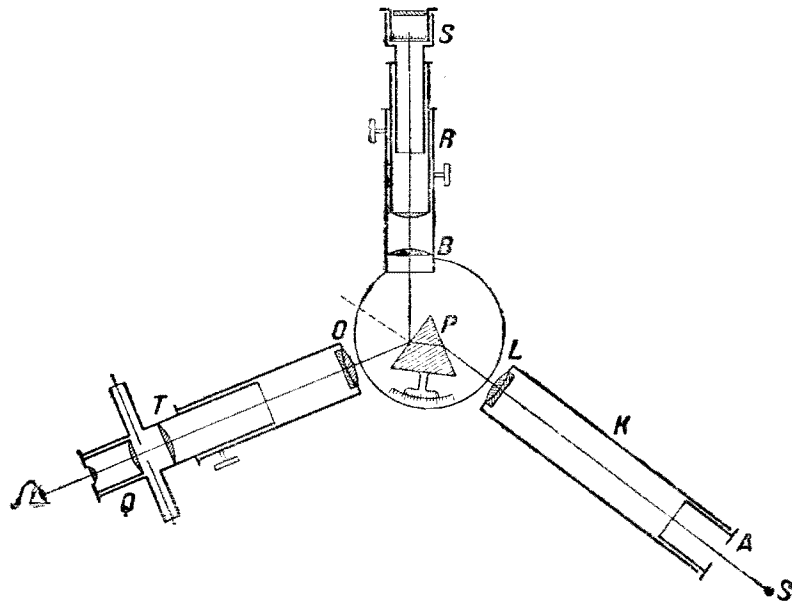


Рис. 524. Схема устройства спектроскопа Бунзена.

параллельные цветные лучи сходятся в отдельные точки в пределах фокусной плоскости F объектива (на побочных осях, проведенных через оптический центр объектива O параллельно

состоит: 1) из коллиматора K , содержащего щель A , помещенную в главной фокусе линзы L ; 2) из зрительной трубы T , имеющей объектив O и окуляр Q ; 3) из одной или нескольких призм P .

Труба R со шкалой S при помощи линзы B создает изображение шкалы в той же плоскости, где получается спектр. Лучи, выходящие из щели A , освещенной исследуемым источником света, после линзы L идут параллельным пучком и доходят до призмы P . При входе и при выходе из призмы происхо-

соответствующим цветным лучам), и здесь получается спектр — красный фиолетовый. Он представляет собой ряд действительных цветных изображений щели A . В плоскости, где образуется спектр, помещается крест нитей и находится изображение шкалы S ; полученный спектр

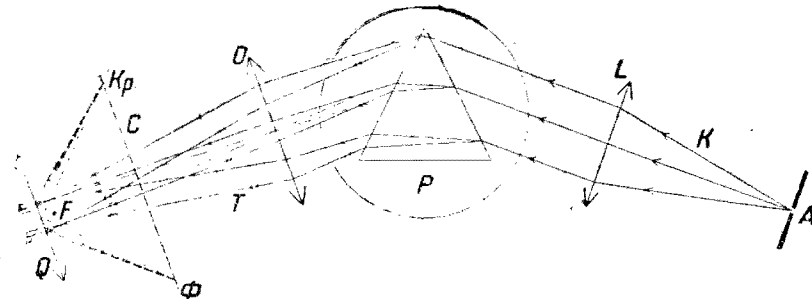


Рис. 525. Ход лучей в спектроскопе.

рассматривается окуляром Q , как лупою, в виде мнимого увеличенного изображения. Лучи, идущие от шкалы S , линзой B обращаются в параллельный пучок, в таком виде отражаются от грани призмы, падают, оставаясь параллельными, на объектив O и после него сходятся в его фокусной плоскости F , где и получается действительное изображение шкалы. Шкала освещается слабым источником света, который не должен мешать наблюдению спектров.

Для одновременного наблюдения (с целью сравнения) спектров двух источников около щели (снаружи) укрепляют на шарнире небольшую призмочку (рис. 526), ее можно откинуть в сторону (при обычных наблюдениях) и приложить к щели; тогда призмочка закрывает верхнюю часть щели и направляет в коллиматор (посредством полного внутреннего отражения) лучи, идущие от второго источника B , помещенного сбоку коллиматора. В спектроскопе будут видны два спектра: внизу поля зрения — спектр источника B и над ним спектр источника A .

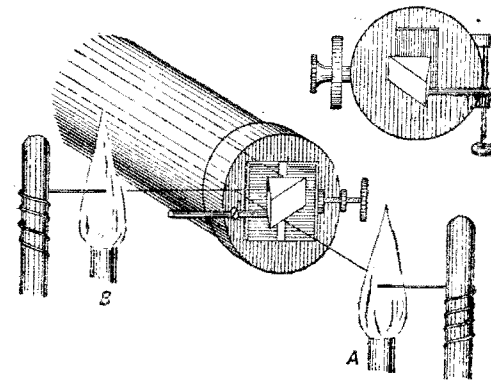


Рис. 526. Дополнительная призма в спектроскопе.

Школьный спектроскоп (рис. 527) не имеет шкалы, а следовательно, и трубы R со шкалой. Для определения положения линий в спектре у школьного спектроскопа имеется линейка E , разделенная на 10 равных делений и скрепленная со столиком, на котором укреплена призма P . Зрительная труба T при помощи микрометрического винта M может поворачиваться вокруг общей оси прибора.

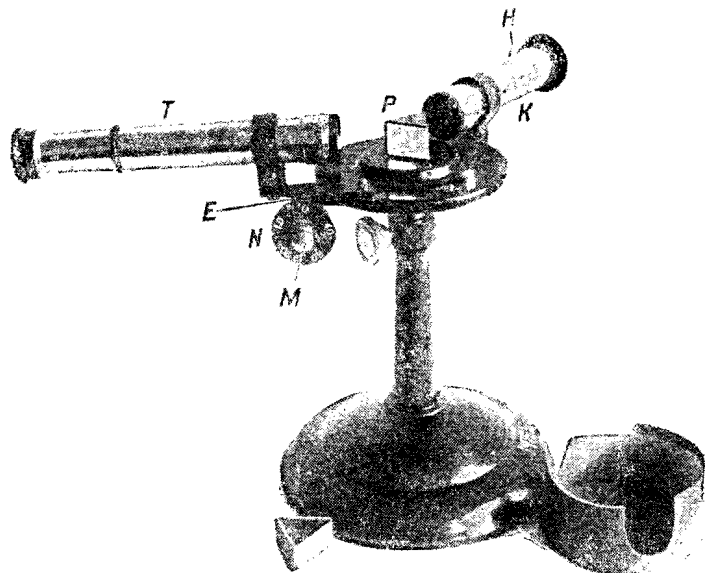


Рис. 527. Школьный спектроскоп.

Винт *M* снабжен барабаном *N*, вдоль окружности которого нанесено 50 делений. Барабан своим краем перемещается вдоль линейки *E*. Когда вертикальная нить в зрительной трубе при помощи винта *M* установлена на определенную линию спектра, положение этой линии определяется двумя отсчетами:

1) на линейке — отсчетом наименьшего деления из тех двух, между которыми лежит край (с делениями) барабана; 2) на барабане — отсчетом того деления, которое приходится у края линейки.

Подобное устройство описано в томе IV (§ 28, 5).

Призма *P* у школьного спектроскопа установлена не на наименьшее отклонение, а на наибольшее светорассеяние, и потому по выходе из призмы лучи идут почти вдоль стороны призмы (так называемый скользящий выход).

3. Спектроскоп прямого зрения (Гофмана). Этот прибор (рис. 528 и 529) состоит из таких же частей, как и прибор

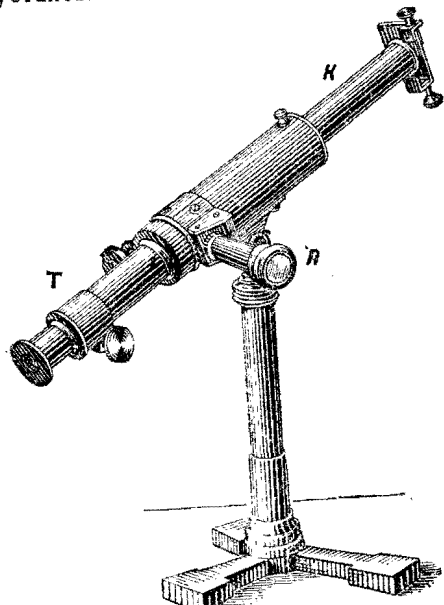


Рис. 528. Спектроскоп прямого зрения.

с ломаным ходом луча, а именно: из коллиматора *K* со щелью, из зрительной трубы *T*, из ряда призм прямого зрения (рис. 499) и из трубы *R* со шкалой. Коллиматор и зрительная труба расположены по одной прямой линии и ввинчиваются в концы трубки, содержащей призмы прямого зрения. Ход лучей в коллиматоре, в зрительной трубе и в трубе со шкалой таков же, как и в спектроскопе с ломаным ходом луча (рис. 526). Ход лучей в 5 призмах прямого зрения изображен на рисунке 499, II.

4. Карманные спектроскопы (Брунинга). Спектроскопы прямого зрения весьма распространены в виде карманных приборов небольшого размера и упрощенной конструкции. Такие приборы сравнительно дешевы и потому применяются в школьной практике. Необходимо в физическом кабинете иметь несколько таких приборов, особенно для лабораторных работ по спектрам.

Внешний вид и внутреннее устройство самого простого карманного спектроскопа прямого зрения изображены на рисунках 530 и 531. Ширина щели *A* изменяется вращением кольца *B*. По глазам прибор устанавливается передвижением трубки с призмами *C*; глазом смотрят в окулярное отверстие *D*.

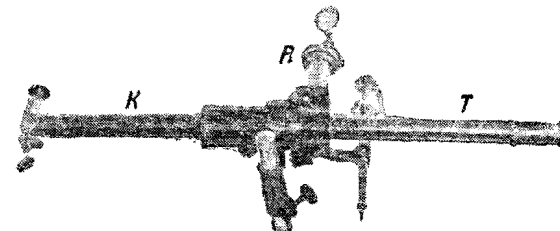


Рис. 529. Спектроскоп прямого зрения.



Рис. 530. Карманный спектроскоп прямого зрения.

Карманные спектроскопы иногда снабжаются шкалой, помещенной в боковой трубке (рис. 532 и 533); конец трубки со шкалой *E* освещается посторонним источником света, иногда бывает достаточно исследуемого источника. Свет от шкалы при помощи призмы *F* с полным внутренним отражением направляется на грань призмы, откуда отражается в глаз. Шкала устанавливается при помощи винта *H*,двигающего призму *F*. Окулярное отверстие находится на конце *D* трубки прибора.

Иногда карманные спектроскопы снабжаются маленькой призмочкой *A*, которую можно поместить около щели для сравнения спектров двух источников. Лучи света от второго источника при помощи плоского зеркала *Z* (рис. 534) направляются на призмочку и, пройдя сквозь нее с полным внутренним отражением, попадают в прибор. Изображенные на рисунке крючкообразные пружинки *BB* служат для укрепления перед щелью пробирок с жидкостями для их исследования.

5. Установка спектроскопа. Установка спектроскопа должна соответствовать изложенному выше (2) ходу лучей. При дальнейшем

описании установки имеется в виду, главным образом, школьный спектроскоп.

Установку начинают со зрительной трубы *T* (рисунок 527). У трубы перемещаются, во-первых, вся окулярная часть трубы (по отношению к объективной части) и, во-вторых, сам окуляр (по отноше-

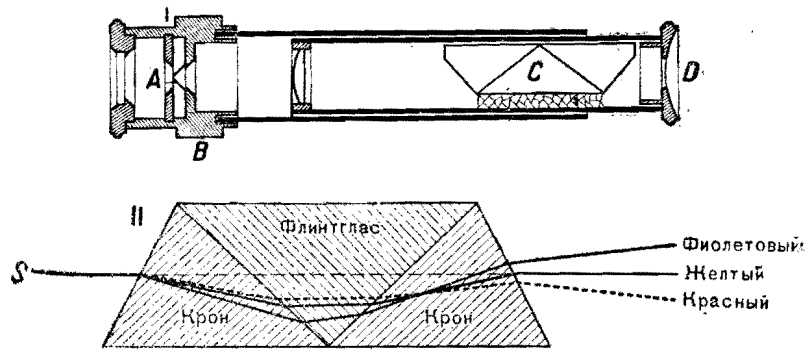


Рис. 531. Внутреннее устройство спектроскопа прямого зрения (I) и ход лучей в призмах (II).

нию ко всей окулярной части). Передвигая один окуляр и смотря в него (одним глазом), получают резкое изображение креста нитей. Вращением окуляра одну из нитей приводят в вертикальное положение. Затем, направив трубу на далекий предмет, не ближе примерно 10—20 м, добиваются четкого и ясного изображения предмета рядом с полученным изображением нитей. При этом передвигают всю окулярную часть трубы (вместе с нитями и окуляром, не сдвигая последнего).

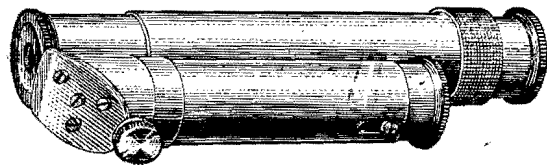


Рис. 532. Карманный спектроскоп со шкалою.

Совпадение изображения предмета с изображением нитей проверяют методом параллакса. Чтобы направить трубу на далекий предмет, надо сдвинуть ее в такое крайнее положение, чтобы лучи шли параллельно боковой грани призмы. Иногда не удается достигнуть на приборе такого положения, тогда трубу передвигают в другое ее крайнее положение и наводят на далекий предмет при помощи отражения лучей от боковой грани призмы.

Закончив установку зрительной трубы, направляют щель коллиматора на источник монохроматического света, обычно натриево пламя, и, поймав в трубе изображение желтой линии натрия, ширину щели при помощи винта *H* доводят до таких размеров, чтобы в поле зрения трубы была видна узкая желтая полоска. Пока щель коллиматора не установлена, эта полоска, вообще говоря, имеет размытые кра-

и может стоять не параллельно вертикальной нити в трубе. Тогда конечную часть коллиматора, содержащую щель, передвигают взад и вперед и вращают вокруг продольной оси до тех пор, пока полоска в трубе не будет видна отчетливо, с резкими краями и притом параллельно нити трубы. Тогда установка окончена. Можно обойтись без монохроматического пламени, направив щель на источник белого света, например окно. Тогда, получив в трубе спектр, устанавливают щель так, чтобы верхний и нижний края спектра имели резко очерченные края.

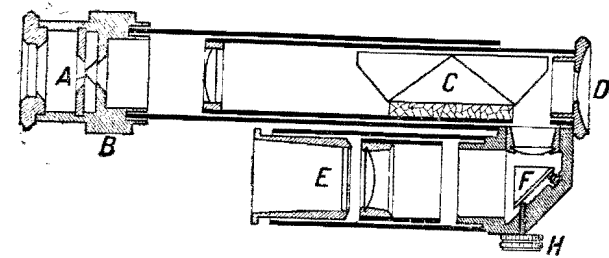


Рис. 533. Внутреннее устройство карманного спектроскопа со шкалою.

У некоторых спектроскопов можно удалять столик с призмой, а зрительную трубу (или коллиматор) можно так повернуть, что обе трубы (зрительная и коллиматорная) устанавливаются на одной прямой линии. В таком случае установку производят в таком порядке. Удалив столик, устанавливают зрительную трубу по удаленному предмету. Затем установив зрительную трубу и коллиматор вдоль одной прямой (поворотом коллиматора), передвигают взад и вперед конечную часть колли-

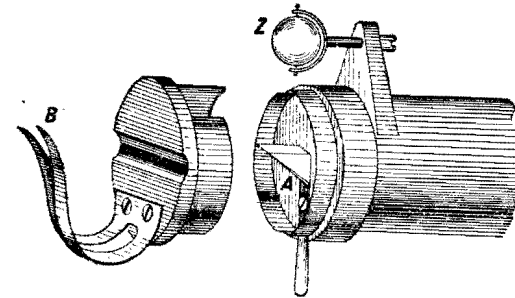


Рис. 534. Дополнительная призма у карманного спектроскопа.

матора со щелью до тех пор, пока в трубе не увидят резкое изображение освещенной щели в одной плоскости с изображением нитей. В совпадении убеждаются методом параллакса, тогда коллиматор возвращают в его начальное положение. Укрепив на приборе столик с призмой, установку заканчивают.

У спектроскопа прямого зрения (рис. 528) коллиматор и зрительная труба для установки отвинчиваются от средней части. 6. Шкалы спектроскопа. Для определения положения спектральных линий требуется производить отсчеты по шкале. Применяются два способа.

Способ 1. Как указано при описании спектроскопов (рис. 523, 524, 528), к прибору добавляется особая (третья) труба, на свободном конце которой имеется стеклянная пластинка с нанесенной на ней шкалою. Обычно шкалу делают, фотографируя в уменьшенном виде (в 10—20 раз) шкалу, начерченную на белой бумаге. В спектроскоп

помещают негативное изображение этой шкалы (белые деления на черном фоне). Кругом шкалы стекло закрашивают черной краской или заклеивают станиолем.

Для освещения шкалы снаружи удобно пользоваться лампочкой для карманного фонарика, закрыв ее со всех сторон, кроме небольшого отверстия для освещения шкалы. Можно применить свечку, загородив ее ширмой, чтобы свет не попадал в коллиматор и в глаза.

Трубу со шкалой надо установить так, чтобы выходящие из трубы лучи отражались от грани призмы и попадали в зрительную трубу. Этого достигают, поймав в зрительной трубе изображение ярко освещенной шкалы. Если это изображение размытое, двигают взад и вперед конечную часть трубы со шкалой до получения резкого ее изображения. Чтобы придать шкале горизонтальное направление (параллельное изображению спектра), вращают шкалу.

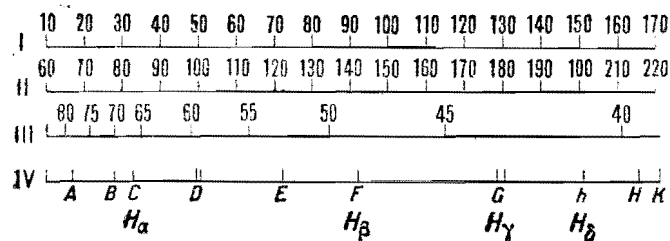


Рис. 535. Типы шкал у спектроскопов.

Шкалы бывают двух типов. У одного из них нанесены равные деления, но в общем произвольные, так как если сделать у различных спектроскопов одинаковые шкалы, все равно расположение спектральных линий, отсчитанное по этим шкалам, не будет совпадать. Причина этого явления заключается в различии частных дисперсий — у призмы разных приборов. Второй тип шкалы дает прямо длины волн, но деления у такой шкалы неравномерные и опять у разных приборов имеют различное расположение. На рисунке 535 даны примеры трех шкал: первая применялась Бунзеном и Кирхгофом — у этой шкалы деление 50 соответствует фраунгоферовой линии D (линия натрия); вторая шкала (Лекока) устанавливается в приборе так, чтобы с линией D совпадало 100-е деление; третья шкала дает отсчет в длинах волн (числа указывают длину вала в миллионных долях сантиметра).

Спектроскопы, у которых имеется шкала по длинам волн, особенно удобны тем, что не требуют особого перевода делений шкалы в длины волн и потому не нуждаются в градуировке.

Способ 2. Некоторые спектроскопы лишены шкалы, но зато у них зрительная труба может вращаться при помощи микрометрического винта и любой сдвиг трубы и ее положение могут быть точно определены. В томе IV (§ 28, 5) описано соответствующее устройство у спектроскопа, позволяющее отсчитать положение трубы (т. е. вертикальной линии) по делению на линейке A и по делению на бара-

бане B (рис. 435, т. IV). При этом втором способе шкала имеет равномерные деления и нуждается в особом переводе в длины волн или в градуировке.

7. Градуировка шкалы спектроскопа. Под градуировкой подразумевается перевод делений шкалы в соответствующие им длины волн. Такой перевод можно сделать только путем наблюдения спектров и нахождения делений шкалы, соответствующих определенным спектральным линиям, для которых длины волн точно известны и которые поэтому можно принять за образцы для измерения длин волн. Такие линии приведены в следующей таблице:

Область спектра	Длина волны (в ангстремах)	Элемент, которому принадлежит линия	Химический знак элемента	Обозначение фраунгоферовых линий
Красная	7699	Калий	K	
	7665	"		
	7621	Кислород	O	A
	6870	"		B
Оранжевая	6708	Литий	Li	
	6563	Водород	H	C
	[6438]	Кадмий	Cd	
	6402	Неон	Ne	
	5896	Натрий	Na	
Желтая	5890	"		D_1
	5876	Гелий	He	D_2
	5852	Неон	Ne	D_3
	5589	Кальций	Ca	
	5536	Барий	Ba	
Зеленая	5461	Ртуть	Hg	
	5270	Железо	Fe	
	5184	Магний	Mg	E
	5173	"		b_1
	5168	"		b_2
Голубая	5086	Кадмий	Cd	b_4
	5016	Гелий	He	
	4861	Водород	H	F
	4800	Кадмий	Cd	
	4607	Стронций	Sr	
Синяя	4593	Цезий	Cs	
	4556	"		
	4240	Водород	H	
	4308	Кальций, железо	Ca, Fe	G
Фиолетовая	4227	Кальций	Ca	g
	4102	Водород	H	h
	3969	Кальций	Ca	H

Примечание. Ангстрем = 0,1 миллимикрон = 10^{-8} см. В таблице приведены наиболее яркие линии; линии, которыми наиболее удобно пользоваться, напечатаны жирным шрифтом; линии, расположенные близко к концам спектра, наблюдать весьма трудно. В рамочке помещена красная линия кадмия, которая по международному соглашению принята за нормаль первого порядка для измерения длин волн и для установления единиц длин.

Определив по шкале положение нескольких линий у одного или нескольких элементов в разных местах спектра (по возможности на

всем его протяжении), строят график, откладывая по оси абсцисс деления шкалы, по оси ординат — длины волн (рис. 536), построенные точки, изображающие отдельные пары связанных между собой значений (деления и длины волны), соединяют плавной кривой линией и пользуются этой кривой для определения длины волны, соответствующей наблюдаемой линии, положение которой по шкале найдено путем наблюдений. На чертеже (рис. 536) показано, как найти длину волны, соответствующей делению 130 шкалы.

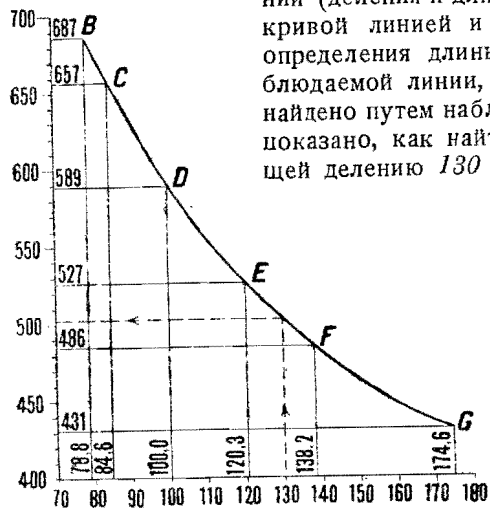


Рис. 536. Градуировка спектроскопа.

В этом случае можно только при помощи индивидуального наблюдения показать учащимся сплошной спектр и 2—3 спектра испускания. Полезно между источником света и призмой помещать картонную узкую ($b=2-3$ мм) щель (рис. 537). Вторую ступень в оборудовании создает проекционный фонарь с вольтовой дугой (электролампа не дает особых преимуществ перед первым случаем). Во втором случае имеется в виду возможность все виды спектров спроектировать на экран. Для индивидуального наблюдения (например при лабораторных работах по спектральному анализу) фонарь без спектроскопа нельзя использовать. Третий случай наиболее желательного и полного оборудования предполагает наличие спектроскопа или, что еще лучше, нескольких карманных спектроскопов. Такое оборудование вполне обеспечивает и лабораторное изучение всех видов спектров. Надо признать весьма желательным иметь в кабинете стенные цветные таблицы спектров, содержащие примеры спектров испускания и поглощения (в том числе и спектр Солнца). Можно ограничиться раскрашенным диапозитивом, изображающим все виды спектров и спектр

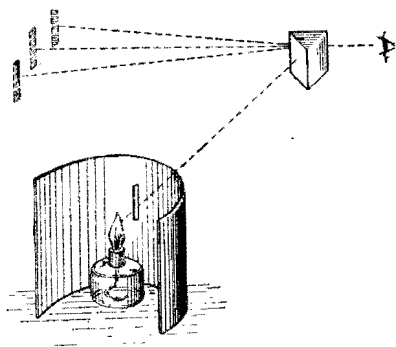


Рис. 537. Наблюдение спектра при помощи призмы.

Солнца. В дальнейшем изложены способы наблюдения спектров применительно к трем упомянутым условиям оборудования.

2. Сплошной спектр. Такой спектр дают накалинные тела, твердые и жидкие (например расплавленные металлы). Температура таких тел должна доходить примерно до 1000° . При 500° начинается лишь красное свечение и по мере повышения температуры тела состав испускаемых лучей постепенно расширяется в сторону фиолетового конца.

Все изложенные ранее приемы проектирования спектра на экран касались как раз сплошного спектра. Источниками могут служить: пламя свечи (накаленные частицы углерода),калильная электролампа, вольтова дуга (раскаленные концы углей), любая проволока, накаливаемая электротоком или в пламени газовой горелки. Накаленная прямолинейная проволочка удобна для наблюдений через одни призмы (даже без щели).

Наблюдая в спектроскоп за волоском лампочки, накаливаемым постепенно (при помощи реостата) от красного каления до белого, легко проследить зависимость состава излучения от температуры (§ 62, 10).

3. Линейчатый спектр. Спектр испускания, состоящий из отдельных цветных линий, разделенных темными промежутками, названный линейчатым, дают накаленные до самосвечения газы или пары.

Случай 1. При проектировании линейчатого спектра на экран надо применить вольтовую дугу при углях с фитилями (т. I, § 70, рис. 205). Если такой уголь имеется, надо осторожно высверлить или выковырять начинку фитиля; если же угля с фитилем нет, надо взять обычный сплошной уголь (диаметр желательнее не менее 1 см) и спиральным сверлом (т. I, § 123, рис. 305, 16) просверлить вдоль оси угля канал ($d=3$ мм). Канал в угле заполняется веществом, спектр которого надо показать.

Таким способом можно показать спектры: натрия, кальция, стронция, железа, меди, серебра и цинка. Последние четыре металла берутся в виде проволочек, которые вставляются в канал угля; если проволока по толщине близка к каналу, проволоку надо тщательно выпрямить. Можно применить несколько тонких проволочек — их легче вставлять в канал. Натрий, кальций и стронций берут в виде их солей, измельченных в порошок. Этот порошок насыпают в канал, заткнув его (если он проходит насквозь) на нижнем конце кусочком лучинки. Чтобы удобно было насыпать, конец угля обертывают кусочком бумаги для получения подобия воронки. Порошок утрамбовывают в канале лучинкой или проволокой. Какие соли брать для получения спектра, — безразлично, но необходимо согласовать температуру нагревателя с температурой парообразования вещества. В данном случае рекомендуют применять глауберову соль (сернокислый натрий), мел в порошке (углекислый кальций), углекислый стронций.

Начиненный уголь делают нижним и положительным (в случае постоянного тока). После возникновения вольтовой дуги угли необходимо сильно раздвинуть (насколько только позволяет дуга) примерно на 1—2 см, чтобы пользоваться для получения спектра светом самой дуги, а не концов углей.

Установка опыта — см. § 52, 1. Весьма желательно применить призму с сильной дисперсией, всего лучше систему призм. Состав спектра у названных веществ таков:

натрий — одна желтая линия, с оранжевым оттенком; кальций — красная, зеленая и несколько фиолетовых; стронций — красная, оранжевая, синяя; железо — много линий; яркие, зеленые; медь — много линий; яркие, две желтые и три зеленые; серебро — яркая зеленая и голубая; цинк — красная и несколько синих.

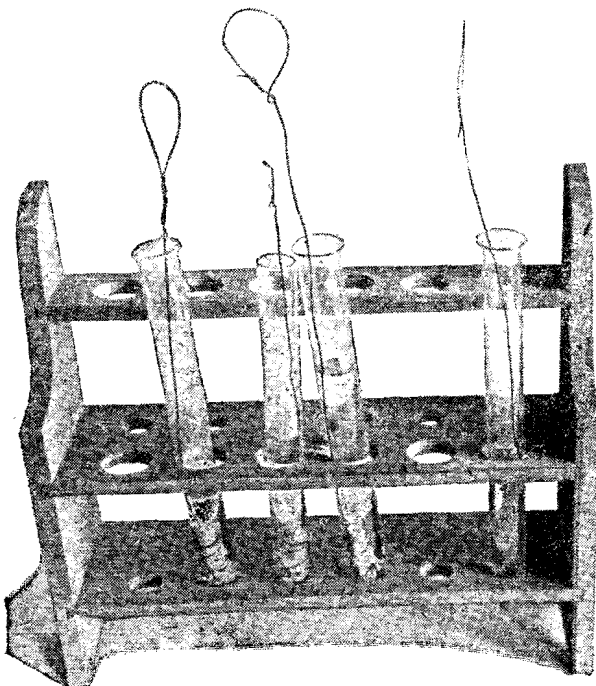


Рис. 538. Пробирки с растворами и фитилями.

Обычно вещества берут в виде солей, растворенных в воде и с низкими температурами парообразования, например хлористые или бромистые. Для каждого вещества готовят особый фитиль — кусочек асбеста ($b = 0,5$ см, $l = 2-3$ см) на железной проволоке. Если асбест очень плотный, его надо разлохматить. Фитиль погружается в водный раствор соли и тотчас же вносится в пламя горелки. Удобно свободный конец проволоки укрепить в штативе. Погружать один и тот же фитиль в разные растворы недопустимо. Когда пламя потеряет окраску, надо фитиль намочить снова. Растворы наливают в пробирки, которые ставятся в деревянные стойки (рис. 538).

Во многих случаях спектр можно наблюдать или растворив соль в спирте, налитом в горелку, или бросая кусочки соли на фитиль горелки.

Если направить щель спектроскопа на внутренний голубой конус пламени газовой горелки, горящей при доступе воздуха, то виден линейчатый спектр газов, входящих в состав светильного газа.

Случай 2. При индивидуальном наблюдении линейчатых спектров через спектроскоп (или просто через призму со щелью, рис. 537) необходимо иметь горелку для обращения веществ в раскаленный пар. Всего удобнее применять газовые горелки Бунзена (т. I, § 24), дающие бесцветное пламя высокой температуры. За неимением газа приходится брать спиртовки (обычные или с поддувалом или с давлением). В большинстве случаев удается обойтись обыкновенной спиртовкой.

Карманный спектроскоп (и отдельную призму) полезно укрепить в штативе или на подставке. При пользовании одной призмой (рис. 537) видны несколько (по числу спектральных линий) цветных изображений щели.

Таким способом можно показать спектры натрия, лития, стронция, кальция, калия (яркокрасная линия на самом конце спектра), бария (очень много линий, так что спектр имеет вид и название полосатого, яркие линии в зеленой части).

Можно наблюдать линейчатый спектр при помощи призмы без щели. Тогда надо устанавливать призму так, чтобы лучи входили в нее почти параллельно боковой грани призмы (так называемый скользкий вход), и получаются узкие линии за счет уменьшения светорассеивания.

Второй способ, позволяющий наблюдать свечение газов, заключается в применении электрического разряда в газах при пониженном давлении; способ этот изложен в томе IV (§ 23, 2); там же описаны трубки Плюккера (рис. 382, т. IV) для наблюдения спектра газов и указан способ применения этих трубок. Необходимо иметь и показать учащимся трубку с водородом. У большинства других газов в спектрах очень большое число линий (спектры полосатые). Интересно показать спектр водяных паров. В томе IV (§ 28, 5) было отмечено удобство пользования неоновыми лампами и газосветными трубками для наблюдения спектров аргона, неона, гелия и ртути (§ 28, 5), правда, обычно в виде их смеси; там же приведены спектры этих газов (рис. 434, т. IV).

4. Спектр поглощения. Для получения спектра поглощения необходимо иметь два источника (или два вещества). Один из них должен давать сплошной спектр (оп. 2). При проектировании на экран применяют вольтовую дугу в фонаре; при индивидуальных наблюдениях берут электролампу или даже пользуются дневным светом. Второе тело должно поглощать часть лучей из всего пучка, излучаемого первым телом. Оно должно иметь более низкую температуру, чем первое. Эта температура может быть сколько угодно низка, т. е. второе тело не только может быть темным (несветящим), но вообще даже холодным. В соответствии с этим рассмотрим несколько случаев спектра поглощения.

Случай 1. Прозрачные твердые тела. Такими телами могут служить упомянутые раньше (§ 53, 5) цветные стекла или цветной желатин. Таким телом заслоняют щели при проектировании или при наблюдении спектра через спектроскоп. Убирая и снова возвращая тело, сравнивают состав спектра, видимого через тело и помимо него. Таким путем выясняют, какие цветные лучи поглощаются исследуемым телом.

Случай 2. Окрашенные жидкости. Жидкости помещают в плоско-параллельные сосуды. Если жидкость густо окрашена, можно взять узкий сосуд (т. III, § 32, 4, рис. 469). Для жидкостей с бледной окраской надо брать более широкие сосуды (рис. 288). Можно применять и пробирки, но их надо устанавливать около щели так, чтобы лучи шли по диаметру пробирки. Способы проектирования и наблюдения одинаковы с твердыми телами (случай 1).

Из жидкостей можно рекомендовать: 1) раствор (насыщенный) медного купороса (синий цвет), поглощаются красный конец спектра и отдельные цвета; 2) двуххромовокислый калий (хромпик) (оранжевый цвет), поглощается фиолетовый конец спектра, начиная с голубого; 3) марганцевокислый калий (темномалиновый цвет), поглощается средняя часть спектра (желтые — синие лучи); 4) фуксин (растворять лучше в спирте) (красный цвет), поглощается все, кроме красного; 5) флюоресцеин (в раствор добавить нашатырного спирта) (желто-зеленый цвет), поглощение, как у хромлика; 6) индиго (растворять в серной кислоте и разбавлять водой (синий цвет), поглощается средняя часть спектра (оранжевые — желтые лучи); 7) гемоглобин (растворять в едком натре) (мутный красноватый цвет), поглощается ряд отдельных полос спектра; 8) хлорофилл (настойка молодых листьев крапивы в спирте) (зеленый цвет), поглощаются оба конца спектра.

При наблюдении через спектроскоп видны не только целые полосы поглощения, но и отдельные линии.

Случай 3. Газы или пары. В этом случае можно привести два примера. В колбу кладут несколько крупинок твердого иода и колбу подогревают, тогда иод испаряется, и колба наполняется лиловыми парами иода. Колбу помещают перед щелью спектроскопа и наблюдают спектр поглощения паров иода (поглощается ряд полос в средней части спектра). Наблюдению мешают шарообразная форма колбы и частички твердого иода, оседающие на стенках колбы.

Второй пример представляет собой пары воды в воздухе. Перед дождем в спектре Солнца появляются полосы поглощения, вызванные парами воды. Эти полосы лежат, главным образом, около фраунгоферовой линии *C*, а также близ и между линий *D*.

Случай 4. Спектр поглощения натрия. Опыт имеет целью показать обращение линии натрия и заключается в следующем: при помощи источника белого света получают на экране сплошной спектр и затем на пути лучей помещают пары натрия, которые поглощают желтые лучи, поэтому на их месте в спектре видна черная линия (черной она кажется по контрасту с соседними местами спектра). Этот опыт имеет важное методическое значение, так как доказывает основной закон Кирхгофа относительно излучения и поглощения, поэтому весьма желательно этот опыт показать учащимся, несмотря на то, что опыт сравнительно капризный и во всяком случае требует предварительной пробы и практики.

Чтобы можно было рассчитывать на успех, необходимо выполнить определенные условия:

Получение яркого, устойчивого, чистого, широкого сплошного спектра — первое условие. Чтобы придать проектируемому спектру требуемые качества, необходимо:

1) В качестве источника белого света взять вольтову дугу довольно значительной мощности (не поскупиться на силу тока, доведя ее до 20—30 и более ампер). Весьма важно, чтобы дуга горела возможно более устойчиво и не перескакивала с места на место, особенно не заходила на заднюю сторону углей. Для увеличения устойчивости полезно взять главный уголь (т. е. обращенный своим раскаленным концом к конденсору и дающий самый яркий пучок света) с фитилем, состоящим из поваренной соли. При таком угле в сплошном спектре будет ясно выделяться желтая линия натрия.

Чтобы получить совершенно устойчивый спектр, надо в качестве источника белого света взять кинопроекторную калильную лампу (не менее 300 *вт*). Такие лампы обычно работают с перекалом; если этого нет, то надо перекал создать искусственно, например, включая 110-вольтовую лампу под напряжение в 120 *в*.

2) Для получения чистого спектра, надо применить узкую раздвижную щель, подбирая на опыте ее ширину так, чтобы очень малой шириной не слишком ослабить яркость спектра, а очень большой шириной не нарушить чистоту спектра. Щель должна быть хорошая, т. е. с ровными и параллельными краями.

3) Призма должна давать возможно более сильное светорассеивание, иначе опыт не удастся. Всего лучше применить призму прямого зрения, состоящую из 3 или даже из 5 призм. Можно применить дифракционную решетку.

Следующие условия касаются тела, поглощающего лучи т. е., паров натрия. При производстве опыта необходимо:

1) Для получения паров натрия применять исключительно металлический натрий (хранится в керосине). Голыми руками натрий отнюдь не брать; из банки, где натрий лежит в керосине, достают кусок натрия или щипцами, или накалыванием на тонкую стеклянную палочку с острым концом или на трубочку. На железной пластинке от куска натрия перочинным ножиком отрезают один или несколько кусочков общим объемом не менее 0,5 *см*³, лучше около 1 *см*³ (размером в 2—3 горошины). Если натрий хранился долгое время, то он обычно обрастает коркой. Эту корку надо срезать ножом до получения металлической блестящей поверхности. При резке натрия его кусок надо придерживать пинцетом или щипцами или стеклянной палочкой. Отрезанные кусочки натрия кладут в специальную металлическую (железную) ложечку (рис. 539) (или чашечку на ручке). Остальной натрий немедленно возвращают в банку с керосином. Натрий сжигается в специальном металлическом (железном) футляре (цилиндр *A* на рисунке 540). Чтобы ложку не держать все время в руках, полезно на ее ручке сделать особый крючок, при помощи которого ложечку можно повесить на верхнем крае футляра. Ложечку с натрием нагревают снизу при помощи горелки — спиртовой или газовой. Сперва натрий плавится (при температуре 98° *C*), затем закипает (при 380° *C*), выделяя обильные пары желтого цвета, и в конце концов загорается.

2) Температура паров натрия должна быть возможно ниже по сравнению с температурой источника белого света (вольтовой дуги или калильной электролампы). Однако понижению температуры паров поставлен предел, зависящий от температуры горелки и от температуры горения натрия. Чтобы понизить температуру паров уже после их образования, служит тот металлический цилиндр (рис. 540), в котором их получают, или (по Абрагаму) металлическая сетка (рис. 541), или особые металлические полоски, вдоль которых поднимаются пары.



Рис. 539.
Ложка для сжигания натрия.

Сообразно со всем этим металлический футляр для паров делают достаточно массивным.

3) Пучок белого света на своем пути (между щелью и объективом) должен целиком пройти через пары натрия. В этом заключается одно из самых главных условий успеха всего опыта. В случае невы-

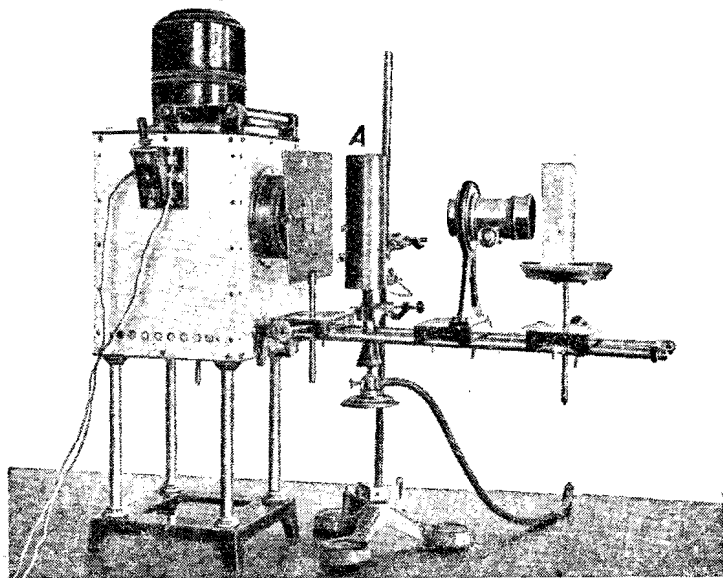


Рис. 540 Установка для обращения линии натрия.

полнения этого условия опыт обращения линии натрия наверняка не удастся. Надо особенно внимательно следить, чтобы лучи света от источника белого света отнюдь не прошли на экран помимо паров натрия. По этой причине те щели в футляре, через которые проходит пучок белого света, надо делать узкими—шириной около 3—4 мм. Пары должны заполнять собой всю внутреннюю полость футляра.

Общий вид установки представлен на рисунке 540. Жестяной цилиндр А имеет две пары отверстий. Одна пара отверстий служит для пропуска лучей света; размер отверстий указан выше; вторая пара отверстий делается немного ниже первой и предназначена для ввода ложки с натрием и для наблюдения за его горением; обе пары отверстий расположены в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях. Вторая пара отверстий не нужна, если ложка с натрием вносится в футляр сверху и вешается на его край.

После опыта ложку надо прогреть на горелке, чтобы испарился до конца весь натрий. После этого нужно соскоблить весь осадок и затем тщательно вымыть водой. Расплавленный натрий иногда заликает горелку, поэтому ее надо после опыта осмотреть и в случае надобности хорошо вычистить.

Случай 5. Спектр Солнца. Продемонстрировать спектр Солнца—это означает показать учащимся фраунгоферовы темные линии

в спектре Солнца. Для этого необходимо иметь спектроскоп (хотя бы карманный, но со щелью, имеющей ровные края). Спектроскоп наводится на какой-нибудь белый предмет, освещенный Солнцем, или на небесный свод (отнюдь не на самое Солнце). Чтобы увидеть фраунгоферовы линии, надо суживать щель, насколько это возможно (при очень узкой щели возникают дифракционные явления, а также появляются от неровностей краев черные полосы поперек щели). Расположение главных из фраунгоферовых линий изображено на рисунках 496 и 535.

Если приходится наблюдать спектр Солнца с одной призмой (без спектроскопа), то берут стеклянную полированную спицу и освещают ее лучами Солнца, тогда вдоль спицы видна яркая линия, которую и рассматривают сквозь призму.

5*. Спектральный анализ. Спектроскоп. 2) Горелка (газовая или спиртовая). 3) Растворы солей в пробирках (на стойке) с фитилями. 4) Одна-две пробирки с неизвестным раствором. 5) Трубки Плукеера. 6) Небольшая катушка Румкорта. 7) Аккумулятор. 8) Штативы. 9) Неоновые лампы. 10) Источник тока.

Учащимся даются водные растворы солей бария, калия, кальция, лития, натрия, стронция и несколько растворов, имеющих неизвестный (для учащихся) состав. Этот состав можно подобрать так: 1) калий и кальций; 2) кальций, литий и стронций; 3) барий, кальций и стронций; 4) барий, калий, кальций и литий. Учащиеся должны просмотреть спектры 6 данных веществ и записать цвет и относительную яркость (деля линии на очень яркие и слабые) спектральных линий. Если спектроскоп снабжен шкалой, то записываются и отсчеты шкалы для всех линий. Затем исследуются спектры неизвестных растворов и определяется их состав.

При наблюдении карманный спектроскоп лучше укреплять в штативе. Горелка ставится на расстоянии 2—3 см от щели. Преподаватель должен внимательно следить, чтобы учащиеся не подносили горелку слишком близко к щели; иногда учащиеся щель вдвигают в самое пламя.

При помощи трубок Плукеера знакомят учащихся со спектрами водорода и кислорода и затем дают исследовать трубку с водяным паром.

Можно предоставить для наблюдения несколько неоновых ламп и получить анализ газа в лампах на основании таблиц спектров. Можно расширить и углубить лабораторную работу со спектрами, включив в нее градуировку шкалы спектроскопа (§ 54, 7).

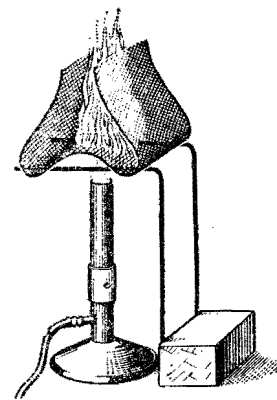


Рис. 541. Получение паров натрия по Абрагаму.

ФИЗИЧЕСКАЯ ОПТИКА.

§ 56. Интерференция.

Явления интерференции и дифракции света очень легко наблюдаются индивидуально и довольно трудно проектируются на экран, так как требуют мощных источников света.

1. Зеркала Френеля. Кусок хорошего зеркального стекла (4 см × 8 см, можно и меньше) при помощи алмаза разрезают пополам и вновь складывают так же, как было до разрезания, т. е. следят за тем, чтобы не повернуть одной части стекла на 180° по отношению к другой.



Рис. 542. Выравнивание зеркал Френеля.



Рис. 543. Образование угла между зеркалами Френеля.

Осматривают внимательно линии разреза с обеих сторон. Ту сторону стекла, на которой эта линия хуже (где больше зазубрин) закрашивают черной краской. Когда краска совершенно высохнет, кладут краской вниз обе половины стекла (зеркала Френеля) на кусок стекла — подкладку (можно дерево), несколько больших размеров, покрытый слоем мягкого воска. Чтобы получить мягкий воск, нужно его слегка нагреть, но отнюдь не расплавлять.

На зеркала (рис. 542) кладут еще один кусок зеркального стекла и при его помощи довольно сильно нажимают.

Если воск был достаточно мягкий, то легко добиться того, чтобы отражающие поверхности зеркал лежали в одной плоскости. Важно, чтобы между зеркалами не попал воск и тем самым не отодвинул одного зеркала от другого. Если это случилось, необходимо зеркала снять, считать с них воск и уложить вновь. Если зеркала не разошлись, подвергают их дальнейшему исследованию — проверяют, что их отражающие поверхности лежат в одной плоскости. Для этого рассматривают в зеркала переплет достаточно удаленной оконной рамы. Если при этом (при различных положениях зеркал) отдельные части рамы, видимые около линии раздела зеркал, будут оставаться прямыми, — значит желательная установка достигнута.

Теперь остается задача образовать между зеркалами угол около 178—179°. Для этого на линию раздела, как раз посередине, кладут покровное стекло ¹⁾ (12 мм × 12 мм) и при помощи стекла опять сильно нажимают (рис. 543). Тогда средняя часть еще немного уходит

¹⁾ Вместо покровного стекла можно взять очень тонкую проволоку. Однако здесь имеется опасность ею раздвинуть зеркала.

вниз и зеркала образуют угол, очень близкий к 180°. Чем меньше покровное стекло, тем ближе к двум прямым будет угол между зеркалами. Линия пересечения отражающих поверхностей должна совпасть с линией соединения зеркал.

Убеждаются в этом, рассматривая оконный переплет при помощи зеркал, расположенных так, чтобы линия соединения их была горизонтальна и параллельна горизонтальным частям оконного переплета. При рассмотрении горизонтальных линий (частей оконного переплета) должны получиться два параллельных, близких друг к другу изображения. При рассмотрении вертикальных линий изображения в обоих зеркалах должны лежать на одной прямой. Если этого нет, можно, осторожно нажимая пальцем на то или другое зеркало, подправить.

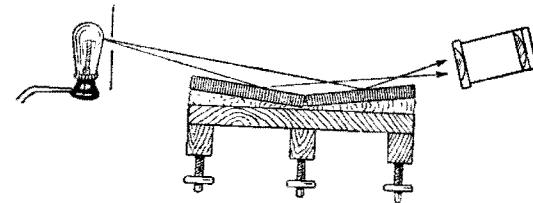


Рис. 544. Схема установки для наблюдения интерференции.

Вместо зеркал, зачерненных с задней стороны, можно взять зеркала посеребренные с передней стороны. Для опытов они будут значительно удобнее, для установки же представят ряд затруднений, так как зеркальный слой очень легко стирается.

Самое наблюдение производится так.

В качестве источника света берут щель, за которой поставлен источник света. Таковым может быть: 1) Солнце; 2) вольтова дуга; 3) 12-вольтовая однонитная лампа (рис. 165); 4) обычная лампа накаливания, волосок которой расположен параллельно щели; 5) ацетиленовая горелка; 6) спиртовка с фитилем, посыпанным содой (там, где нет ни одного из перечисленных источников). Таким образом, в последнем случае приходится отказаться от наблюдения явления в белом свете.

На расстоянии около 1 м от щели помещают зеркала Френеля и устанавливают их при помощи клиньев или столика с уравнительными винтами (рис. 544) так, чтобы линия соединения была параллельна щели. Если зеркала зачернены с задней стороны, то нужно воспользоваться почти скользким падением. Если зеркала посеребрены с передней стороны — угол падения безразличен.

Помещают глаз непосредственно у края зеркал на такой высоте, чтобы видеть два изображения щели. Эти изображения должны казаться на расстоянии 2—3 мм одно от другого. Найдя это положение, вооружаются лупой или (что гораздо лучше) окуляром от микроскопа и рассматривают линию соединения зеркал. Отдвигая постепенно лупу (окуляр), находят такое ее положение, при котором лучше всего видны полосы. Если зеркала стоят на расстоянии 1 м от щели, то наилучшим расстоянием лупы от зеркал окажется 20—30 см.

Если пользуются окуляром, то глаз нужно придвинуть почти вплотную к глазной линзе; если пользуются лупой, то глаз надо расположить в таком месте, чтобы вся лупа казалась освещенной.

Чем угол между зеркалами ближе к 180° , тем ближе друг к другу изображения щелей, тем шире интерференционные полосы и тем их больше.

Чем дальше окуляр от зеркал, тем полосы шире, но вместе с тем полосы становятся менее резкими, а потому труднее наблюдаемыми.

2. Полосы Ллойда. Вместо двух зеркал можно воспользоваться одним (рис. 545). При совершенно скользком падении лучей, идущих



Рис. 545. Зеркало Ллойда.

от щели, можно зеркало установить так, что сама щель, видимая непосредственно, и ее изображение в плоском зеркале будут находиться на сколь угодно малом расстоянии. Добившись того, чтобы это расстояние не превышало $1-2$ мм, можно наблюдать так же, как и с двумя зеркалами Френеля, полосы интерференции. Наблюдаемая при этом картина будет несимметричной.

3. Бипризма Френеля. Бипризма представляет собой (рис. 546) как бы две призмы, сложенные основаниями. Преломляющие углы

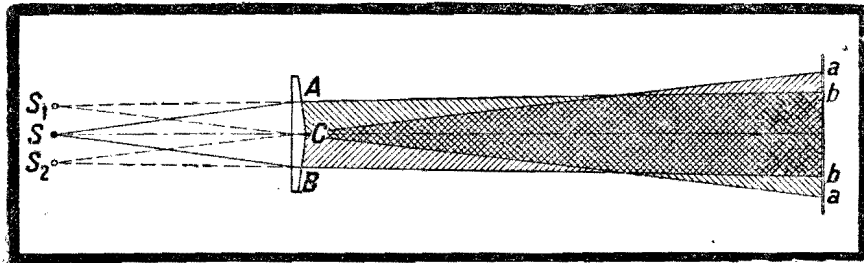


Рис. 546. Бипризма Френеля.

призм очень малы, а поэтому угол ACB очень близок к 180° . Если в S поместить источник света, то после прохождения через бипризму получатся два, слегка налагающиеся друг на друга пучка света и будет наблюдаться интерференция. Для наблюдения хорошо взять расстояние от источника света—щели—до бипризмы около 1 м. Установив вначале окуляр на видимость ребра C , постепенно его отодвигают и находят такое положение, где видимость наилучшая.

4. Билинза. Разрезают линзу пополам и половинки несколько раздвигают. Поместив перед такой билинзой освещенную щель, за линзой получают два изображения ее, слегка раздвинутые. Пучки лучей (рис. 547), дающие эти изображения, далее частично накладываются

друг на друга и интерферируют. Наблюдение производится тоже при помощи окуляра так же, как и в предыдущих случаях.

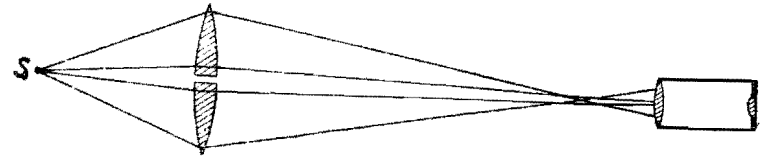


Рис. 547. Билинза.

5. Получение тонких пленок.

1) Мыльный пузырь. Из мыльной воды выдувают мыльный пузырь. Чем больше пузырь раздувается, тем тоньше становятся его стенки.

2) Мыльная пленка. Опускают в мыльный раствор проволочное кольцо на ручке и вынимают из раствора. Кольцо оказывается затянутое тонкой мыльной пленкой. Если такую пленку держать вертикально, то с нее постепенно стекает жидкость, и пленка становится в верхней части все тоньше и тоньше и принимает клиновидную форму с утолщением внизу.

3) Целлулоидная пленка. Небольшое количество отмытой от фотографического слоя киноплёнки (негатив на пленке тоже прилагается) режется на мелкие куски, опускается в бутылку и заливается амиллацетатом. В таком виде (конечно, бутылка плотно закупорена) оставляют на $2-3$ шестидневки для получения своеобразной настоек—раствор № 1 (на 100 см³ амиллацетата можно взять киноплёнку длиной 20 см, т. е. 10 кадров). Содержимое бутылки не взбалтывать. По прошествии указанного срока пипеткой осторожно, чтобы не взболтать, отбирают сверху 10 см³ раствора, переносят в чистую бутылку и разбавляют раза в три чистым амиллацетатом. Раствор готов (раствор № 2).

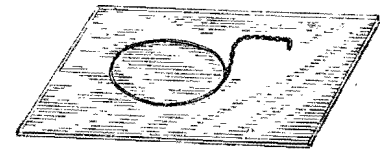


Рис. 548. Проволочная петля для образования тонкой пленки.

Тщательно моют кусок стекла (9 см \times 12 см) и поливают его полученным раствором № 2, давая избытку стечь назад в склянку. После испарения амиллацетата на стекле останется тонкая целлулоидная пленка. Если желательно получить пленку везде почти одинаковой толщины, надо сушить ее в горизонтальном положении. Если ее сушат в вертикальном положении, то пленка сверху будет тоньше, чем внизу. Для того чтобы эту пленку отделить от стекла, поступают так. Изготавливают проволочное кольцо с ручкой (рис. 548). В месте разрыва кольцо спаивают, стараясь оставить как можно меньше припоя. Весьма тщательно выправляют с тем расчетом, чтобы все кольцо лежало точно в одной плоскости. Слегка загибают вверх конец ручки, еще раз проверяют кольцо на зеркальном стекле и сглаживают последние неровности. Выпрямление кольца—одна из самых ответственных задач.

Тщательно выпрямленное кольцо помещают на стекло с пленкой и приклеивают к ней. Клей готовят так: берут пипеткой почти со дна 10 см³ раствора № 1, разбавляют таким же количеством чистого амилацетата и размешивают—это будет наш клей. Клея, как всегда, надо брать минимальное количество. Дают клею высохнуть. Конечно, намазывают клеем только кольцо.

Процарапывают кончиком ножа с внешней стороны кольца слой пленки и опускают в воду. Ванну лучше брать с черным дном (можно на дно положить кусок черной бумаги). Глубина погружения желательна большая, чем радиус кольца; чем мельче ванна, тем труднее вынимать пленку.

Если следить за пленкой, освещая ее косыми лучами, то легко заметить, как постепенно вода проникает в пространство между пленкой и стеклом. Те места, куда проникла вода, в отраженном свете резко выделяются. Если вода проникает очень медленно, можно процесс ускорить, слегка приподнимая ручку (на доли миллиметра). Когда вода проникнет под всю пленку, начинают очень осторожно и медленно ее вынимать из воды. Если бы на пленке осталась капля воды, она неминуемо порвала бы пленку, а потому надо кольцо поворачивать так, чтобы в последний момент вынимания оно оказалось в вертикальном положении.

Таким образом, у нас окажется на кольце твердая, целлулоидная пленка толщиной менее 0,01 мм. Само собой разумеется, что такая пленка требует очень осторожного обращения.

О толщине пленки судят по ее цвету. Бесцветная пленка очень толста—негодна. Чем тоньше пленка, тем больше она переливается цветами с короткой длиной волны.

Если получилась пленка бесцветная или богатая красными тонами, можно раствор № 2 разбавить еще чистым амилацетатом и из нового раствора изготовить новую более тонкую пленку.

4) Масляная пленка. Наливают в черную фотографическую ванночку воды. Если нет черной ванночки, можно взять: 1) кристаллизатор и подложить под него черную бумагу (материю); 2) фарфоровую или эмалированную ванночку и положить на дно кусок черной бумаги. На поверхность воды помещают каплю масла. Капля растекается, и получается тонкая пленка.

Успех зависит от величины капли,—она должна быть очень мала. Чтобы получить маленькую каплю, нужно острие иглки погрузить в жидкость, из которой желательно получить пленку, на глубину 0,5—1 мм и этой слегка смоченной иглой коснуться воды.

Хорошие пленки дают скипидар, вазелиновое масло, легкие смазочные масла. Керосин и нефть дают результаты несколько хуже.

5) Стеклопленка. В пламени паяльной горелки нагревают конец стеклянной трубки, дают ему заплываться и возможно сильно разогревают получившийся наплыв стекла. Не вынимая трубки из пламени, сильно в нее дуют. Из стекла выдувается пузырь, напоминающий мыльный пузырь. Обычно такой пузырь уже в процессе выдувания лопается. Кусочки стекла, повисшие у того места, где пузырь лопнул, особенно тонки. Такой кусочек стекла удается наклеить на

небольшое ($d = 1-2$ см) проволочное кольцо. Для этого проволочное кольцо нагревают, проводят по нему менделеевской замазкой или воском и в горячем состоянии подводят под висящий кусочек стекла.

6. Цвета тонких пластинок. Любая из тонких пленок дает довольно резко выраженную картину в отраженном свете. Для наблюдения ее достаточно расположить тонкую пленку так, чтобы в глаз наблюдателя попадали лучи, вышедшие из источника света и отразившиеся от пленки. В белом свете легко наблюдается интерференция только в случае очень тонких пленок. Если пленка чуть потолще, в белом свете она уже ничего не дает, но, будучи освещенной монохроматическим светом, дает довольно резкую картину. Больше всего последнее замечание относится к стеклянным пленкам; их очень трудно выдуть столь тонкими, чтобы они переливались всеми цветами, т. е. чтобы давали интерференционную картину в белом свете.

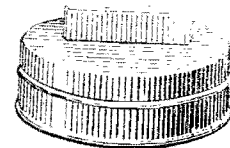


Рис. 549. Спиртовка с широким фитилем.

Необходимо тонкую пленку рассматривать под разными углами. С изменением угла падения будут меняться цвета.

Источник света должен быть широк. К таковым источникам света относятся: 1) облака; 2) лампы с абажурами молочного стекла; 3) широкие пучки света от проекционного фонаря; 4) спиртовка с плоским широким фитилем (рис. 549); 5) газовая горелка с расширенным при помощи насадки пламенем (рис. 550). Два последних источника хороши только тогда, когда пламя окрашено, лучше всего содой или поваренной солью.

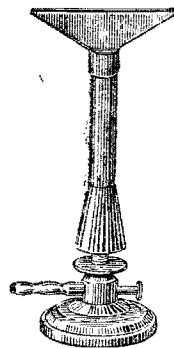


Рис. 550. Газовая горелка с вазодкой.

7. Ньютоны кольца. 1) В копирующую фотографическую рамку кладут чистое, отмытое от пленки стекло, соответствующее размерам рамки. На стекло кладут самое слабое очковое стекло, лучше всего +0,25, можно и +0,5 и +1,0 диоптрий (чем слабее, т. е. длиннофокусней стекло, тем лучше). Очковое стекло покрывают черной бумагой или материей и закрывают рамку. Чтобы при этом не раздавить плоского стекла, необходимо несколько ослабить пружины путем их разгибания. Между плоским и очковым стеклами появляются ньютоны кольца. Эта комбинация удобна для проектирования.

2) В копирующую фотографическую рамку помещают отмытое стекло, на него кладут темный негатив так ¹⁾, чтобы стекло пришлось к стеклу, и закрывают рамку. Весьма часто при этом получают ньютоны кольца неправильной формы. Если сразу колец не получилось, можно попробовать проложить где-нибудь между стеклами небольшой кусочек папиросной бумаги или просто перепробовать несколько негативов. Трудно, конечно, говорить что-либо определенное о стеклах, употребляемых для фотопленок, но во всяком случае

1) Стекла должны быть тщательно протерты.

они достаточно далеки от плоско-параллельных пластинок, во-первых, и легко деформируются, во-вторых. А потому при помощи нескольких проб почти всегда удается подобрать пару, дающую хорошо видимые кольца.

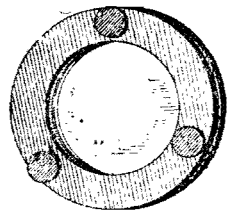


Рис. 551. Прибор для демонстрации кольца Ньютона.

Изменяя при помощи винтов степень нажима, можно изменять форму ньютоновых колец.

Иногда плоское стекло с наружной стороны закрашивают черной краской, тогда кольца лучше видны в отраженном свете, но зато их нельзя уже наблюдать в проходящем свете.

8. Демонстрирование ньютоновых колец. 1) Проекционный фонарь. 2) Один из ранее перечисленных приборов. 3) Два объектива (достаточна линза $F = 30$ см).

Придвигают (рис. 552) немного (по сравнению с нормальным) источник света к конденсору для того, чтобы получить несколько более удаленную точку схождения лучей, прошедших конденсор.

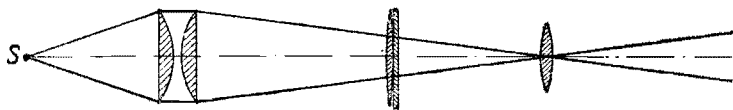


Рис. 552. Проектирование колец в проходящем свете.

На пути сходящихся лучей помещают ньютоновы кольца и далее располагают объектив. Объектив в данном случае лучше взять достаточно длиннофокусный. Таким образом, получают картину в проходящем свете.

Значительно ярче будет картина в отраженном свете. Для получения ее поворачивают несколько ньютоновы кольца (рис. 553), ставя их под углом к оси светового потока, и помещают второй длиннофокусный объектив в отраженный пучок. Неискаженная картина могла бы появиться лишь в том случае, если бы угол поворота равнялся 180° . Этого сделать нельзя, а потому приходится мириться с некоторыми искажениями, которые будут тем меньше, чем угол поворота ближе к 180° . Искажение, конечно, будет и в картине в проходящем свете. Для качественной демонстрации эти искажения особого значения не имеют.

При демонстрации полезно указать, что цвета, получающиеся от одного и того же места в отраженном свете, являются дополнительными к цветам, получающимся в проходящем свете. Полезно также

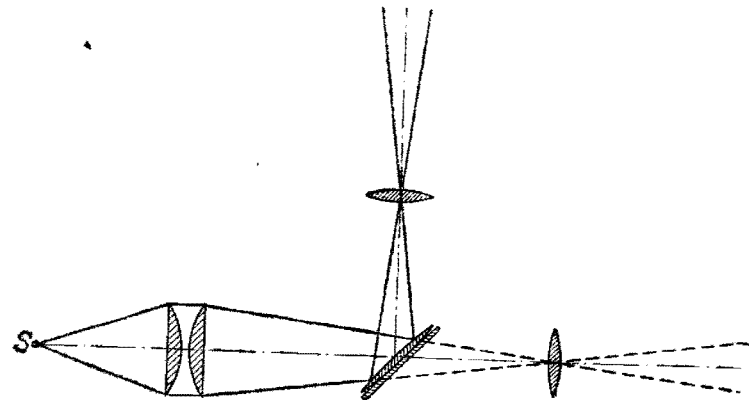


Рис. 553. Проектирование колец в отраженном и проходящем свете.

на пути лучей поместить сначала красный, а потом синий светофильтры и показать, что кольца различных цветов имеют различные радиусы. Для этой демонстрации лучше всего использовать копировальную рамку с очковым стеклом.

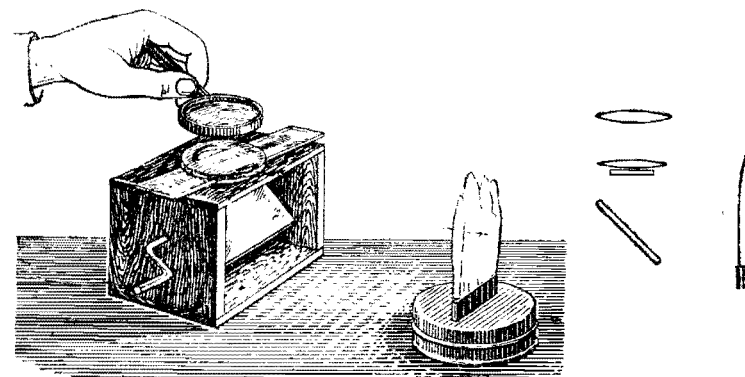


Рис. 554. Станочек для наблюдения колец Ньютона.

9*. Измерение ньютоновых колец.

1) Измерение диаметра колец Ньютона в проходящем свете.

1) Источник монохроматического света [спиртовая лампочка (рис. 549) с плоским, широким фитилем]; в спирт насыпается немного соды или поваренной соли. 2) Станочек (рис. 554). 3) Стекла пластинка с полумиллиметровыми делениями. 4) Лупа. 5) Линза ($+0,25$ до $+1$ диоптрий).

Необходимый для этой работы станочек представляет собой ящик ($l=b=h=5\text{ см}$) без передней и задней стенок (т. е. широкую рамку) с крышкой, в которой высверлено широкое отверстие. Через середины боковых сторон пропущена ось, на которую наклеено зеркало (лучше черное). На крышку кладется стекло с делениями, а на стекло — линза. При помощи зеркала свет от источника направляется вверх. Кольца получаются на фоне пламени спиртовки, поэтому-то и нужно широкое пламя. Получающиеся кольца рассматриваются через лупу. Одновременно с кольцами видны и деления линейки, значит, может быть определен диаметр колец.

2) Измерение диаметра колец в отраженном свете.

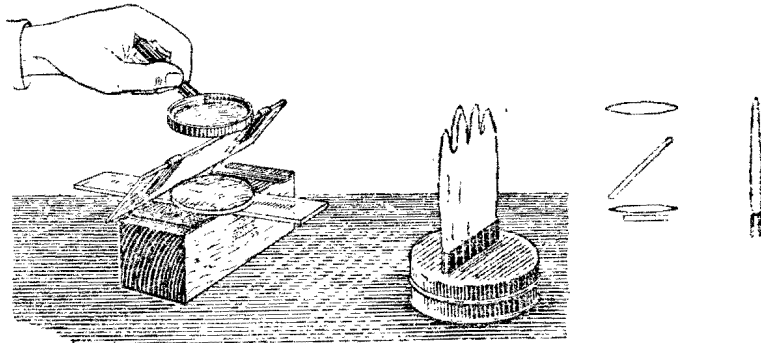


Рис. 555. Наблюдение колец Ньютона в отраженном свете.

1) Источник монохроматического света. 2) Подставка. 3) Пластина с делениями. 4) Линза (+0,25 до +1,0 диоптрий). 5) Лупа. 6) Стеклопластина на подставках (рис. 555).

Кладут на подставку кусок черной бумаги, на нее кладут пластинку с делениями, на пластинку — линзу. Выше располагают стеклянную пластинку на подставках так, чтобы лучи света, идущие от источника, отразились от нее вниз, т. е. примерно под углом 45° к горизонту (рис. 555). Присутствие отражающей пластинки не мешает наблюдению колец Ньютона, которые в этом случае даже будут значительно ярче.

3) Измерение диаметра колец Ньютона под микроскопом.

1) Микроскоп. 2) Стеклянная пластинка с полумиллиметровыми делениями или окулярный и объективный микромеры. 3) Выпуклое стекло. 4) Спиртовая лампочка.

Если нужно определить диаметр колец, даваемых линзой с малым радиусом кривизны, то увеличения, даваемого лупой, окажется уже недостаточно — придется использовать микроскоп с небольшим увеличением. В зависимости от взятого увеличения, т. е. от того, насколько нужно будет опустить объектив (§ 42,5), пользуются одним из способов освещения, описанных в § 42, пп. 1 и 2. В том случае, когда пользуются полумиллиметровой шкалой, деления и кольца по-прежнему видны одновременно, а, значит, отсчет диаметра производится

непосредственно. Когда же пользуются окулярной шкалой, то приходится дополнительно находить цену деления ее (§ 42,8).

Примечание. Если для данной линзы определены диаметры хотя бы двух колец, то по ним легко находится радиус кривизны R , если известна длина волны λ падавшего света. Пусть r_1 есть радиус n -го кольца, а r_2 — радиус m -го кольца; тогда

$$R = \frac{r_2^2 - r_1^2}{(m - n)\lambda}.$$

Конечно, можно и наоборот, искать λ , зная R . Об определении R см. т. II, § 5,5.

10. Получение широких колец. Чтобы не исказить картины колец, в особенности при измерениях их диаметра, нужно было бы их рассматривать по перпендикуляру к той плоскости, где получились кольца.

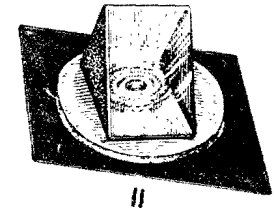
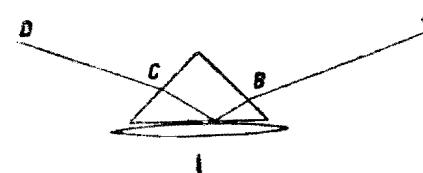


Рис. 556. Широкие кольца.

При косом падении света кольца получались бы значительно шире. В этом смысле предельный случай (т. е. самое косое падение) получится, если использовать призму полного внутреннего отражения. Кладут на черном фоне линзу и на нее ставят призму полного внутреннего отражения. Если по направлению AB (рис. 556, I) будет падать свет, то на нижней грани он будет частично выходить в почти горизонтальном направлении, испытывать отражение от линзы, опять входить в призму и окончательно выходить в направлении CD . Поэтому, если смотреть вдоль DC , то будут видны широкие кольца (рис. 556, II). Наблюдение их одинаково хорошо удастся как в белом, так и в монохроматическом свете.

§ 57. Дифракция.

1. Узкая щель.

1) Изготовление щели.

а) Засвеченную фотопластинку сильно проявляют и фиксируют так, чтобы получить непрозрачный слой. Промывают и сушат.

На высохшей пластинке по хорошей линейке проводят черту новым лезвием безопасной бритвы. Получается очень узкая щель, шириной около $0,02$ — $0,05$ мм. Нажимать лезвием бритвы приходится довольно сильно.

Если лезвие взять старое, ширина щели увеличивается. Перочинный нож даст еще более широкую щель.

б) Так же хорошо лезвием бритвы вырезается щель в станиоле, наклеенном на стекле.

в) Раздвижная щель — см. рисунок 176.

2) Опыты со щелью.

а) 1) Щель. 2) Источник света, лучше всего однонитная 12-вольтовая лампочка (рис. 165).

Располагают щель параллельно нити лампочки и непосредственно через нее смотрят на нить. В каждую сторону от средней белой

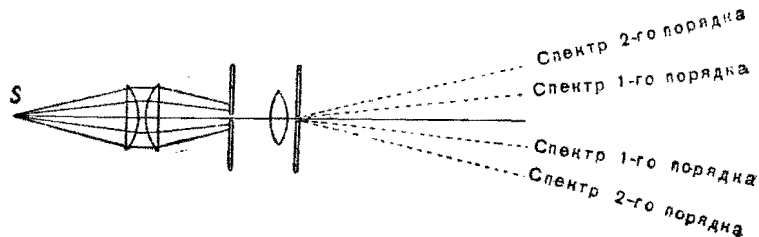


Рис. 557. Дифракция от щели.

полосы легко наблюдать 5—6 световых полос, ширина которых зависит от ширины щели. Чем уже щель, тем шире полосы.

б) 1) Фонарь. 2) Раздвижная щель. 3) Щель.

Проектируют при помощи фонаря раздвижную щель на экран. В данном случае, чтобы щель оказалась сильнее освещенной, ее полезно поместить на некотором расстоянии от конденсора. Отодвигать щель от конденсора можно до тех пор, пока средняя наиболее яркая, неокрашенная часть светового пучка все еще покрывает всю щель; однако щель нельзя ставить в самом узком месте пучка. Ширину щели берут около 1 мм. Непосредственно за объективом (рис. 557) помещают вторую щель, сделанную в проявленной фотопластинке или станиоле. Получается дифракционная картина, которую следует наблюдать при помощи просвечивающего экрана.

2. Две щели. 1) Пластика с двумя щелями. 2) Трансформатор. 3) 12-вольтовая однонитная лампа.

Для изготовления двух щелей на очень небольшом расстоянии друг от друга берут сильно зачерненную фотопластинку и на ней прорезают при помощи сложенных вместе двух лезвий безопасной бритвы сразу две щели. Так как толщина бритв — около 0,15 мм, то и расстояние между щелями получается порядка 0,2 мм. Располагают пластинку непосредственно около глаза так, чтобы щели оказались параллельными нити лампочки, и наблюдают картину (конечно, таким же образом можно наблюдать и картину, даваемую одной щелью). Средняя часть картины — интерференционные полосы от двух щелей. По бокам от них идут дифракционные спектры.

Ширина интерференционных полос, их число, ширина дифракционных спектров, — все это зависит как от ширины щелей, так и от расстояния между щелями. Чем ближе щели друг к другу, тем шире интерференционные полосы. Чем уже щели, тем шире дифракционные спектры, однако последние зависят и от расстояния между щелями.

Если нет однонитной 12-вольтовой лампочки, в качестве источника света приходится воспользоваться щелью, освещенной сзади каким-либо сильным источником света.

3. Дифракционная решетка.

1) Проектирование.

1) Проекционный фонарь. 2) Щель. 3) Дифракционная решетка.

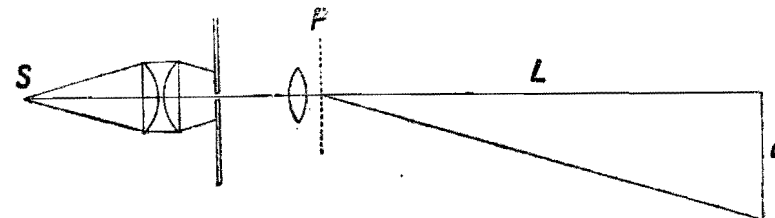


Рис. 558. Определение длины волны при демонстрации дифракции от решетки.

Располагают щель в узком месте пучка, даваемого конденсором, и проектируют ее на экран. Непосредственно за объективом помещают дифракционную решетку. На экране появляется ряд спектров, расположенных по обе стороны от центральной светлой полосы (изображения щели). Число спектров и их ширина зависят от периода решетки.

Если известен период решетки a (его можно измерить при помощи микроскопа, см. § 42, 8), то можно определять длины волн любого цвета. Для этого измеряют расстояние L между решеткой и экраном и расстояние d между данным цветом в том или другом спектре и средней светлой полосой (рис. 558). Пусть расстояние d измерено до данного цвета в спектре n -го порядка (соседние с центральной светлой полосой спектры являются спектрами первого порядка, за ними идут спектры второго порядка и т. д.). Расчет ведется по формуле:

$$\lambda = \frac{a \sin \varphi}{n}.$$

Угол φ определяется из соотношения $\operatorname{tg} \varphi = \frac{d}{L}$.

Такой расчет не может дать очень точный результат, он дает лишь порядок величин.

2)* Определение длины волны.

1) Решетка. 2) Источник монохроматического света (спиртовка). 3) Тонкая палочка. 4) Линейка. 5) Рулетка.

Зажигают спиртовку, предварительно посыпав на фитиль соды или поваренной соли. Наблюдение ведут вдвоем. Один остается у спиртовки,

другой с дифракционной решеткой отходит на сколько возможно дальше и смотрит на спиртовку непосредственно через решетку, держа ее у глаза.

Оставшийся у спиртовки медленно перемещает палочку вдоль линии, перпендикулярной к линии, соединяющей спиртовку и решетку, т. е.

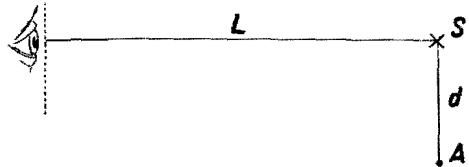


Рис. 559. К определению длины волны при помощи дифракционной решетки.

к лучу. Палочка должна быть параллельна штрихам решетки, т. е. вертикальна. Смотрящий в решетку дает команду „остановись“, когда палочка совпадает с замеченным изображением пламени (так как свет монохроматический, то весь спектр сводится к одной желтой полосе, т. е. к изображению пламени). Промеверяются (рис. 559) линейкой расстояние d между спиртовкой и палочкой и рулеткой, расстояние L между спиртовкой и решеткой. Тогда $\operatorname{tg} \varphi = \frac{d}{L}$ и $\lambda = \frac{a \sin \varphi}{n}$, где a — период решетки и n — порядок спектра.

3) Гониометр. Разумеется, только что изложенный способ измерения угла φ является упрощенным до крайних пределов. Можно произвести измерение угла φ и более точно при помощи угломерного

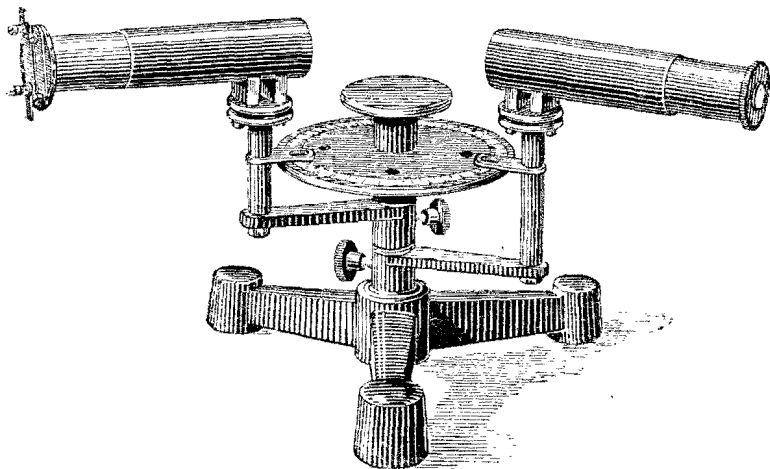


Рис. 560. Гониометр.

инструмента — гониометра (рис. 560). Так как гониометры предназначены для точных измерений в высших учебных заведениях, то на их описании мы не останавливаемся, а дадим описание самодельного простого гониометра, приспособленного специально для дифракционной решетки.

Берут детский деревянный обруч для катания, разрезают пополам и сгибают по дуге, радиус которой равен 28,6 см. Так как вполне

достаточно полукруга, то длина дуги — полукруга — окажется равной $\pi r = 3,14 \cdot 28,6 = 90$ см, т. е. на каждый угловой градус придется 0,5 см. Если взять дугу радиуса 14,3 см, то на каждый градус придется 0,25 см дуги. Тот или иной полукруг закрепляют на подставке (рис. 561).

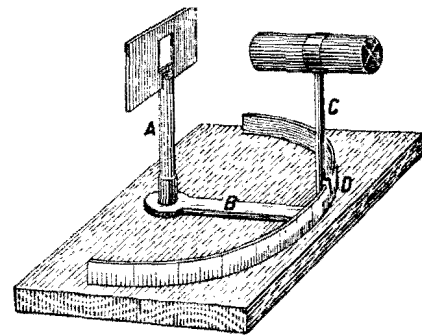


Рис. 561. Самодельный гониометр.

В центре полукруга укрепляют стойку А. Внизу на стойку надевают деревянную планку В так, чтобы она могла вращаться вокруг стойки А. На другом конце планки укрепляется стойка С и указатель D. На стойке А устанавливается дифракционная решетка. На стойке С — диоптр, состоящий из картонной трубки с двумя крестами нитей в начале трубки и в конце ее. Диоптр на стойке должен быть так установлен, чтобы он был точно направлен на ось (центр) полукруга. Дифракционная решетка освещается пучком лучей, прошедших через щель. Ось этого пучка должна делить полукруг на равные части. Перемещают диоптр до тех пор, пока не будет видна та или другая линия спектра нужного порядка, и производят отсчет угла.

4. Тень от тонкой проволоки. 1) 12-вольтовая однонитная лампа. 2) Матовое стекло или экранчик из папиросной бумаги. 3) Проволочки, натянутые в рамках (рис. 562). 4) Луна.

Вырезают из картона прямоугольники (9 см × 12 см) и делают в них круглые отверстия. В этих отверстиях натягивают проволоки различной толщины, начиная от 2 мм до 0,1 мм, или приклеивают иголку, или натягивают две проволоки рядом и т. д. Устанавливают лампочку и проволоки параллельно друг другу на расстоянии 1—2 м. На расстоянии тоже 1—2 м от экранчика с проволоками помещают просвечивающий экран и, расположившись за ним, рассматривают через луну получающиеся тени. Чем больше взяты расстояния, тем более резкие картины будут получаться.

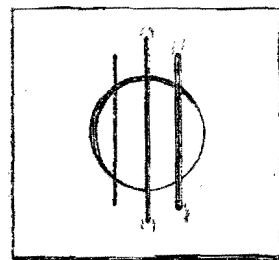


Рис. 562. Пластинки с объектами, дающими тень.

5. Венцы. Берут чистую стеклянную пластину, дышат на нее, чтобы она запотела, и обсыпают через мелкое сито ликоподием (споры семени плауна; употребляется в качестве детской присыпки). Излишек ссыпается. Обсыпанную пластинку покрывают другой такой же пластинкой и кругом склеивают бумажной лентой, так же как это делается с диапозитивами.

Чтобы защитное стекло не стерло ликоподия, по краям, между стеклами, полезно проложить тонкую бумагу. Если теперь смотреть

через такую пластинку на удаленный источник света, приблизив ее непосредственно к глазу, будут отчетливо видны венцы. Для лучшей видимости источник света следует поместить на фоне большого черного (темного) поля, например на фоне классной доски.

Вокруг Луны часто видны венцы, образованные тонким слоем облаков.

Между размерами венца и частиц, в слое которых наблюдается венец, существует связь, выражаемая формулой Экснера:

$$d = \frac{0,00057}{\sin r} (n + 0,22),$$

где d — диаметр частиц в миллиметрах, n — номер измеряемого венца, r — угловой радиус наружного красного края измеряемого венца в градусных мерах.

Измерение углового радиуса венца производится приемом, изложенным выше по отношению к дифракционной решетке (рис. 559). Для определения диаметра частиц по угловому радиусу венца служит следующая таблица:

Угловой радиус венца	Диаметр частиц в миллиметрах		
	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$
30'	0,080	0,145	0,210
1°	0,040	0,072	0,105
1° 30'	0,027	0,048	0,070
2°	0,020	0,036	0,053
2° 30'	0,016	0,029	0,042
3°	0,013	0,024	0,035
3° 30'	0,011	0,021	0,031
4°	0,010	0,018	0,026
4° 30'	0,009	0,016	0,023
5°	0,008	0,015	0,021
5° 30'	0,007	0,013	0,019

6. Наблюдение дифракции без приборов. 1) Кусок батиста. 2) Птичье перья. 3) Тонкие металлические сетки. 4) Обыкновенная лампа.

Помещают лампу на темном фоне возможно дальше и рассматривают ее через любые предметы, имеющие строение сетки из тонких ниток, проволочек и т. д. Конечно, сетка должна иметь при этом очень небольшие отверстия. Все такие предметы дают резко выраженные дифракционные картины. Особенно тонкой структурой отличаются птичье перья, почему и картины дифракции, наблюдаемые через них, особенно красочны.

Также не бесполезно рассмотреть картину, получающуюся, если на лампочку смотреть через стекло, на котором „грязным“ пальцем сделан мазок (палец можно слегка смазать краской, мылом, шоколадом).

7. Радуга.

1. Искусственная радуга. 1) Проекционный фонарь. 2) Колба с водой.

Оставляют в фонаре одну линзу конденсора и получают таким образом почти параллельный пучок света. На пути этого пучка ставят круглодонную колбу с водой. Часть лучей, вошедших в воду, испытывает внутреннее отражение и выйдет из колбы примерно под углом 41° к падающему пучку. Так как колба вполне симметрична по отношению к падающему пучку, то правильнее сказать, что лучи, претерпевшие полное внутреннее отражение, дадут пучок лучей в виде конической поверхности с углом около 82° . Так как лучи различных цветов преломляются по-разному, то для них и углы отклонения будут различны. Для красных лучей угол будет составлять около 42° , для

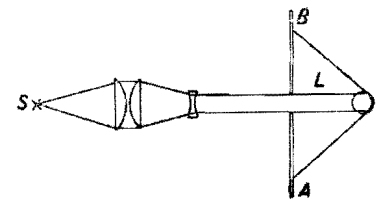


Рис. 563. Определение предельного расстояния до колбы при демонстрации радуги.

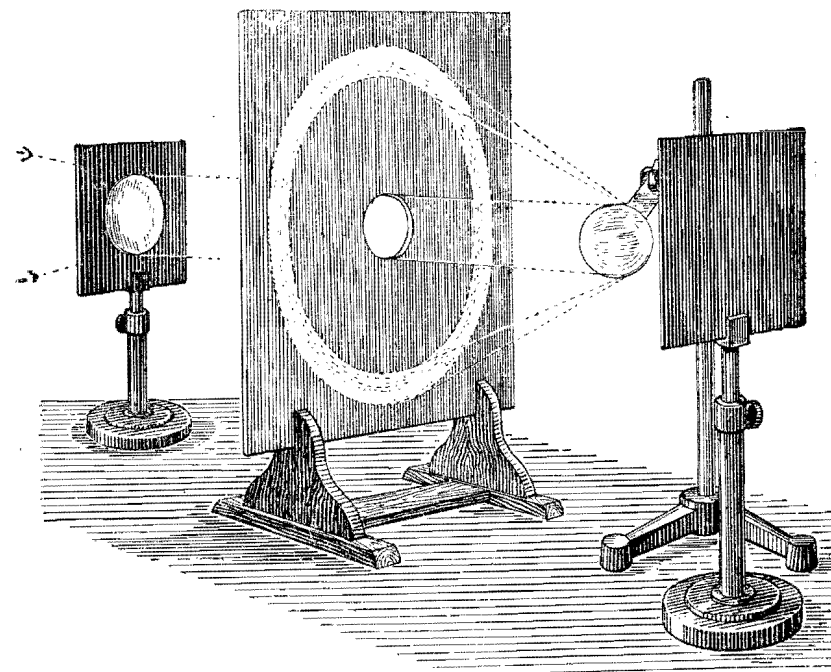


Рис. 564. Схема установки для получения радуги.

фиолетовых — около 40° . Где этот пучок пересечет экран (стена, потолок и т. д.), там получится радуга. Чтобы получить радугу в виде полного круга, необходимо самый пучок параллельных лучей пропу-

стить через экран. [Колбу нужно поместить на расстоянии (рис. 563), не превышающем

$$L = \frac{AB}{2 \operatorname{tg} 41^\circ} \approx \frac{AB}{1,75}.$$

Так как наблюдение придется вести со стороны освещенной части колбы, то заднюю (по отношению к падающему пучку) сторону ее полезно закрыть небольшой непрозрачной ширмой.

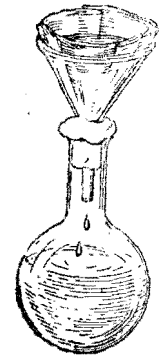


Рис. 565. Фильтровальные воды.

Общая установка такого рода (рис. 564) очень проста. Залогом успеха является безусловная чистота колбы и воды. Воду лучше взять дистиллированную, в крайнем случае прокипяченную. Какая бы вода ни была взята, ее необходимо профильтровать, помещая воронку непосредственно в горло колбы (рис. 565), защищенное кусочком ваты от пыли. Конечно, на стене и потолке радуга будет значительно шире и эффектнее. Поэтому, если нет особых предпосылок, экраном пользоваться не стоит.

2. Ход лучей в капле. 1) Шайба Гартля. 2) Источник света.

В этом опыте необходим сильный источник света, так как лучу придется проходить довольно длинный путь внутри стекла и испытать два преломления и одно отражение. Лучшим источником будет проекционный фонарь.

Устанавливают круглую стеклянную пластинку в центре круглого экрана шайбы Гартля (рис. 566) и, открыв соответствующую заслонку, пускают „луч“ так, чтобы он шел почти по касательной к кругу. В точке падения свет частично отразится, частично преломившись войдет в круг — „каплю“, где, испытав полное внутреннее отражение вновь упадет на границу круга и, преломившись, выйдет.

Если одновременно показывают опыт с колбой (п. 1) и с шайбой Гартля, то необходимо иметь в виду, что показатель преломления стекла больше, чем показатель преломления воды, а потому здесь можно ждать только качественной аналогии.

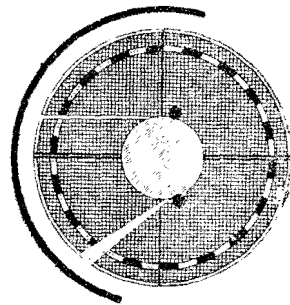


Рис. 566. Шайба Гартля (ход лучей в „капле“).

8*. Измерение угловых радиусов радуги.

1) Два стакана. 2) Стеклянная и резиновая трубочки, зажим. 3) Свечка. 4) Лист картона. 5) Булавки. 6) Подставки. 7) Чертежные принадлежности. 8) Бумага.

Угловые размеры, постоянные по своей величине, очень просто измерить на искусственной радуге. Для наблюдения радуги необходимо получить ровную цилиндрическую струю воды. С этой целью берут короткую стеклянную трубочку с внутренним диаметром в 2—3 мм и при помощи нагревания получают на одном конце трубочки ровное круглое отверстие диаметром в 1 мм. Пропуская через это отверстие вертикальную струю воды под очень небольшим напором, мы получим

сейчас же ниже отверстия ровный цилиндрический столбик воды длиной в 2—3 см; ниже его струя воды разбивается на отдельные капли. На расстоянии около 1 м от струи ставится источник света (свеча

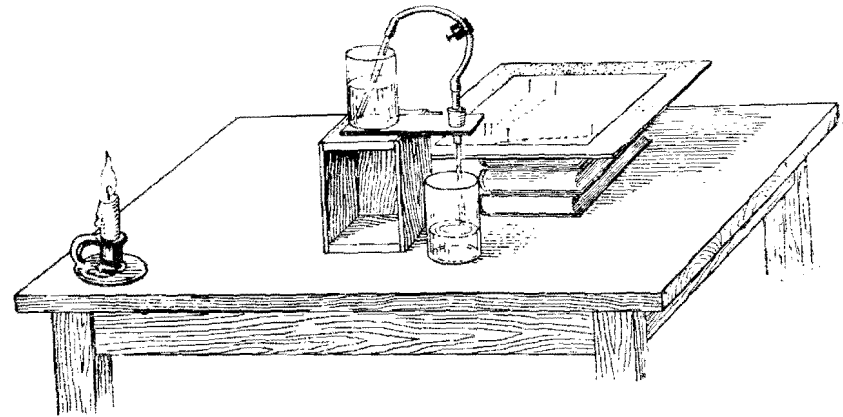


Рис. 567. Установка для измерения угловых размеров радуги.

или лампа), и наблюдатель помещается около струи спиной к источнику света. Не загораживая головой света, надо приблизить глаз к цилиндрической части струи и, двигая голову в ту и другую сторону, надо отыскать такие два положения глаза, когда видны две радуги: одна — первого порядка — при меньшем отклонении луча, другая — второго порядка — при большем отклонении. За струей на уровне наблюдаемых радуг помещают лист картона и при помощи булавок фиксируют для обеих радуг направления лучей какого-либо выбранного цвета, например красного. Наблюдая с противоположной стороны, ставят еще две булавки вдоль прямой, соединяющей источник света со струей (рис. 567).

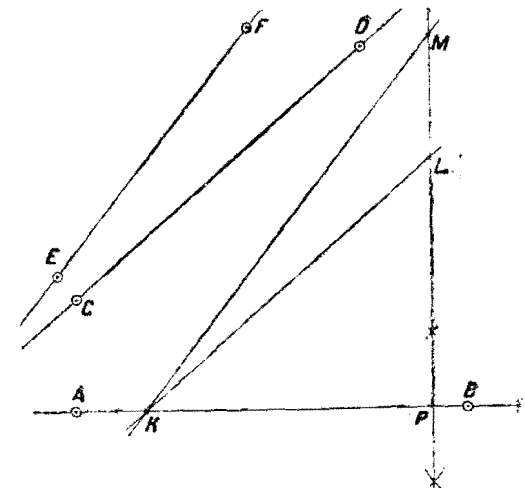


Рис. 568. Расчет угловых размеров искусственной радуги.

Отметив места уколов булавок на бумаге, удаляем булавки и проводим через отмеченные точки прямые AB , CD и EF (рис. 568). Около произвольной точки K строим прямые KL и KM , соответственно параллельные прямым CD и EF . Тогда угол BKL даст угловой радиус радуги первого порядка; угол BKM — радиус радуги второго порядка.

Чтобы измерить эти углы возможно точнее, определяем их при помощи тангенсов. Для этого откладываем отрезок KP , равный 100 мм, и в точке P восстанавливаем перпендикуляр к прямой AB . Отрезок PL даст длину линии тангенса для первого угла, отрезок PM — для второго. Измеряем эти отрезки в миллиметрах и, деля полученные значения на 100, находим тангенсы искомых углов, а по тангенсам определяем величину углов. Получаемые значения бывают близки к действительным:

	Красный цвет	Фиолетовый цвет
Радуга первого порядка	$42^\circ 30'$	$40^\circ 30'$
Радуга второго порядка	50°	$53^\circ 30'$

§ 58. Поляризация.

1. Поляризаторы.

1) Поляризатор — черное зеркало. Чтобы получить отражение только от одной первой (по отношению к падающему лучу) поверхности стекла, необходимо все лучи, попавшие на вторую поверхность — заднюю, поглотить. Это достигается тем, что заднюю поверхность покрывают черной краской.

Проще, однако, взять фотопластинку, засветить ее, проявить, отфиксировать, промыть и высушить, т. е. обработать так, как обрабатывается каждый негатив. С проявлением таких пластинок обычно бывают небрежны, полагая, что чем сильнее проявлено, тем чернее будет пластинка. Это — неверно. Самый сочный черный цвет получается лишь при известной степени проявления — когда обратная сторона в проявителе становится темносерой. Правильно проявленная пластинка после фиксирования станет черной. Перепроявленная пластинка в проявителе будет почти черная, зато после фиксирования будет серой.

Зеркало, полученное путем окраски¹⁾ поверхности стекла черной краской, по своим качествам равноценно зеркалу, изготовленному фотографически.

Значительно полней поглощение света, если закрасить черной краской матовое стекло (закрашивать, конечно, надо матовую сторону). Задняя поверхность такого стекла действительно не отражает почти ни одного луча.

Еще лучше фабричное черное стекло (марблит).

2) Поляризатор-стопа. Берут 20 фотопластинок $4,5 \text{ см} \times 6 \text{ см}$ или $9 \text{ см} \times 12 \text{ см}$, отмывают эмульсию и тщательно очищают. Складывают стопой и склеивают плотной бумагой. Оклейка должна быть такой, чтобы предохранить в дальнейшем попадание пыли в простран-

¹⁾ Для окраски нужно взять густой раствор сажи в скипидаре, лишь немного разбавив его черным лаком.

ство между стеклами. Если бы оказалось, что какая-нибудь пара стекол дает кольца Ньютона, нужно или переместить одну из пластинок или проложить у краев тонкие полоски бумаги. Полученную и заклеенную стопу оправляют в раму, сделанную из жести. Для этого из жести вырезают полоску с таким расчетом, чтобы: 1) осталось на загиб



Рис. 569. Выкройка из жести для заделки стеклянной стопы.

с каждой стороны по 3—5 мм и 2) после вставления стопы края наложились друг на друга на 5—10 мм. Делают на полоске разметку (рис. 569), вырезают углы в местах будущих сгибов и загибают под прямым углом оба края так, чтобы стопа входила только с трением. Делают нужные сгибы, вставляют стопу и запаивают. Готовую стопу так или иначе монтируют в зависимости от потребности (рис. 570). Можно стопу наглухо скрепить под углом 33° с ее держателем, но еще удобнее дать возможность поворачивать стопу. В этом случае очень полезно соединить с ней разделенный круг (рис. 571).

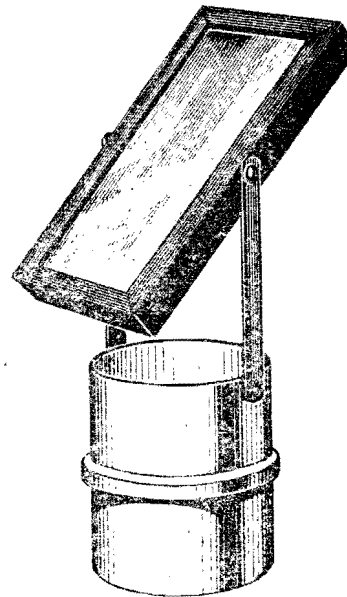


Рис. 570. Вращающаяся стопа.

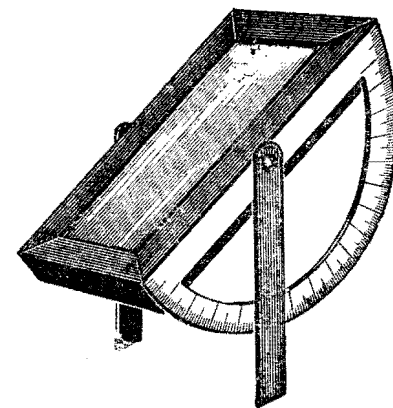


Рис. 571. Стопа с разделенным кругом.

3) Анализатор-стопа. Весьма тщательно моют и также тщательно вытирают 10—12 покровных стекол размером $18 \text{ мм} \times 18 \text{ мм}$.

Берут корковую пробку ($d = 25—30 \text{ мм}$), высверливают в ней отверстие ($d = 8 \text{ мм}$) и разрезают под углом в 33° к оси канала в пробке. В большей из получившихся частей (рис. 572) острым ножом вырезают квадратное углубление ($18 \text{ мм} \times 18 \text{ мм}$) такой глубины, чтобы в нем поместить все приготовленные стекла. Плотнo их

укладывают и приклеивают на место отрезанную часть пробки. Анализатор готов.

Чтобы пробку разрезать под нужным углом, следует изготовить станок.

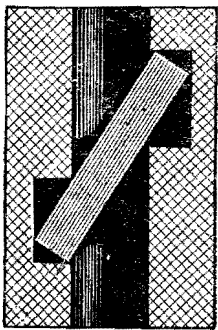


Рис. 572. Стопа из покровных стекол.

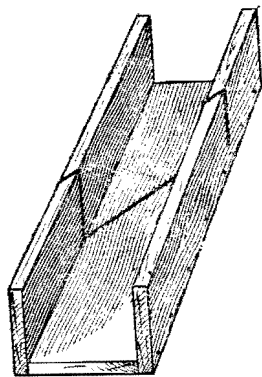


Рис. 573. Станок для разрезания пробки.

К дощечке ($l=10$ см, $b=5$ см, $h=1$ см) с боков прибавляются две планки $l=10$ см, $b=1$ см, $h=4$ см). Получается жолоб (рис. 573), примерно посередине дна этого жолоба прочерчивается прямая под углом в 33° . При помощи угольника на боковых стенках прочерчивается перпендикуляр к дну, восстановленный из точек пересечения ранее начерченной прямой с боковыми стенками жолоба. По полученным прямым делается пропил в боковых

стенках вплоть до дна жолоба. Прижав пробку к одному из углов жолоба, ставят нож в пропилы и начинают резать пробку.

2. Простейшее наблюдение поляризации. 1) Обыкновенный окрашенный стол. 2) Стопа-анализатор (рис. 572). 3) Гипсовая пластинка, кусочек слюды, закаленное стекло, целофан¹⁾.

Располагаются по отношению к столу так, чтобы лучи, идущие от облаков и после отражения от стола попадающие к нам в глаз, падали (а, значит, и отражались) под углом около 30° . Это место характеризуется сильными бликами на столе. Выбрав наиболее сильный блик, пишут в этом месте на столе обычным мелом две-три буквы. Отойдя опять в найденное место, убеждаются, что написанные буквы не видны. Вооружаются анализатором и через него смотрят на то же место стола (рис. 574). При вращении анализатора вокруг луча как оси легко наблюдается исчезновение блика и связанная с этим резкая видимость написанного мелом. При дальнейшем вращении анализатора видимость букв уменьшается, блик все увеличивается. При повороте на 90° написанное вновь исчезнет на фоне выступившего блика.

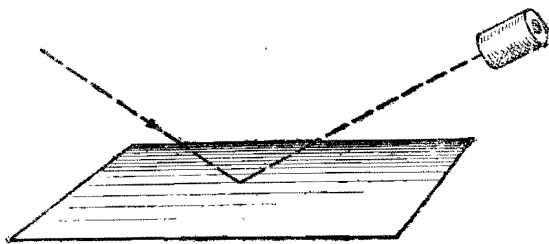


Рис. 574. Поверхность стола в качестве поляризатора.

¹⁾ Род прозрачной „бумаги“, в которую заворачивают конфеты.

Поместив на пути луча, идущего от стола к анализатору, кристалл гипса, слюды, закаленное стекло, получают довольно яркую картину хроматической поляризации.

В данном опыте поверхность стола играла роль поляризатора.

3. Поляризатор для проекции. Когда поляризатором служит зеркало, поляризованный луч оказывается отклоненным. Для проекций это неудобно, поэтому желательно луч еще раз повернуть так, чтобы он вышел из поляризатора по направлению падающего луча. Этого можно достигнуть следующими способами.

1. К цилиндрической оправе A (рис. 575), могущей вращаться в цилиндрической же обойме, приделанной к штативу, припаивается согнутый из жести параллелограмм $MNPQ$. Длинные стороны его MN и PQ образуют с короткими углы в 33° . К стороне MN приклеивается сургучом или поджимается бортиками, предусмотрительно оставленными у передней и задней сторон MN , черное зеркало. Вдоль стороны PQ таким же образом приделывается обычное металлическое зеркало.

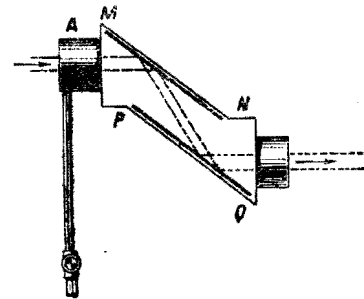


Рис. 575. Поляризатор прямого зрения для проекции.

В стороне NQ проделывается круглое отверстие и припаивается цилиндр из жести.

Луч, выходящий из такого поляризатора, вполне поляризован. Тот же поляризатор в упрощенном виде изображен на рисунке 576.

Для возможности наблюдений кристаллов в поляризованном свете цилиндр A приделывается к коробке B , в которую можно помещать изучаемые объекты (рис. 577). Справа от этой коробки виден второй такой же прибор-анализатор.

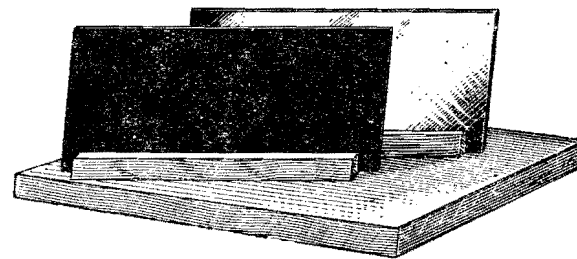


Рис. 576. Упрощенный поляризатор.

Параллельный пучок лучей, даваемый фонарем, направляют в отверстие NP . Свет выйдет из отверстия $N'P'$, причем выходящий пучок окажется

смещенным. Получающееся на экране светлое пятно при вращении анализатора будет двигаться по окружности, причем яркость (рис. 578) его будет наибольшая в положениях 1 и 3 и равна нулю в положениях 2 и 4.

2. Несколько удобнее для проекции поляризатор (рис. 579), дающий выходящий луч, идущий по продолжению падающего. Здесь S и S' — обычные посеребренные зеркала; S'' — поляризатор — черное зеркало. Зеркала S и S' наклонены к лучу L под углом в 33° . Обоймы AB и CD

позволяют весь прибор вращать вокруг луча LL . Для правильного действия поляризатора необходимо, чтобы ни один луч не прошел без трех отражений, что будет тогда, когда вершина угла, образуемого зеркалами S и S' , лежит ниже линии BD .

Само собой разумеется, что второй такой же приборчик может служить анализатором. При вращении анализатора светлое пятно на экране двигаться не будет, а только будет становиться темнее и светлее.

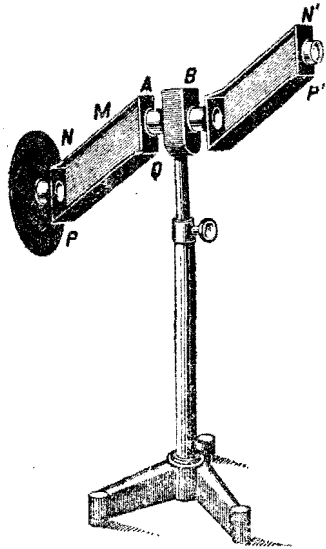


Рис. 577. Поляризатор прямого зрения с анализатором. Схема установки для проекции.

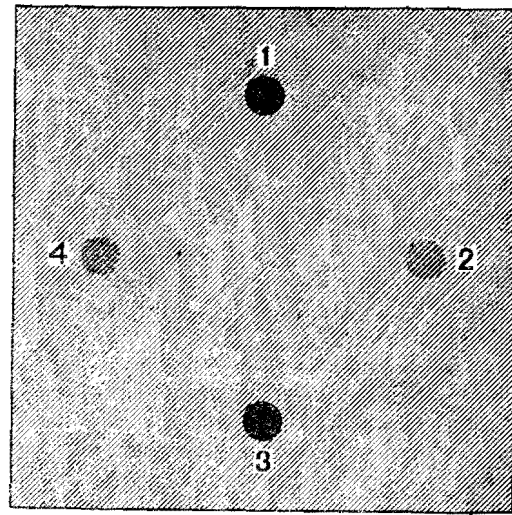


Рис. 578. Что дает вращение анализатора на экране.

При демонстрации поляризации при отражении с первым прибором можно вращать только анализатор; в случае второго прибора можно вращать и поляризатор.

3. 1) Проекционный фонарь. 2) Рассеивающая линза. 3) Поляризатор. 4) Пирамида (рис. 580) или конус на экране.

Устанавливают фонарь так, чтобы получить узкий параллельный пучок света, и направляют его через поляризатор на зеркальную пирамиду (конус) перпендикулярно к основанию пирамиды. Если свет поляризован в вертикальной плоскости, то отражать будут только „горизонтальные“ грани, т. е. получают два треугольных светлых пятна: одно — вверху, другое — внизу (рис. 580).

Правая и левая грани в этом положении не отражают света вовсе. Если начать вращать пирамиду, появятся еще два светлых треугольных пятна, причем яркость первоначальных пятен будет убывать, яркость вновь появившихся возрастать. Так будет продолжаться, пока новые пятна не займут вертикального положения.

Одинаковая яркость пятен наступает, когда одна из диагоналей основания оказывается вертикальной. Нужную для этого опыта пирамиду легко сделать из 4 равнобедренных треугольников из черного (зачерненного) стекла с углом при вершине в 29° .

В качестве подставки экрана удобно воспользоваться фанерой, оклеенной белой бумагой.

4. 1) Проекционный фонарь. 2) Поляризатор. 3) Анализатор-стопа. 4) Рассеивающая линза.

Получают узкий пучок параллельных лучей (рис. 581), на их пути помещают поляризатор, за поляризатором — анализатор. Анализатор

делит пучок на два: преломленный, продолжающий идти в том же направлении, и отраженный. Нужно фонарь так расположить, чтобы отраженный луч давал светлое пятно на стене и был ясно виден. Для этого лучше временно фонарь расположить по оси класса, проектируя преломленный луч на переднюю стенку; тогда отраженный луч попадет на боковые стены и потолок.

Вращая анализатор, установленный под углом в 33° по отношению к падающему лучу, наблюдают попеременное увеличение и уменьшение

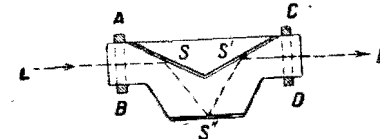


Рис. 579. Поляризатор.

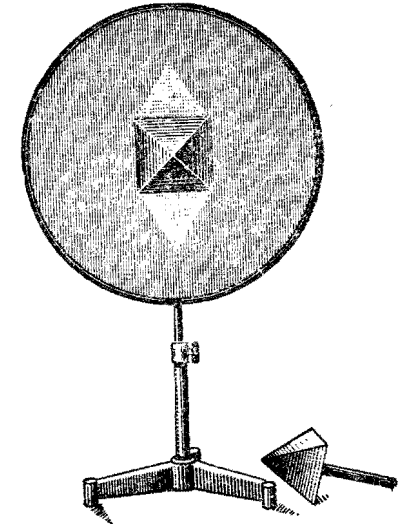


Рис. 580. Поляризация при отражении от сторон пирамиды.

яркости пятна, даваемого преломленным пучком. В то же самое время светлое пятно, даваемое отраженным пучком, будет перемещаться; яркость его тоже будет меняться. Не трудно будет подметить, что, когда яркость пятна, даваемого отраженными лучами, — наименьшая, яркость второго пятна — наибольшая, и наоборот.

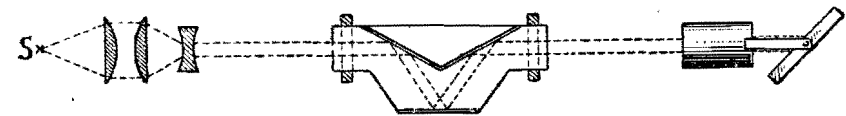


Рис. 581. Ход лучей в поляризаторе.

Этот опыт указывает на то, что отраженные и преломленные лучи поляризованы во взаимно перпендикулярных плоскостях.

Поставив анализатор так, чтобы яркость пятна, даваемого отраженным пучком, была наименьшая, начинают вращать стопу вокруг ее оси,

т. е. изменяют угол падения. При этом яркость пятна сейчас же возрастает. Вращая стопу таким образом, можно показать, что только при угле падения в 57° получается вполне поляризованный луч, т. е. демонстрировать закон Брюстера, гласящий, что тангенс угла полной поляризации равен показателю преломления ($\operatorname{tg} i = n$).

Повернув анализатор на 90° вокруг луча, можно то же показать и с лучом, прошедшим через стопу.

4. Прибор Нйренберга.

1. Устройство прибора. На подставке укреплены 2 стойки. На стойках укреплены: 1) поляризатор AB (стопа или черное зеркало); 2) платформа CD для помещения рассматриваемых объектов; 3) платформа K (нужна в очень редких случаях); 4) столик MN , на котором укрепляется анализатор; 5) анализатор (стопа или черное зеркало PQ (рис. 582).

Этот прибор очень легко изготовить своими силами; для этого покупают только две копировальные фотографические рамки для пластинок $9\text{ см} \times 12\text{ см}$. В качестве основания берут кусок доски ($l = 30\text{ см}$, $b = 20\text{ см}$, $h = 2-2,5\text{ см}$). Ширина доски равна ширине копировальной рамки плюс $5-6\text{ см}$.

На основании укрепляются две стойки (сечением $2\text{ см} \times 2\text{ см}$ или $2,5\text{ см} \times 2,5\text{ см}$, высотой $35-40\text{ см}$) на таком расстоянии, чтобы между ними свободно помещались копировальные рамки. На высоте $13-15\text{ см}$ в стойках просверливаются отверстия, диаметр которых чуть больше диаметра шурупов, выбранных для привинчивания копировальной рамки. Первая рамка должна с очень малым трением вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через отверстия в стойках. В рамку закладывается черное зеркало — поляризатор, и рамка закрывается. На высоте $25-26\text{ см}$ на тех же стойках укрепляется вторая копировальная рамка, с которой сняты крышка и все запирающие приспособления. Вторая рамка укрепляется неподвижно в горизонтальном положении. Необходимо позаботиться о том, чтобы при привинчивании этой рамки не стянута стоек и тем самым не лишить себя возможности поворачивать первую рамку. С этой целью может оказаться полезным между второй рамкой и стойкой проложить кусочек тонкого картона.

Рис. 582. Прибор Нйренберга.

На стойки сверху кладется и закрепляется доска, удобнее всего выпиленный из пятислойной фанеры диск с отверстием в центре. Диаметр этого диска должен быть таков, чтобы стойки оказались заподлицо с ним. Диаметр отверстия должен быть согласован с размерами анализатора. Если предполагено работать с различными анализаторами, то полезно отверстие в фанерном диске согласовать с тем, который имеет наибольший диаметр. Остальные анализаторы тогда придется оправить в специальные оправки. Если желательно при наблюдениях измерять углы, то можно: 1) к стойке приколоть бумажный транспортир так, чтобы его центр совпадал с осью вращения первой копировальной рамки; в копировальную рамку вбить нормально к рамке кусочек проволоки (указатель), сплюснутый конец которой должен расположиться около делений транспортира так, чтобы удобно было производить отсчет углов; если нуль транспортира будет

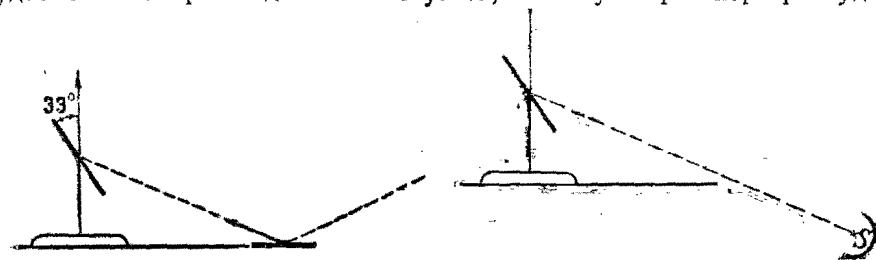


Рис. 583. Установка при дневном свете.

Рис. 584. Установка при искусственном свете.

совпадать с направлением стойки, а, значит, и отраженного луча, то отсчет даст угол отражения (равный углу падения); 2) склеить два транспортира, отрезав от них прямоугольные части так, чтобы получить полный круг с делениями, и наклеить его на верхний столик, concentрично с отверстием.

2. Установка прибора.

а) Наблюдение производится при дневном свете.

На основание прибора или под него (рис. 583) кладут кусок фанеры, выступающий сантиметров на 30, и располагают прибор, поставленный на табуретке, так, чтобы выступающий кусок фанеры, покрытый листом белой бумаги, был возможно хорошо освещен. Кусок бумаги и будет являться источником света.

б) Наблюдение производится при искусственном свете. Берут электрическую лампочку с широким цилиндрическим рефлектором и закрывают отверстие рефлектора белой папиросной бумагой или матовым стеклом. Лампу с рефлектором укрепляют в лабораторном штативе, поставленном на полу (рис. 584).

3. Изучение действия (роли) анализатора. 1) Прибор Нйренберга. 2) Фанера и лист бумаги или электрическая лампочка с рефлектором на штативе. 3) Анализатор (рис. 572).

Устанавливают подвижное зеркало под углом в 33° к вертикали, затем регулируют положение осветителя (белой бумаги или лампочки, закрытой белой бумагой) так, чтобы при наблюдении через отверстие

в верхнем столике осветитель был хорошо виден. В средней части „осветителя“ помещают какой-либо предмет — метку. Если „осветитель“ — белая бумага, кладут карандаш; если „осветитель“ — лампочка, перевязывают ее толстой веревочкой. Только кончив эту установку, помещают на верхний столик анализатор.

Вращая анализатор вокруг вертикальной оси, наблюдают, что при некоторых положениях анализатора осветитель как бы тускнеет и метка перестает быть видимой. Вообще же говоря, освещенность все время меняется. Минимум освещенности легко устанавливается по тому признаку, что метка становится невидимой.

Максимум установить трудно. Легко только наблюдать, что при повороте на 180° анализатора из положения, когда был минимум света, получается опять минимум. При непрерывном вращении анализатора наблюдается попеременное просветление и затемнение поля зрения. Через каждые 90° переходят от полного затемнения к максимуму света.

Какой бы анализатор ни был, полезно обратить внимание на то, когда получается минимум (в случае плоского черного зеркала и стопы — заметить положение их оси, в случае призмы Николя — положение одной из диагоналей ромба).

4. Изучение действия поляризатора-зеркала. — См. опыт 3.

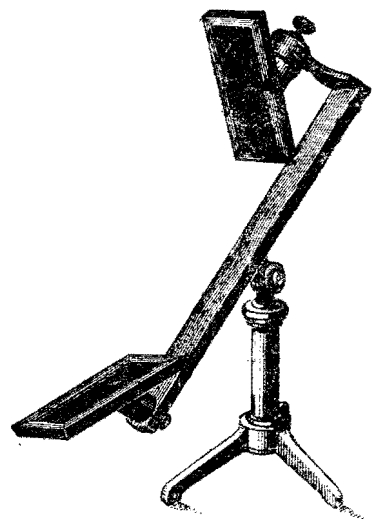


Рис. 585. Упрощенные поляризационные приборы.

Поставив анализатор на минимум света, поворачивают поляризатор на небольшие углы в ту и другую сторону и убеждаются в том, что наиболее полное затемнение происходит при определенном угле наклона поляризатора ($\operatorname{tg} i = n$). При поворотах поляризатора необходимо немного сдвигать и источник света с таким расчетом, чтобы отраженный луч был всегда вертикален.

5. Кристаллы в поляризованном свете. 1) См. опыт 3. 2) Гипсовая или слюдяная пластинка.

Устанавливают прибор на возможно полное затемнение и кладут на средний столик кусок кристалла. Поле немедленно просветляется. Если взятый кусок достаточно толст, поле зрения — белое. Если взятый кристалл тонок, поле зрения, им ограниченное, — цветное. Имеется два положения кристаллической пластинки, при которых она не меняет поля зрения. Между ними пластинка окрашена.

При вращении пластинки ее окраска (цветность) не меняется. Меняется „насыщенность“ окраски. При вращении поляризатора или анализатора меняется цветность. При повороте одного из них на 90°

окраска переходит в дополнительную. Кристаллы различной толщины дают различную окраску.

Вращение кристалла вокруг любой оси, перпендикулярной к лучу, изменяет окраску, так как увеличивает длину пути внутри кристалла.

5. Простые поляризационные приборы. Для изучения тел в поляризованном свете один из самых удобных приборов — прибор Нёренберга (рис. 582), однако можно в целом ряде случаев обойтись и более простыми (рис. 585). Во всех этих приборах надо только соблюсти требуемый наклон зеркал. Зеркало всегда должно образовывать с лучом угол в 33° .

6. Двойкопреломляющие кристаллы.

1. Двойное изображение. Кусок естественного кристалла исландского шпата кладут на страницы книги. Все буквы кажутся двойными (рис. 586). Если кристалл вращать, то одни буквы будут все время видны одинаково, другие будут вращаться вокруг первых. Если кристалл не особенно прозрачен, лучше наблюдать только точку.



Рис. 586. Двойное лучепреломление.

2. Поляризация лучей в кристалле. 1) Проекционный фонарь. 2) Диафрагма с малым отверстием. 3) Длиннофокусная линза. 4) Кристалл исландского шпата.

На пути пучка лучей (рис. 587), даваемых фонарем, помещают диафрагму с малым отверстием D , за ней — линзу, при помощи которой и проектируют отверстие на экран. Между отверстием и линзой помещают кристалл исландского шпата. На экране вместо одного кружка появляются два. При вращении кристалла оба кружка описывают окружности с общим центром. Ставят на пути лучей еще поля-

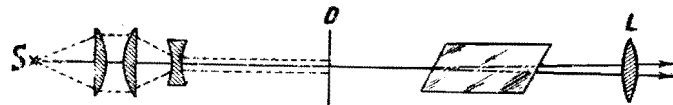


Рис. 587. Схема установки для демонстрации двойного преломления.

ризатор, все равно где — за или до линзы. При вращении кристалла теперь оба кружка тоже вращаются, но их яркость попеременно меняется. На рисунке 588 приведены 8 положений кружков.

Этот опыт показывает, что оба луча, вышедшие из кристалла, поляризованы во взаимно перпендикулярных плоскостях.

7. Турмалиновые щипцы. Турмалин — минерал, кристаллизующийся в гексагональной системе (рис. 589). Для опытов по физике наиболее пригодны турмалины, окрашенные в зеленый цвет. Из природного

кристалла вырезают тонкую ($h = 2 \text{ мм}$) пластинку. Уже такой тонкий кристалл совершенно поглощает обыкновенный луч и пропускает только необыкновенный. Другими словами турмалин дает поляризованный свет.

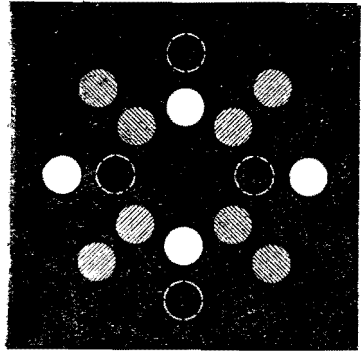


Рис. 588. Что дает вращение двойкопреломляющего кристалла в поляризованном свете.

Два таких кристалла (рис. 590), заделанные в оправы, которые могут вращаться в проволочных кольцах, образуют турмалиновые щипцы.



Рис. 589. Кристалл турмалина.

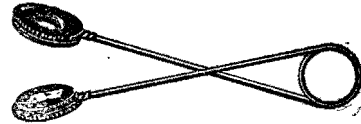


Рис. 590. Турмалиновые щипцы.

Один кристалл служит поляризатором, другой — анализатором. Если смотреть через оба кристалла и один из них вращать, то попеременно поле зрения будет то просветляться, то затемняться.

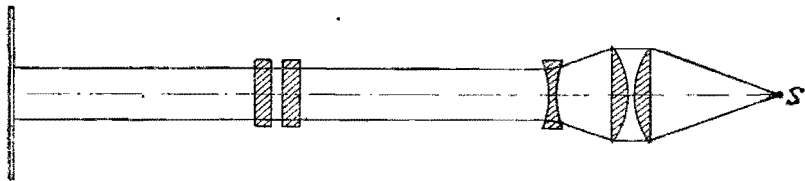


Рис. 591. Схема установки для демонстрации турмалиновых щипцов.

Между турмалинами можно помещать другие кристаллы для исследования.

Однако собственная окраска турмалинов при этом служит большой помехой.

Демонстрацию турмалиновых щипцов следует вести двойко — сначала спроектировать свет, прошедший через щипцы на экран, а затем передать щипцы учащимся для индивидуального наблюдения. Чтобы спроектировать, надо, получив слабо сходящийся пучок при помощи

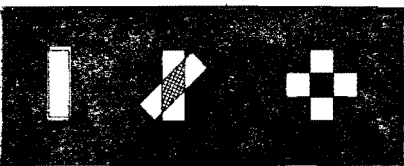


Рис. 592. Смена картин при вращении турмалина.

фонаря, диафрагмировать его, за диафрагмой поместить турмалины и их спроектировать на экран. Возможно провести проектирование так, как показано на рисунке 591.

На рисунке 592 изображены картины, получающиеся при вращении одного турмалина.

8. Призма Николя. Одним из лучших поляризаторов (анализаторов) является призма Николя, короче, николю.

Изготавливается она из куска исландского шпата (рис. 593), длина ребер, параллельных AM_1 , должна быть в 3,65 раза длиннее стороны AD_1 . Плоскость, проходящая через короткие диагонали ромбических оснований, рассекает кристалл по параллелограмму с углами в 71° и 109° . Основания кристалла шлифуются так, чтобы эти углы стали равными 68° и 112° . Затем кристалл распиливается пополам по плоскости, проходящей через тупые вершины C_1 и M_1 и перпендикулярной к коротким диагоналям оснований. Обе плоскости распила шлифуются.

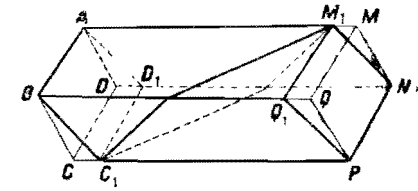


Рис. 593. Схема изготовления призмы Николя.

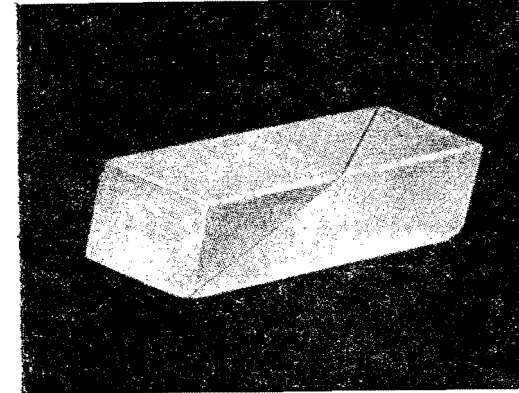


Рис. 594. Призма Николя.

Получившиеся половинки склеиваются канадским бальзамом так, чтобы вновь получился прежний кристалл (рис. 594).

Луч света, войдя в кристалл, распадается на два: обыкновенный и необыкновенный.

Показатель преломления для желтой линии D : канадского бальзама 1,549, исландского шпата для обыкновенного луча 1,6585,

для необыкновенного луча, идущего параллельно ребрам AM , 1,4864. Таким образом, обыкновенный луч из среды с показателем 1,549. Для таких сред предельный угол равен 69° . Так как обыкновенный луч попадает на поверхность раздела шпат-бальзам под углом падения, большим, чем 69° , то он испытывает здесь полное внутреннее отражение (рис. 595) и поглощается оправой николя.

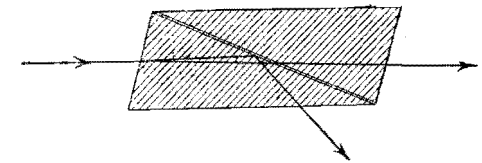


Рис. 595. Ход лучей в призме Николя.

Необыкновенный луч свободно проходит через слой бальзама и выходит из призмы поляризованным в плоскости большой диагонали ромба.

Световые колебания по Френелю совершаются в плоскости малой диагонали (рис. 596).

Николь хорош тем, что дает вполне поляризованный луч и не окрашивает его вовсе. Второе достоинство николя заключается в том, что все лучи, лежащие в конусе, образующая которого составляет с осью углы до 14° , он пропускает и поляризует.

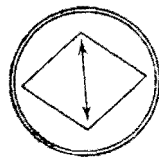


Рис. 596. Отметка плоскости колебаний.

Недостатком николя является то, что благодаря поглощению оправаой обыкновенного луча, он сильно нагревается. Поэтому в тех случаях, когда через николь пропускают свет от проекционного фонаря, необходимо применять охлаждающую ванну. Схема проектирования с николем представлена на рисунках 597 и 598, где S — источник света; K — конденсор; W — ванна с водой; P — николь-поляризатор; A — николь-анализатор; L_1 и L_3 — линзы, превращающие параллельные пучки в сходящиеся, для того чтобы их можно было пропустить через николи P и A ; L_2 и L_4 — линзы,

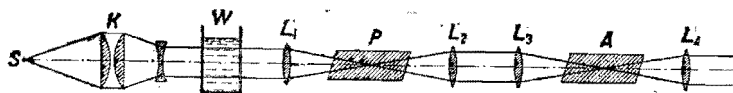


Рис. 597. Схема установки для демонстраций с николем.

превращающие расходящиеся лучи, выходящие из николей, вновь в параллельные. Если установка предназначена для исследования кристаллов в параллельных лучах, то их надо помещать между линзами L_2 и L_3 .

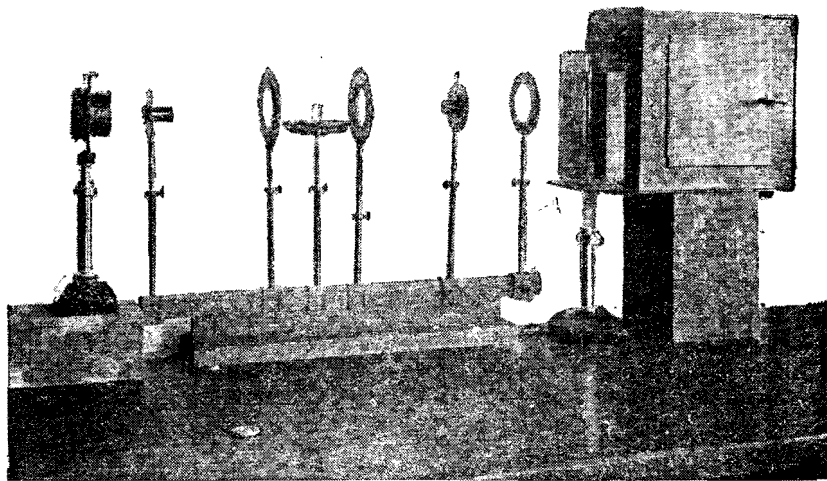


Рис. 598. Фотоснимок с установки демонстрации с николем.

9. Случайная анизотропия. Всякое нарушение однородности прозрачного вещества, чем бы оно произведено ни было, превращает его в двоякопреломляющее. Если поместить кусок толстого стекла между поляризатором и анализатором, то никаких новых явлений не прои-

зойдет. Если поле зрения было затемнено, то оно таким же останется. Однако стоит в одном месте стекло слегка подогреть на пламени спички, как поле зрения просветлеет, и стекло даст ряд полос неправильной формы. То же явление получается, если стекло сжать или растянуть, т. е. вызвать механическую деформацию.

Те же явления дают „закаленные“, т. е. неравномерно нагретые, а потом быстро охлажденные стекла.

ИЗЛУЧЕНИЕ И ПОГЛОЩЕНИЕ ЛУЧИСТОЙ ЭНЕРГИИ.

§ 59. Источники излучения и фильтры.

1. **Излучение тел.** Всякое тело, имеющее температуру, отличающуюся от абсолютного нуля, испускает лучистую энергию. Это излучение может быть близким к абсолютно черному, когда распределение энергии по длинам волн подчиняется формуле Планка. Другой случай, когда наблюдается резкое отступление от этого распределения и энергия излучения сосредоточивается в более или менее узких пределах определенных волн, — селективное излучение.

Абсолютно черным излучением является излучение замкнутой полости, нагретой внутри всюду до одинаковой температуры и имеющей только небольшое отверстие. Однако обычные твердые нагретые тела имеют распределение энергии, близкое к черному телу, или, как иногда говорят, „серое“ излучение. Примером селективного излучения являются цветные поверхности, светящиеся газы, окрашенное пламя и т. д. Излучение горячего тела (исключая селективное) в большей или меньшей мере подчиняется закону Стефана и закону Вина. Эти два закона необходимо всегда иметь в виду при использовании того или иного излучателя.

В этой главе будут изложены опыты с инфракрасным излучением (неправильно называемым „тепловыми лучами“), — опыты, касающиеся общих законов излучения, опыты с ультрафиолетовыми лучами и явления люминесценции.

2. **Нагретый шарик или гиря.** Самым простым источником инфракрасного излучения является нагретый на бензиновой или керосиновой лампе металлический шарик или гиря. Чтобы было удобно нагревать, гиря привязывается к куску железной проволоки; удобно воспользоваться шариком от прибора Гравезанда, часто встречающегося в физическом кабинете. Шарик Гравезанда обычно подвешивается на цепочке. Масса гири или шарика подбирается в зависимости от мощности нагревателя и может колебаться от 400 г до 2 кг.

Нагревать гирю надо до 400—500°С при использовании в качестве приемника термоскопа и гораздо меньше при использовании термостолбика. В последнем случае можно пользоваться закопченной колбой с водой, нагретой до кипения и даже до 60—80°С.

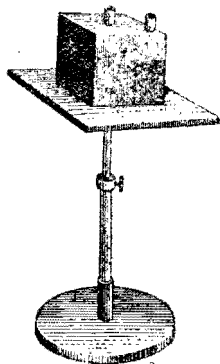


Рис. 599. Куб Лесли.

3. **Куб Лесли.** Весьма распространенным источником излучения является куб Лесли — металлический куб с ребром около 8—12 см; боковые грани куба имеют различно обработанную поверхность (рис. 599).

Одна грань — черная, противоположная ей — полированная, блестящая; другая пара граней обычно бывает: матовая металлическая и покрашенная белой краской. Куб Лесли приспособлен, главным образом, для дифференциального термометра (§ 61, 4), но при применении других индикаторов может быть использован для демонстрации.

При помощи термоскопа заметить разницу излучения между матовой и блестящей, матовой и белой поверхностями довольно трудно; разница между черной и блестящей поверхностями определяется легко.

Коэффициенты лучеиспускания.

В процентах от излучения черного тела	(по Е. Шмидту)
Абсолютно черное тело	100
Латунь полированная	5,0
Латунь с грубой обработкой поверхности	6,9
Медь полированная	4,0
Алюминий полированный	5,2
Алюминий (необработанная жесь)	7,1
Алюминиевый лак с цинком в качестве связывающего материала	40,0
Железная жесь, никелированная, полированная	5,8
Железная жесь, оцинкованная, блестящая	5,7
Железная жесь, оцинкованная, матовая	8,2
Железная жесь, оцинкованная, новая	22,8
Железная жесь, оцинкованная, старая	27,6
Железная жесь, свежееобработанная наждаком	24,2
Железная жесь, протравленная	68,5
Стальная жесь	65,7
Стальная жесь с плотной окисленной пленкой	81,9
Чугун свежееобработанный	43,5
Чугун, пленка гладкая	80,2
Чугун, пленка шероховатая	81,9
Белая расплавленная эмаль на железе	89,7
Среднее из различно окрашенных лаковых покрытий	90,0
Гипс	90,3

Надо иметь в виду, что окраска белой поверхности часто бывает сделана неудачной краской, так как некоторые краски, как было выяснено еще Меллони, излучают почти так же, как черные поверхности, например свинцовые белила. По опытам Лесли оказалось, что, если излучение сажи принять за 100, то бумага излучает 98 единиц, железо 15, а другие металлы (серебро, медь) 12. Эти числа экспериментатор должен помнить, пользуясь кубом Лесли.

4. **Различные источники излучения.** Всякий источник света является источником инфракрасных лучей. Такими источниками служат мощные газо-полные лампы (500, 1000, 2000 вт) и вольтова дуга.

Можно использовать отражательную электрическую печку и ту проволочную спираль, нагретую током, которой она снабжается.

Для некоторых опытов может служить тепло, испускаемое рукой и телом человека.

В некоторых случаях (зажигание при помощи большой линзы или вогнутого зеркала) удобно пользоваться светом Солнца.

5. Фильтры для инфракрасных лучей. Лучи видимого света, даваемые некоторыми источниками, можно отфильтровать, пропуская только невидимые инфракрасные лучи. Наиболее удобным фильтром может служить раствор некоторых анилиновых красителей в воде. Можно испробовать обыкновенные чернила. Стекло пропускает инфракрасные лучи до 3 μ , почему тонкий стеклянный сосуд задержит мало инфракрасных лучей.

Больше задержит вода, пропускающая излучение до длин волн в 1,5 μ .

Наиболее прозрачными для инфракрасных лучей являются флюорит (до 11 μ) и каменная соль, но эти вещества вряд ли придется применять в практике физического кабинета. Для задержания тепловых лучей применяется водный раствор медного или железного купороса.

§ 60. Обнаружение инфракрасной лучистой энергии.

Для обнаружения и приблизительного количественного определения энергии тепловых инфракрасных лучей обычно пользуются следующими способами:

1) Наиболее простой и доступный способ — это обнаружение нагревания какого-нибудь закупленного сосуда по увеличению давления, заключенного в нем газа. Для обнаружения увеличения давления сосуд соединяют с термоскопом или водяным манометром. Наборы для целого ряда опытов с термоскопом, подобранные немецким ученым Лоозером и русским педагогом Б. Кольбе, имели целью, между прочим, изучение теплового действия лучистой энергии.

2) Более сложный способ, требующий применения зеркального гальванометра (т. III, § 8, 3), — это прибегнуть к батарее термоэлементов. Можно было бы еще пользоваться

для этой цели болометром, но это — еще более сложный способ, который не находит обычно применения в школьных условиях.

Можно воспользоваться любым другим действием тепла: укажем некоторые приемы, на которых в дальнейшем не будем подробно останавливаться.

3) Изменение окраски водисто-серебряно-ртутной соли, происходящее при 45° (из желтого цвета в оранжевый). Порошок соли смешивают с сапоновым лаком (раствор целлулоида в ацетоне) и покрывают им тонкую металлическую пластинку (алюминиевую фольгу). Ставя пластинку в инфракрасные лучи, получают оранжевое

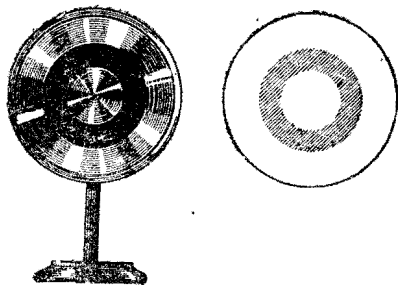


Рис. 600. Тень в инфракрасных лучах.

пятно при нагревании выше 45°. Заслонив чем-либо лучи, наблюдают очертания предмета в виде тени (рис. 600).

Сделав на обратной стороне фольги какой-либо рисунок тушью и нагревая его лучами, получают с другой стороны изменение окраски в тех местах, где фольга была покрыта тушью. Источник излучения должен быть достаточно мощный, чтобы нагревание могло дать повышение температуры выше 45°. По остывании окраска пропадает.

4) Такой же опыт можно сделать с фосфоресцирующим экраном из сернистой соли, воспользовавшись свойством длинноволнового излучения тушить фосфоресценцию. Экран экспонируют на свету и затем помещают в тепловые лучи. Свечение исчезает там, где лучи падают на экран.

§ 61. Приемники инфракрасных лучей.

1. Закопченная стеклянная колба. Наиболее простым приемником для обнаружения нагревания является небольшая (100—250 см³) закопченная колба (рис. 601), в которую вставлена на резиновой пробке стеклянная трубочка. На эту трубочку надевают достаточно толстую стенную и с тонким просветом резиновую трубочку, соединяемую с каким-либо чувствительным манометром. Вместо колбы может быть применена

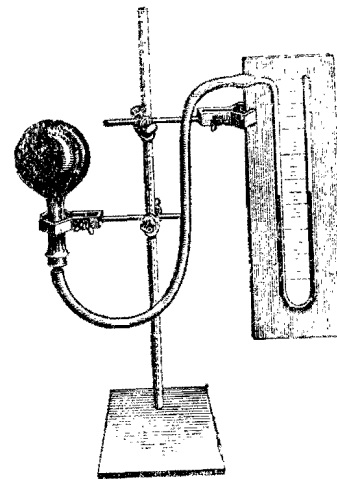


Рис. 601. Закопченная колба с манометром.

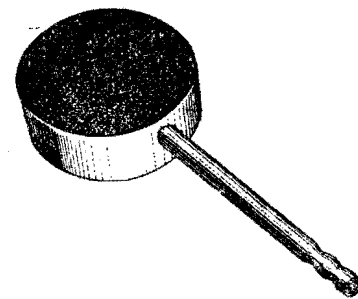


Рис. 602. Приемник в виде коробочки.

жестяная коробочка (коробка из-под консервов), запаиваемая со всех сторон и снабженная куском металлической трубки, на которую надевают резиновую трубку для соединения с манометром.

Такие коробочки с тонкими стенками специально изготавливаются и входят в наборы для опытов с термоскопом Кольбе или Лоозера. Одна боковая стенка коробочки приемника обычно зачернена или закопчена, а другая — блестящая (рис. 602).

В качестве манометра можно применять самодельный манометр из изогнутой стеклянной трубки или специальный термоскоп.

В качестве жидкости можно применять подкрашенную воду, спирт или керосин. Подкраска не должна пачкать трубку.

2. Наклонный манометр. Для увеличения чувствительности манометр может быть сделан наклонным (по Теплеру). Таким манометром является специально изготовленный для технических целей тягомер (рис. 603) и манометр ЦАГИ (рис. 604). Для целей преподавания физики изготавливается наклонный манометр (рис. 605).

Наклон манометрической трубки позволяет при той же самой разности давлений сделать передвижение мениска жидкости значительно большим в зависимости от угла наклона. Наклоном достигается увеличение передвижения мениска в 2, 5, 10 раз в зависимости от синуса угла наклона трубки к горизонту (угол 30° , 12° , 6°).

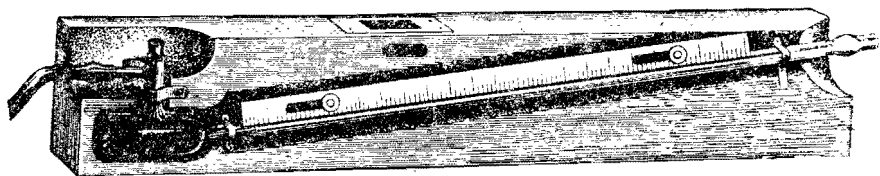


Рис. 603. Тягомер.

Наклонный манометр дает возможность значительного увеличения чувствительности, почему может быть рекомендован, однако, с углом наклона, не меньшим 6° .

3. Термоскопы Кольбе и Лоозера. Эти термоскопы с набором различных деталей позволяют произвести очень много опытов по различным отделам физики и одно время являлись очень распространенным прибором в физических кабинетах (рис. 606 и 607); их подробное описание относится к опытам по теплоте и будет сделано в томе VII.

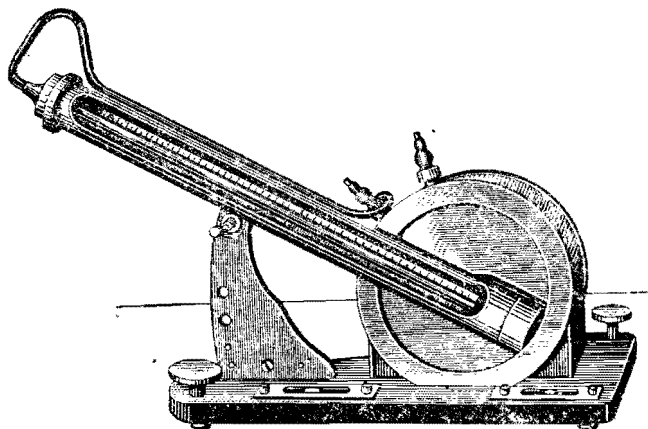


Рис. 604. Манометр ЦАГИ.

Никакого особенного преимущества перед самодельным манометром из изогнутой трубки они не представляют и единственным их преиму-

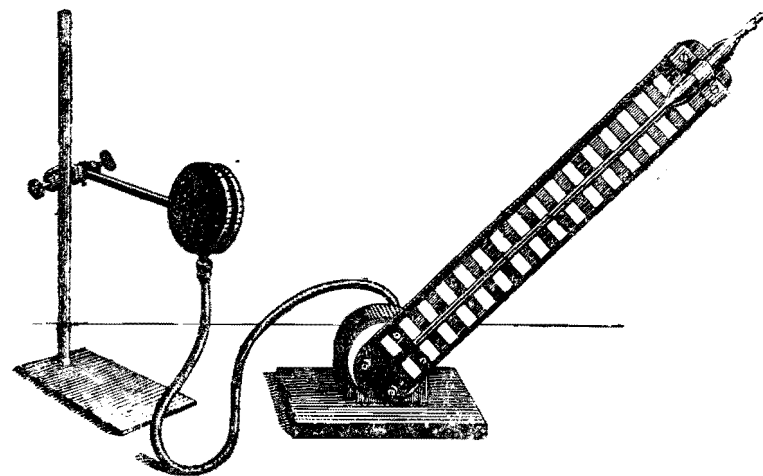


Рис. 605. Наклонный манометр.

ществом является трехходовой кран, позволяющий соединять в последний момент опыта манометр с коробкой, являющейся приемником. Это легко достижимо и с самодельным манометром, если в соединительную резиновую трубку включить тройник, на третью трубку которого надеть кусочек резиновой трубки с зажимом Гофмана или Мора.

4. Дифференциальный термометр. Дифференциальный термометр, изображенный на рисунках 608 и 609, является довольно чувствительным, но весьма мало удобным прибором. При неосторожном нагревании одного шарика жидкость из соединительной трубки вся переходит в другой шарик, и в него проскакивает некоторое количество воздуха. При последующем выравнивании температуры жидкость уже не возвращается обратно в трубку, и надо подогреть второй шарик, чтобы вывести из него лишний воздух. Эта неприятность всегда может произойти во время опыта, а налаживание термометра очень кропотливо и требует много времени. Поэтому большая чувствительность дифференциального термометра

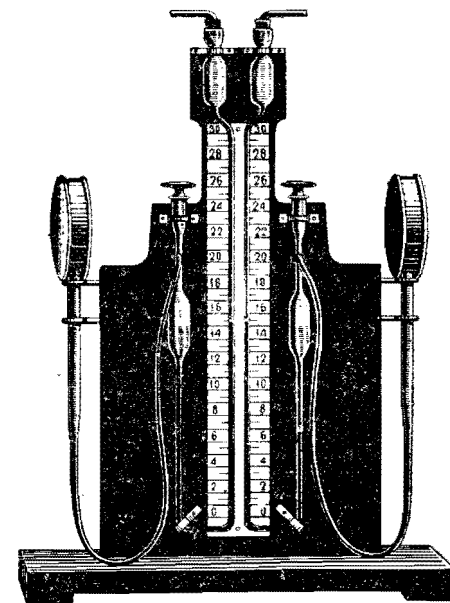


Рис. 606. Термоскоп Лоозера.

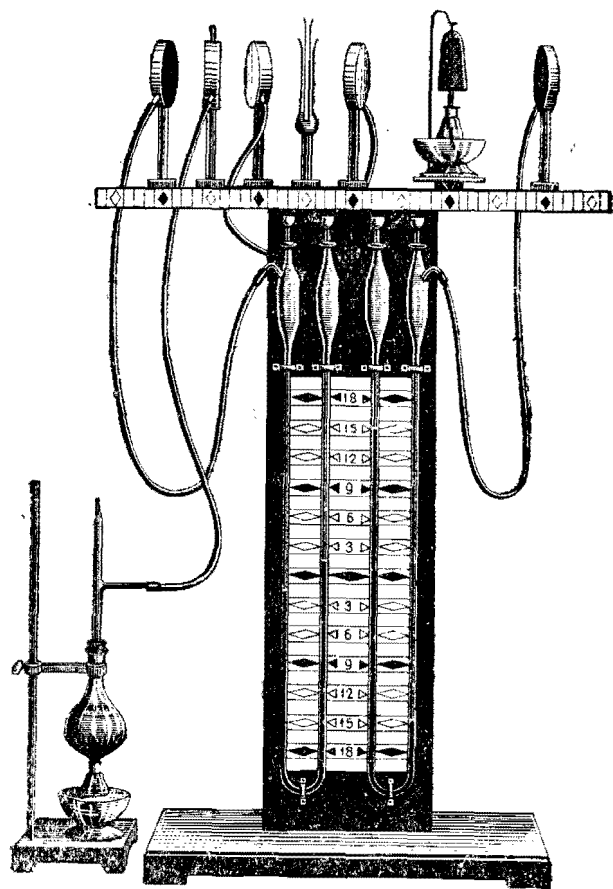


Рис. 607. Термоскоп Кольбе.

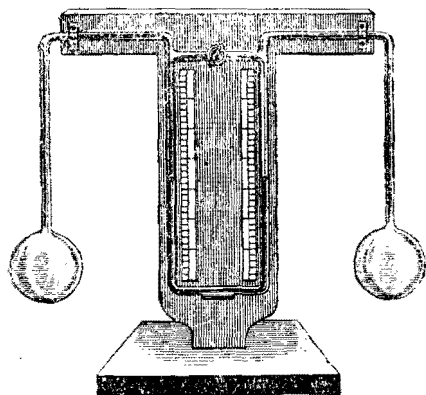


Рис. 608. Дифференциальный термометр.

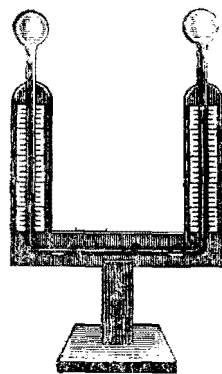


Рис. 609. Дифференциальный термометр.

в сравнении с термоскопом не дает еще этому прибору больших преимуществ, особенно перед наклонным манометром.

5. Радиометр Крукса. Радиометр Крукса (рис. 610), основанный на явлении „отдачи“ молекул газа, падающих на стенку твердого тела, нагреваемого лучистой энергией, представляет собой почти лишенный газа стеклянный сосуд (давление 0,05 мм ртутного столба), внутри которого помещена легкая мельница со слюдяными крылышками так, что она может легко вращаться. Одна сторона крылышек мельницы зачернена.

Радиометр ставят на пути лучей. Мельница начинает вращаться, причем направление вращения показывает, что лучистая энергия сильнее действует на черную поверхность, чем на блестящую.

Хорошего качества радиометр вращается от рассеянного солнечного света (на окне), от поднесенной зажженной спички. Длина волны излучения не влияет на вращение радиометра, почему он может служить для обнаружения инфракрасного излучения достаточной мощности.

Вращение радиометра не имеет отношения к непосредственному давлению лучистой энергии (света) на тело, на которое оно падает. Это можно видеть из того, что давление света больше на хорошо отражающую поверхность и меньше на поглощающую. Давление света гораздо меньше по абсолютной величине, чем радиометрические силы, зависящие от ударов молекул и имеющие максимум при определенном давлении газа.

6. Термостолбики. Термостолбики описаны в т. III (§ 31, 3). Здесь даются только указания для производства опытов и дополнительные описания приборов, недавно появившихся в продаже. Наиболее часто в физических кабинетах встречается столбик Меллони. Этот термостолбик — дифференциальный, т. е. нагревание одной стороны может быть компенсировано нагреванием другой стороны.

Пары висмут-сурьма, из которых составлен столбик, обладают весьма большой термоэлектродвижущей силой (300 мкв на 1°С), а благодаря большой толщине проводников термостолбик Меллони обладает весьма малым сопротивлением (порядка 1—3 ома). У этого типа столбиков довольно большая тепловая инерция и большая площадь нагрева (6—8 см²).

Гальванометр для всех термостолбиков желательно иметь с возможно малым сопротивлением и особенно с возможно малым критическим сопротивлением (т. III, § 8, 5). В случае, если сопротивление термостолбика значительно ниже критического, придется включить последовательно с термостолбиком сопротивление, так как работать с гальванометром, медленно возвращающимся к нулю, бывает очень неудобно.

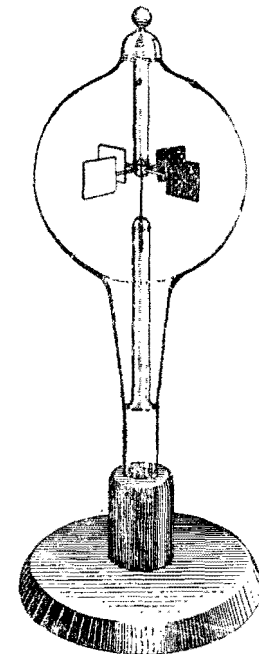


Рис. 610. Радиометр Крукса.

Чувствительность термостолбика определяется числом элементов и применяемым гальванометром. Чувствительность столбика Меллони с гальванометром Физик ($R = 30$ омам; тип 3—1) достаточна, чтобы обнаружить тепловое излучение тела человека в одежде на расстоянии 2—3 м.

Термостолбик Меллони вполне пригоден для всех опытов с чистой энергией, кроме опыта с распределением энергии в спектре, так как в нем рабочая поверхность имеет квадратную форму и его чувствительность недостаточна для тех условий, при которых можно получить спектр в условиях школьного физического кабинета. Для этого опыта удобнее столбик Рубенса или Института школ.

7. Термостолбик Института школ. Появившийся в продаже термостолбик Института школ (рис. 611) имеет один ряд спаев и поэтому он не дифференциальный. Спаи расположены в одну линию и поэтому столбик пригоден для исследования распределения энергии в спектре. Столбик состоит из 49 термоэлементов железоконстантан, имеющих форму пластинок. Спаи термоэлементов сварены электросваркой. Сопротивление элемента равно около 5 омов. Термостолбик имеет конус,

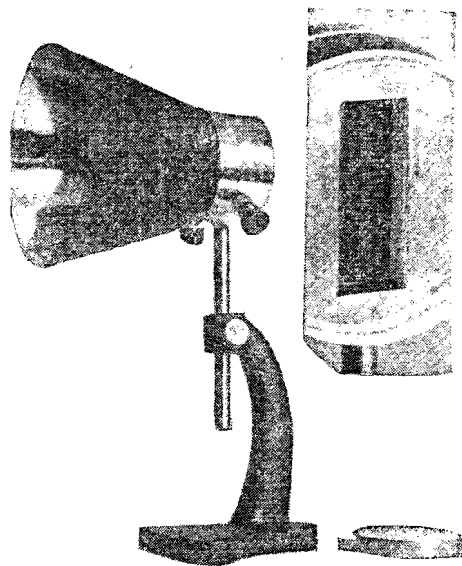


Рис. 611. Термостолбик И. Ш.

увеличивающий его чувствительность при опытах, где линейность в расположении слоев не имеет значения.

С гальванометром Физик столбик дает отклонение (на демонстрационной шкале с делениями по 5 см, расположенной на расстоянии 2 м от гальванометра) в одно деление от излучения тела человека на расстоянии в 6 м.

При опытах с термостолбиком не надо долго к нему прикасаться руками, так как можно прогреть вторые спаи, залитые мастикой внутри оправы. До опыта столбик должен быть все время закрыт крышкой.

§ 62. Опыты с тепловым излучением.

1. Сравнение излучения черной и блестящей поверхностей.
1) Куб Лесли. 2) Приемник инфракрасных лучей. 3) Сосуд с кипятком. 4) Кусок картона. 5) Подставка для куба.

Куб Лесли наполняют кипящей водой и ставят на демонстрационном столе на какой-нибудь высокой подставке. Рядом ставят приемник на расстоянии, подбираемом опытом и зависящим от чувствительности приемника. Сначала куб обращают к приемнику черной сторо-

ной; ждут, пока показания манометра (если приемник представляет собой коробку) или гальванометра (если приемником является термостолбик) не перестанут расти. Тогда, не меняя других условий

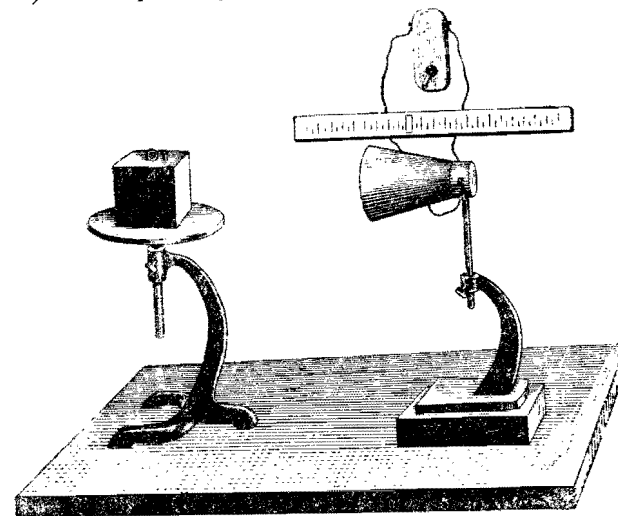


Рис. 612. Демонстрация куба Лесли с термостолбиком.

опыта, поворачивают куб блестящей стороной. Показания уменьшаются в несколько (5—10) раз в зависимости от качества поверхностей (рис. 612).

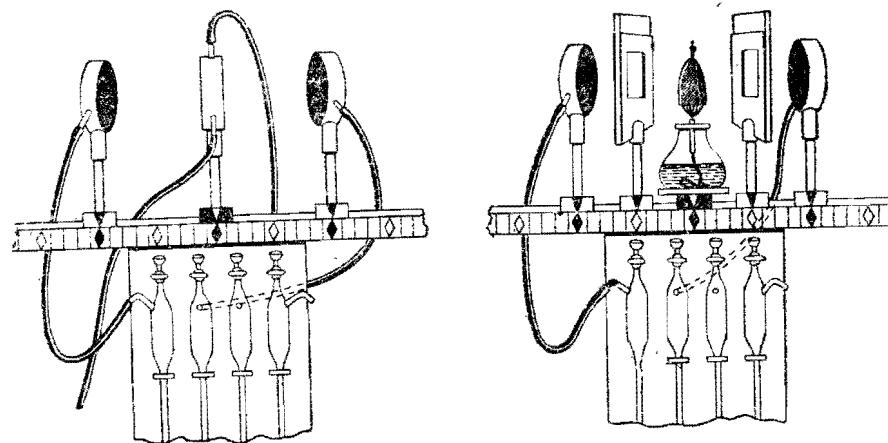


Рис. 613. Демонстрация куба Лесли.

Можно загородить куб куском картона и убедиться, что нагревание происходит вследствие излучения от кубика Лесли. При употреблении термостолбика вода, налитая в куб, может иметь довольно низкую температуру.

С той же установкой можно показать значение характера поверхности приемника. Для этого к черной поверхности куба надо повернуть блестящую поверхность приемника.

Можно комбинировать другие грани куба, но результаты не будут такими ясными. Этот опыт можно также сделать с термоскопом Кольбе. Расположение деталей изображено на рисунке 613 слева.

2. Теплопрозрачность (качественные опыты). 1—5) См. опыт 1. 6) Пластинки из стекла, эбонита, картона и дерева. 7) Лист толстого картона с отверстием.

С описанной выше установкой можно показать различную теплопрозрачность разных тел. Для опыта надо иметь стекло, эбонит, картон и дерево одинаковой толщины (1—1,5 мм). Между кубом и приемником ставится толстый картон с отверстием, приходящимся на линии, соединяющей куб и приемник. Отверстие закрывают последовательно картоном, стеклом, эбонитом и замечают показания манометра.

Если показания очень малы, надо или приблизить излучатель к приемнику или увеличить температуру излучателя. Можно сравнить теплопрозрачность стекла и кварца, закрывая отверстие один раз пустой стеклянной колбой или чашкой, а другой раз — кварцевой. Кварцевая посуда продается, и небольшая кварцевая колба или чашка должна быть в физическом кабинете. Алюминиевая фольга, несмотря на свою малую толщину, совершенно не прозрачна (однако легко прогревается и сама начинает излучать).

3. Теплопрозрачность (количественно). 1) Излучатель (куб Лесли или колба с кипятком). 2) Термостолбик. 3) Зеркальный гальванометр. 4) Пластинки из эбонита и стекла.

Термостолбик нагревается излучением какого-либо инфракрасного источника, дающего постоянное излучение (колба с кипящей водой, куб Лесли, обогреваемый паром или просто налитой горячей водой). Источник ставится на таком расстоянии, чтобы нагревание давало отклонение во всю шкалу гальванометра (20 делений). Затем между термостолбиком и излучателем ставят тонкую эбонитовую пластинку, стекло одинаковой толщины и замечают показания гальванометра. Отношение отклонений будет приблизительно равно отношению поглощающих способностей взятых веществ.

Желая учесть увеличение поглощения из-за разной толщины пластинок, надо иметь в виду, что поглощение происходит по закону:

$$I = I_0 e^{-kd},$$

где e основание натуральных логарифмов; d — толщина пластинки; k — коэффициент поглощения; I_0 — интенсивность падающего излучения, а I — интенсивность проходящего через пластинку излучения.

При этом еще условно принимается, что отражение одинаково для всех сортов пластинок, а это не совсем правильно. Чтобы определить коэффициент поглощения, надо определить пропущенные интенсивности для двух толщин d_1 и d_2 ; пусть они будут I_1 и I_2 ; тогда

$$I_1 = I_0 e^{-kd_1} \text{ и } I_2 = I_0 e^{-kd_2};$$

деля эти уравнения друг на друга, получаем:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{e^{-kd_1}}{e^{-kd_2}};$$

откуда после логарифмирования находим:

$$k = \frac{\ln \frac{I_1}{I_2}}{d_2 - d_1} = \frac{2,3026 \lg \frac{I_1}{I_2}}{d_2 - d_1}.$$

Так как в формулу входит только отношение $\frac{I_1}{I_2}$, то безразлично, в каких единицах измерена та и другая пропущенная интенсивность.

Грубое количественное сравнение теплопрозрачности двух пластинок одинаковой толщины можно произвести также с помощью термоскопа Кольбе. Расположение приемников, источника излучения и теплопрозрачных пластинок показано на рисунке 613 справа.

4*. Остывание блестящего и черного тел. 1) Две колбы (посеребренная и зачерненная). 2) Два термометра. 3) Две пробки. 4) Сосуд с горячей водой. 5) Часы.

Берут две небольшие одинаковые колбы (100—150 см³); одну серебрят, а другую закапчивают тонким слоем. В обе колбы наливают горячей воды и быстро опускают термометры, пропущенные через пробки, которыми закрываются колбы.

Через равные промежутки времени (30 сек. или 1 мин.) отсчитывают одновременно показания обоих термометров и записывают их показания.

Если работа ставится для всего класса, удобно сигнал для отсчета давать звонком.

По прошествии 20—30 мин. опыт прекращают и строят на миллиметровой бумаге график остывания черного и блестящего тел.

Кроме колб, можно пользоваться тонкостенными металлическими цилиндриками ($d=30$ мм; $l=10-12$ см) или любыми сосудами одинаковой формы (рис. 614).

Блестящий сосуд должен быть совершенно чисто вытерт и хорошо блестеть.

5. Закон Стефана. 1) Медный шарик. 2) Термостолбик. 3) Зеркальный гальванометр. 4) Магазин сопротивлений. 5) Сосуд с кипятком. 6) Горелка (газовая или бензиновая).

Качественно возрастание излучения с температурой можно показать при помощи такого опыта. Соединяют термостолбик с зеркаль-

4) Переходя от натуральных логарифмов к десятичным.

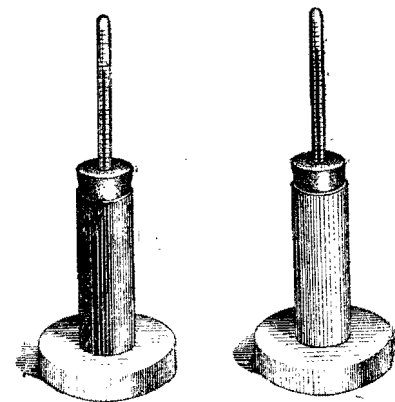


Рис. 614. Сосуды для сравнения излучения черного и блестящего тел.

ным гальванометром, причем готовят возможность ввести в цепь магазин сопротивления, который может уменьшать чувствительность гальванометра примерно в 20—30 раз.

В качестве излучающего тела берут медный шарик. Его сначала нагревают в кипящей воде и быстро устанавливают на определенном расстоянии от термостолбика.

Величину шарика и расстояние подбирают так, чтобы отклонение зайчика было не меньше половины шкалы. При этом опыте уменьшающее чувствительность сопротивление в цепь не вводится.

Абсолютная температура шарика будет около 350°K (учитывая понижение при охлаждении).

Затем шарик нагревают на бензиновой или газовой горелке вдали от термостолбика до едва заметного красного каления. Шарик вновь подносят к термостолбику, — зайчик убегает за шкалу. Шарик ставят на прежнее место и быстро вводят сопротивление, добиваясь прежнего отклонения гальванометра.

Во втором случае температура шарика будет около 800°K . По закону Стефана излучение должно увеличиться в отношении четвертых степеней, т. е. в $\frac{800^4}{350^4}$ раз, или примерно в 25 раз. Это

число указывает на размер необходимого сопротивления. Большее нагревание увеличит электродвижущую силу термостолбика в 25 раз. Чтобы сила тока через гальванометр осталась без изменения, нужно в 25 раз

увеличить сопротивление цепи. Например, если сопротивление термостолбика равно 10 омам, а сопротивление гальванометра 50 омов, т. е. всего 60 омов, то надо ввести сопротивление в $60 \cdot 25 = 1440$ омов. Следовательно, достаточно обычного магазина сопротивления с добавкой 1000 омов.

В качестве излучающего тела можно воспользоваться спиралью из проволоки, нагреваемой электрическим током; о температуре проволоки судят по ее цвету.

Для поддержания более определенной температуры излучателя можно взять закопченные колбы одинакового размера. Температуру жидкости в колбе можно измерять термометром. Для температуры в $100^{\circ}\text{C} = 373^{\circ}\text{K}$ нужно взять кипящую воду; для температуры на $20\text{—}50^{\circ}$ выше — наполнить колбу смазочным маслом. При небольшой разнице температур закон не будет так ярко выражен.

6. Тепловой прожектор. 1) Лучевая печь. 2) Источник тока (120 в).

Весьма полезно иметь в физическом кабинете электрическую лучевую печь, представляющую собой большое вогнутое зеркало, в фокусе которого помещен нагреватель из проволочной спирали, намотанной на глиняный каркас (рис. 615). Эта печь может служить для опыта с отражением инфракрасных лучей и представляет собой тепловой прожектор.

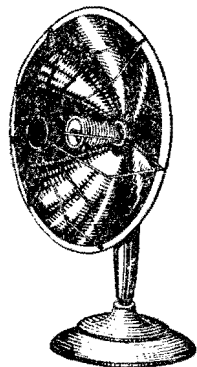


Рис. 615. Лучевая печь.

Включив в проволоку ток и подождя несколько минут, пока глина прогреется, направляют печь на класс. Ощущение тепла обычно чувствуется до последних рядов класса.

Удобно несколько переконструировать печь, сделав так, чтобы излучатель можно было передвигать дальше от зеркала для большей концентрации пучка лучей.

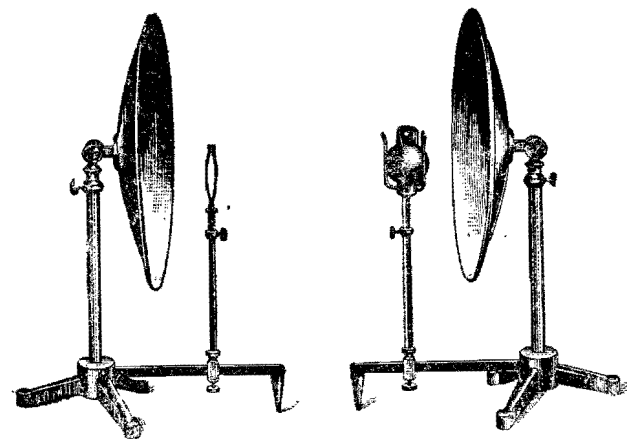


Рис. 616. Зеркала Пикте.

7. Зеркала Пикте. 1) Два зеркала Пикте. 2) Металлический шарик. 3) Горелка. 4) Спичка; кусочек киноленты.

Отражение инфракрасных лучей демонстрируется старинным опытом, впервые произведенным в Женеве Пикте и Сосюром. Два металлических зеркала ($d = 30\text{—}40\text{ см}$) располагаются друг против друга на расстоянии 2—5 м (рис. 616). Зеркала обычно бывают сделаны из тонкого выдавленного металлического листа; желательно, чтобы они имели достаточно правильную сферическую или параболическую форму.

Установка зеркал так, чтобы их оси совпадали, делается с каким-либо источником света (электрической лампочкой или свечой). Источник света помещают в фокусе одного зеркала, отыскивая его по световому кругу, получающемуся от отраженного пучка. Круг должен быть приблизительно равен диаметру зеркала. Можно руководствоваться тем, что фокус лежит от зеркала на половине радиуса.

Второе зеркало ставят так, чтобы пучок падал на него и им собирался в фокусе.

В качестве источника инфракрасного излучения берут металлический шарик (шар Гравезанда), сильно разогретый, и ставят его на то же место, где стояла электрическая лампочка.

В качестве приемника можно использовать: головку спички; кусок старой киноленты, которая легко загорается; закопченный стеклянный шарик, соединенный с водяным манометром, или термостолбик.

Эффектна следующая постановка опыта. На столе по его концам заранее устанавливаются, как указано выше, два зеркала и в фокусе одного укрепляют спичку. При производстве опыта сильно нагретый шарик помещают в фокус другого зеркала. Через несколько мгновений спичка вспыхивает.

В качестве зеркал Пикте можно использовать две лучевые печки. Накаливаемую током проволоку надо только несколько отодвинуть, так как печка дает расходящийся конус лучей.

8. Зажигание спички лучистой энергией. 1) Конденсор от проекционного фонаря. 2) Большая линза. 3) Большое вогнутое зеркало. 4) Колба с водой (на 2 л). 5) Вольтова дуга или электролампа (на 500—1000 вт). 6) Спички.

Зажечь спичку можно в фокусе конденсора, если источником света служит вольтова дуга или 500—1000-ваттная лампа.

Дрентельн рекомендует головки спичек покрывать сажей, держа над сильно коптящим пламенем.

Для зажигания лучами Солнца надо открывать окно и пользоваться стеклом с диаметром не менее 20 мм и с фокусным расстоянием около 5—10 см.

Особенно эффектен [опыт с большим стеклом ($d=15$ см, $F=20$ см)] или с большим вогнутым зеркалом, но только надо помнить, что в этом случае можно сильно обжечь руку, если она случайно попадет в фокус. При установке стекла или зеркала надо заботиться, чтобы плоскость стекла была перпендикулярна лучам Солнца.

Вместо оптического стекла можно взять круглую большую (2 л) колбу (или круглый графин), наполненную водой.

9. Колба с раствором иода в сероуглероде. 1) Колба с сероуглеродом. 2) Проекционный фонарь с вольтовой дугой. 3) Спички.

Берут прочную круглодонную колбу, наливают в нее сероуглерода так, чтобы жидкость доходила до горлышка. В сероуглероде растворяют иод, прибавляя кусочки иода до тех пор, пока жидкость не станет непрозрачной. К горлышку колбы подбирают стеклянную легко в него входящую пробку от разбитой склянки. Пробку вклеивают в горлышко поргланским цементом, замешанным на жидком стекле.

Эта замазка весьма быстро твердеет, но не растворяется в сероуглероде и прилипает к стеклу. Колбу укрепляют в толстой дощечке с круглым прорезом (рис. 617) и делают дуги из проволоки, предохраняющие колбу от удара и служащие подставкой.

Прибор требует и исключительно бережного обращения.

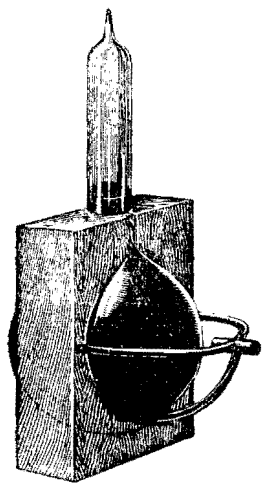


Рис. 617. Колба с сероуглеродом.

Если пролито большое количество сероуглерода, то он легко может вспыхнуть, что может грозить пожаром, к тому же сероуглерод ядовит и очень скверно пахнет (тухлой редькой).

Сняв конденсор с проекционного фонаря, колбу ставят около отверстия для конденсора. Тепловые лучи колбы собираются в фокусе, лежащем от поверхности колбы примерно на одну треть радиуса шара колбы. В этот фокус помещают головку спички, и она быстро вспыхивает.

10. Цвета нагреваемой проволоки. 1) Кусочек проволоки или электролампа. 2) Реостат. 3) Источник переменного тока. 4) Понижающий трансформатор.

Платиновую или никелевую проволоку (длиной около 20—30 мм, диаметром около 0,8—0,6 мм) включают в цепь последовательно с реостатом, способным выдержать ток до 30 а.

Сопротивление реостата зависит от напряжения тока. Удобно воспользоваться понижающим трансформатором, тогда можно включить реостат в 20—30 омов в первичную цепь, питаемую током в 120 в. Вместо платиновой проволоки можно взять большую электрическую лампу с возможно толстым волоском.

В полной темноте (через 10—15 мин.) начинают увеличивать силу тока, выводя реостат. Замечают появление вишнево-красного цвета и переходы к красному, желтому, ослепительно белому по мере увеличения силы тока. Опыт поясняет закон Вина о смещении максимума энергии при повышении температуры в сторону коротких волн.

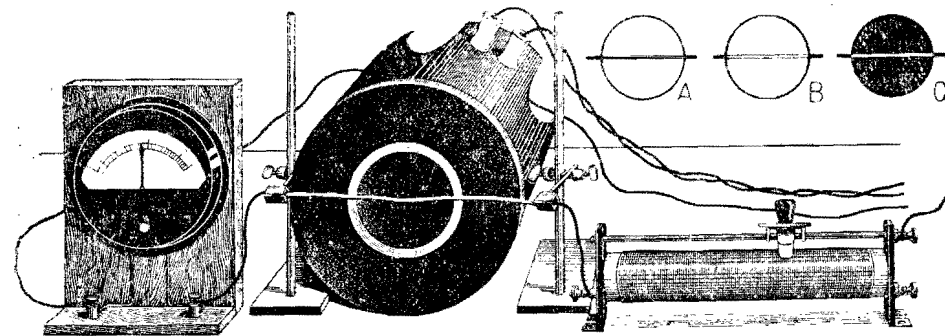


Рис. 618. Модель оптического пирометра: А — проволока холодной печи; В — проволока не видна, температура одинакова; С — проволока горячей печи.

11. Модель оптического пирометра. 1) Тигельная электрическая печь. 2) Кусок никелиновой или железной проволоки. 3) Амперметр. 4) Реостат.

Электрическую печь или колбонагреватель разогревают; кладут на какую-нибудь подставку, чтобы ее отверстие было обращено к ученикам. Поперек отверстия укрепляют кусок более тонкой проволоки на достаточно толстых проводах. Проволоку вводят в цепь тока через реостат и амперметр (рис. 618).

Диаметр проволоки зависит от пределов шкалы амперметра и максимальной силы тока, которую можно взять из сети или при помощи трансформатора.

Опыт производится при затемненной аудитории.

Пока проволока холодная, она кажется черной на фоне горячей печи. По мере разогревания проволоки, она все больше и больше сравнивается по цвету с фоном печи, делается невидной и затем при дальнейшем нагревании опять становится видной как более светлая, чем фон. Когда проволока исчезает, замечают показания амперметра. Это показание для данной проволоки служит характеристикой температуры ее и температуры печи. Дают печи несколько остынуть и снова проделывают тот же опыт. Амперметр при исчезновении проволоки дает меньшие показания.

Чтобы проволока была лучше видна, ее лучше брать не очень тонкой ($d = 1-1,5$ мм); тогда необходимая сила тока будет около 15—25 а.

12. Распределение энергии в спектре. 1) Установка для проектирования спектра (§ 52, 1). 2) Термостолбик. 3) Зеркальный гальванометр.

Получают на экране спектр при помощи проекционного фонаря и призмы. В качестве источника света лучше всего взять вольгову

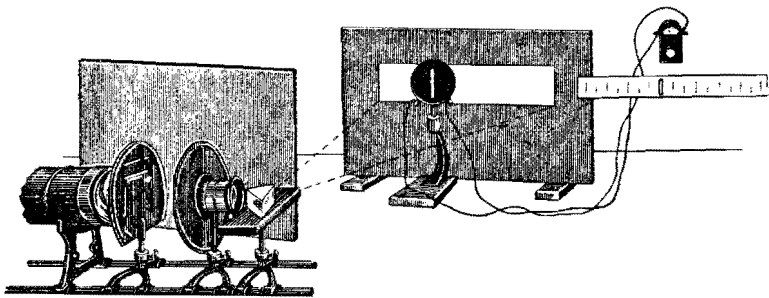


Рис. 619. Демонстрация распределения энергии в спектре.

дугу, но можно пользоваться прожекторной лампой мощностью в 500 вт. Источник света должен обладать достаточной мощностью. Стекло довольно сильно поглощает инфракрасные лучи, почему желательно пользоваться кварцевой оптикой или по возможности более тонкими стеклами. Это относится, главным образом, к объективу, вместо которого лучше взять простую линзу. Щель берут достаточно широкую ($b = 2-3$ мм). Призма желательно большая, лучше всего из каменной соли или полая, наполненная сероуглеродом. Установка оптической системы обычная.

Термостолбик ставят на пути лучей, примерно посередине между экраном и призмой так, чтобы его тень была видна на экране. Можно к термостолбику над его щелью укрепить узкий кусочек белого картона. По тени в спектре или по окраске картона видно, какими лучами термостолбик нагревается (рис. 619).

Сначала термостолбик ставят в фиолетовые лучи и отсчитывают показания гальванометра на шкале. Затем термостолбик перемещают по спектру к красному концу. Показания сначала немного, а затем, когда термостолбик будет освещен красными и инфракрасными лучами, значительно увеличиваются.

Необходимая предосторожность заключается в том, чтобы на термостолбик не падало излучение от корпуса фонаря и от людей, находящихся в комнате. Для защиты ставят несколько картонных листов.

Термостолбик с гальванометром дает возможность показать опыт с 500-ваттной лампой и обыкновенной флинтовой призмой ($b = 20$ мм).

13. Модель абсолютно черного тела. 1) Колба Дьюара. 2) Сосуд с горячей водой. 3) Термостолбик. 4) Зеркальный гальванометр.

Как известно, из небольшого отверстия в оболочке, имеющей внутри всюду одинаковую температуру, исходит абсолютно черное излучение. Зная эту температуру, можно по закону Стефана и по константе излучения абсолютно черного тела определить абсолютную величину мощности излучения и составить представление об абсолютной чувствительности употребляемых индикаторов.

Наиболее просто осуществлять абсолютное черное тело, взяв для опыта колбообразный сосуд Дьюара и налив в него масла, имеющего температуру, близкую к 100° .

Излучение можно будет удобно изучать, если сосуд стоит несколько наклонно. Излучение будет исходить из горлышка сосуда. При 100° С. каждый квадратный сантиметр горлышка будет излучать $1,106 \cdot 10^8$ эрг · см⁻² · сек⁻¹, или $2,67 \times 10^{-2}$ кал · см⁻² · сек⁻¹. Обмен тепла с окружающим пространством весьма мал, и излучение несколько десятков минут будет постоянным.

Ставя над сосудом термостолбик (рис. 620) на определенном расстоянии, можно приблизительно оценить его абсолютную чувствительность. Используя столбик Меллони, дающий возможность компенсировать одно излучение другим, можно оценить в абсолютных единицах излучение нагретого шарика, электрической лампы и других излучателей.

Расчет ведется по следующей формуле:

$$Q = \sigma_0 T^4 \frac{S_1 \cdot S_2}{R^2},$$

справедливой, когда величина поверхностей мала по сравнению с расстоянием между ними и плоскости параллельны; σ_0 ¹⁾ — константа абсолютно черного тела; S_1 и S_2 — поверхности черного тела и приемника;

1) Не надо смешивать σ в законе Стефана, когда учитывают полное излучение, с $\frac{\sigma}{\pi} = \sigma_0$, когда рассчитывают излучение внутри определенного телесного угла.

R — расстояние между ними; Q — количество энергии, получаемое одним квадратным сантиметром термостолбика.

Константа σ_0 закона Стефана, равная $\frac{\sigma}{\pi}$, равна $\sigma_0 = 1,8172 \times 10^{-12} \text{ вт} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{градус}^{-4} = 1,8172 \times 10^{-5} \text{ эрг} \cdot \text{сек}^{-1} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{градус}^{-4} = 0,435 \times 10^{-12} \text{ кал} \cdot \text{сек}^{-1} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{градус}^{-4}$.

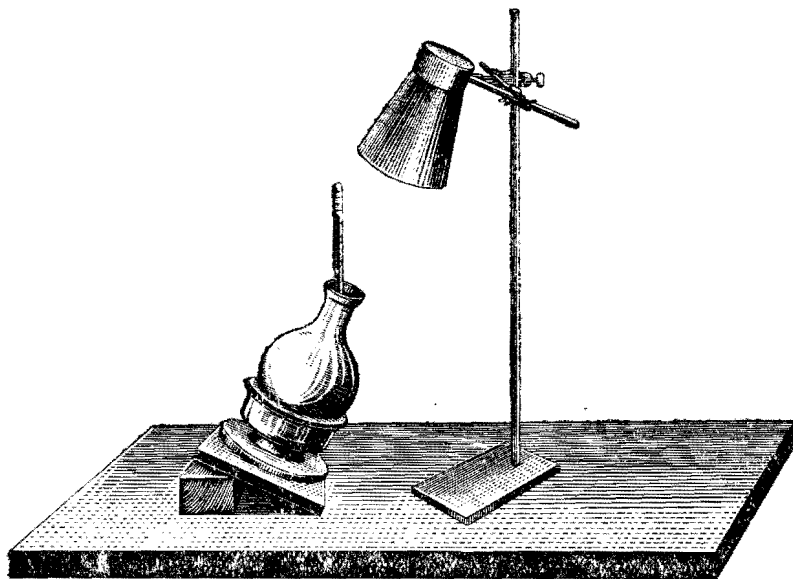


Рис. 620. Модель абсолютно черного тела.

§ 63. Источники ультрафиолетовых лучей.

Самым обычным и простым источником ультрафиолетовых лучей является вольтова дуга, особенно между простыми (не пламенными) углями (сила тока до 15 а) при непосредственном ее действии. Надо иметь в виду, что стекло очень сильно поглощает короткие ультрафиолетовые лучи ($\lambda < 0,3 \mu$), почему применение конденсора не имеет смысла в том случае, если желают получить и более коротковолновую радиацию. Желательно применение кварцевой оптики.

Другим сильным источником является кварцевая ртутная лампа, применяемая для медицинских целей („горное солнце“ и другие меньшего размера лампы). Рекомендуют также вольтову дугу между железными электродами (напряжение в несколько тысяч вольт).

Довольно значительное количество ультрафиолетовых лучей, сравнительно длинноволновых, дает большая газополная лампа, особенно, если она работает при повышенном вольтаже. Изготавливая баллон лампы из стекла, прозрачного для коротковолновых лучей, получают весьма удобный источник ультрафиолетовой радиации („жизненный свет“).

Сильным источником является также горящая лента магния.

§ 64. Выделение ультрафиолетовых лучей.

Все источники ультрафиолетовых лучей дают также весьма яркий видимый свет, почему для ряда опытов с флуоресцирующими веществами желательно задержать все видимые лучи, пропустив только одни ультрафиолетовые (длина волны меньше $0,4 \mu$).

Таковыми фильтрами могут быть: 1) специальное черное стекло, изготовляемое для этой цели (окрашенное солями никеля), или специальный светофильтр ФС2 Изюмского завода; 2) тонкая слюдяная или стеклянная пластинка, настолько слабо посеребренная, что она остается прозрачной; 3) раствор водно-спиритово-анилиновых красок в такой концентрации, чтобы 1 см раствора совершенно задерживал видимые лучи, или раствор хлористого никеля. В последнем случае стеклянные пластинки также должны быть очень тонкими или сделаны из стекла, пропускающего ультрафиолетовые лучи.

Закрыв источник, даже не совершенный, ультрафиолетового излучения, например газополную лампу, непрозрачным колпаком с отверстием и поставив перед ним фильтр, мы получаем за ним поток одних ультрафиолетовых лучей. Глаз, чувствительность которого не уменьшена посторонним светом, гораздо ярче воспринимает явления флуоресценции. Если пренебречь поглощением в стекле, можно применить конденсор и перед фильтрацией собрать лучи в параллельный пучок. Еще лучше для получения параллельного пучка лучей воспользоваться вогнутым зеркалом.

Выделение ультрафиолетовых лучей возможно и при помощи разложения света призмой. Однако это трудно осуществимо без применения кварцевой оптики: обычная стеклянная оптика сильно поглощает ультрафиолетовые лучи; лучи значительно ослабляются, а более коротковолновые совершенно задерживаются.

При применении кварцевой оптики и кварцевой призмы или призмы из каменной соли этот способ вполне применим.

Спектр от дифракционной решетки обычно очень мало ярк и поэтому непригоден.

§ 65. Обнаружение ультрафиолетовых лучей.

1) Получив спектр (пользуясь лучше всего кварцевой оптикой), как обычно, проектируют его на экран, покрытый платиново-синеродистым барием, применяемым для обнаружения рентгеновых лучей. Часть экрана закрывают белой бумагой. Сравнивая цвета спектра на экране и на бумаге, убеждаются, что зеленое свечение экрана продолжается и за фиолетовой частью спектра, где на бумаге ничего не видно.

2) Вносят в спектр предмет из уранового стекла¹⁾. Замечают яркое свечение не только в фиолетовой, но и в ультрафиолетовой

¹⁾ Урановое стекло (стекло, окрашенное солями урана) на просвет имеет желтый цвет, а флуоресцирует зеленым. Из уранового стекла делают специальные пластинки, вазочки и чашечки для украшения. Иногда трубочки из уранового (зеленого) стекла бывают впаины в гейслеровы трубки.

области. Тот же опыт можно сделать, взяв пробирку, наполненную раствором флуоресцина или эозина. Пробирку проводят по спектру, начиная с красного цвета, где она не светится. Отмечают возникновение флуоресценции при переходе в синие, фиолетовые и ультрафиолетовые лучи.

3) Кроме платино-синеродистого экрана, возможно применение экрана из сернистого цинка (из случайно разбитой кружковой трубки и набора фосфоресцирующих веществ¹⁾).

4) В перечисленных выше способах для обнаружения ультрафиолетовых лучей использовалось явление фотолюминесценции. Можно использовать еще явления фотоэффекта и фотохимические реакции, что, однако, значительно менее удобно для демонстрации. Вакуумные фотоэлементы с щелочными металлами будут действовать в ультрафиолетовой области не хуже, чем в видимых лучах.

5) Из фотохимических реакций можно использовать бромосеребряную бумагу и соединение водорода с хлором под действием ультрафиолетовых лучей. В последнем случае надо иметь кварцевую пробирку и освещать в ней газы светом вольтовой дуги. Не мешает помнить, что соединение этих газов и образование хлористого водорода происходит со взрывом.

§ 66. Современная терминология по люминесценции.

Явления люминесценции были известны очень давно, но только сравнительно в недавнее время получили правильное теоретическое объяснение.

Люминесценция происходит от различных причин, в зависимости от чего люминесценция получает то или иное название. Приведем следующую таблицу:

Название	Причина
Фотолюминесценция	Поглощение света
Пиролюминесценция	Нагревание в пламени
Электролюминесценция	Электрический разряд в газах
Катодолюминесценция	Бомбардировка катодными лучами
Анододлюминесценция	Бомбардировка анодными лучами
Радиолюминесценция	Лучи радия (α , β , γ)
Рентгенолюминесценция	Лучи Рентгена
Кристаллолюминесценция	Кристаллизация из растворов
Триболюминесценция	Механическое раздробление кристаллов
Термолюминесценция	Небольшое нагревание после предварительного возбуждения светом или корпускулярными лучами
Хемилюминесценция	Химические процессы
Биолюминесценция	Химические процессы в живых организмах

¹⁾ Рентгеновский экран из вольфрамокислого цинка (белого цвета) для опытов с ультрафиолетовыми лучами не пригоден.

Фотолюминесценция, продолжающаяся сравнительно долгое время после освещения, носит название фосфоресценции; фотолюминесценция, практически почти мгновенно исчезающая после прекращения освещения, называется флуоресценцией.

Так как граница продолжительности не может быть точно установлена и не имеет существенного значения, то термин флуоресценции относят иногда только к свечению, вызванному рентгеновыми и гамма-лучами.

Фотолюминесценция отличается от рассеяния и отражения света тем, что при этом виде свечения испускаемое каждой молекулой излучение не независимо по фазе от излучения других молекул и не независимо от фазы падающей световой волны, как это бывает при отражении и рассеянии света.

Продолжительным послесвечением обладают почти исключительно твердые тела.

Длина волн испускаемого света всегда больше падающего (правило Стокса).

Интенсивность фотолюминесценции определяется по 8-балльной шкале:

- 1 — свечение столь слабо, что нельзя определить его цвета, и оно заметно только в полной темноте привычным глазом;
- 2—3 — интенсивность свечения достаточна для определения цвета;
- 4—5 — свечение заметно при неполной темноте; для глаза, привыкшего к темноте, весьма ярко.
- 6 — цвет различается даже не в полной темноте.
- 7—8 — фотолюминесценция освещает печатный текст настолько ярко, что его можно читать.

Послесвечение редко бывает выше 4-го балла шкалы.

§ 67. Фосфоры Ленара.

Явления фотолюминесценции, продолжающейся длительное время после освещения, были изучены немецким физиком Ленаром и носят его имя. Фосфоры Ленара представляют собой сернистый металл (Ca, Sr, Ba и др.), соединенный при прокаливании с небольшим количеством тяжелого металла (Cu, Mn, Pb). Для более легкого плавления добавляют какой-нибудь плавень ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, CaF_2 и т. д.). Пропорции приблизительно такие: на 3 г сернистого металла приходится 5×10^{-5} — 1×10^{-3} г тяжелого металла и 0,1 г плавня.

Примеры:

- 1) $1,0 \text{ CaS} + 0,0007 \text{ Cu} + 0,07 \text{ Na}_2\text{SO}_4 + 0,023 \text{ NaF}$ прокаливают 15 мин. до яркокрасного каления. Свечение интенсивностью в 4 балла.
- 2) $1,0 \text{ CaS} + 0,0047 \text{ Mn} + 0,05 \text{ Na}_2\text{SO}_4 + 0,025 \text{ CuF}_2$ прокаливают при 1050° в течение 15 мин.; интенсивность в 4 балла.
- 3) $1,0 \text{ SrS} + 0,00017 \text{ Zn} + 0,03 \text{ CaF}_2$; 4 мин. слабого каления; растирают добавляют серы и сильно калят 12 мин. Интенсивность 7, цвет желтовато-зеленый.
- 4) $1,0 \text{ SrS} + 0,00008 \text{ Bi} + 0,09 \text{ Na}_2\text{SO}_4$; прокаливают 12 мин. Интенсивность 8. (Na_2SO_4 можно заменить $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ в том же количестве).
- 5) $1,0 \text{ BaS} + 0,00006 \text{ Bi} + 0,03 \text{ K}_4\text{B}_6\text{O}_{10}$ прокаливают 12 мин.; цвет желтовато-зеленый, интенсивность 8.

6) $1,0 \text{ ZnS} + 0,002 \text{ Mn} + 0,05 \text{ CaF}_2 + 0,05 \text{ KCl}$; прокаливают при $1200\text{--}1300^\circ$ в течение 30 мин.; цвет золотисто-желтый, интенсивность 8.

Цвета фосфоров значительно меняются от неуловимых примесей и способа обработки. Вещества должны быть очень чистые; возможно загрязнение от тигля; лучше употреблять платиновый тигель и электрическую печь. Рецепты показывают, что приготовление фосфоров требует исключительной тщательности и подвержено случайным удачам и неудачам.

Обычно в практике физического кабинета эти фосфоры (рис. 621) применяются насыпанными в запаянные стеклянные трубочки. Трубочки помещены в коробочку, покрытую черным бархатом.



Рис. 621. Набор фосфоресцирующих веществ.

При демонстрации фосфоры освещаются 1—2 мин. прямым светом вольтовой дуги сильной газополной лампы (500 *вт*) или солнечным светом, что значительно менее удобно. Свет лампы не должен освещать учеников, так как свечение хорошо видно только для глаза, вполне привыкшего к темноте; поэтому сама демонстрация послесвечения должна происходить в полной темноте через достаточное время после затемнения.

Изменение чувствительности глаза продолжается около 15—20 мин. Цвет фосфоров зависит не только от их состава, но и от способа обработки, почему нельзя особо связывать цвет с элементами, входящими в состав фосфора.

В наборе обычно подбирают фосфоры, светящие разными цветами, но это делается только для придания явлению особой красоты.

§ 68. Различные явления люминесценции.

К другим явлениям свечения, происходящего при низкой температуре, надо отнести:

1) Свечение сахара при раскалывании. Кусок сахара рафинада колот щипцами или стамеской и молотком в полной темноте, когда глаз вполне к ней привык (15—20 мин.). Раскалывание сопровождается свечением (триболюминесценция).

2) Плавленый шпат, освещенный вольтовой дугой и нагретый до $200\text{--}300^\circ$, светится в темноте (термолюминесценция).

3) Свечение бактерий и живых существ: светящие гнилушки, морская вода (ночесветка), светляки и пр. (биоломинесценция).

4) Очень многие вещества обладают яркой, остающейся после освещения, фотолюминесценцией при низких температурах.

Так, имея жидкий воздух и охладив в нем яичную скорлупу, керосин, мел, парафин, стеарин и осветив эти вещества ярким светом, после при затемнении можно наблюдать яркую фосфоресценцию.

§ 69. Фосфоресценция.

1. Тушение фосфоресценции инфракрасными лучами. Для опыта удобнее всего иметь экран, покрытый фосфоресцирующим веществом.

Можно воспользоваться и стеклянной трубочкой, наполненной фосфоресцирующей солью.

Экран или трубочку освещают светом вольтовой дуги, а затем вносят в фокус конденсора проекционного фонаря с газополной лампой (500—1000 *вт*). Лучи проходят через сосуд с водой, в которой растворена смесь анилиновых красителей, задерживающая видимые лучи. Можно пользоваться колбой с раствором иода в сероуглероде.

Освещение инфракрасными лучами тушит фосфоресценцию. Чтобы явление тушения было заметнее при освещении инфракрасными лучами, на экране или трубочке получают тень от толстой проволоки.

2. Фосфоресценция действием прямого солнечного света. Имея прямой солнечный свет или даже свет электрической дуги, проектируют действительный спектр на белый картон, обмазанный фосфоресцирующим сернистым соединением, и обнаруживают, какие части спектра вызывают фосфоресценцию. Результаты особенно отчетливы, если пользуются кварцевыми призмой и чечевицей, которые позволяют наблюдать ультрафиолетовые лучи на большом протяжении.

Этот опыт повторяют, проектируя спектр на экран с фосфоресцирующим веществом, предварительно освещенный светом Солнца, и убеждаются в том, что лучи с большой длиной волны сначала ускоряют испускание света, чтобы после этого затушить вскоре всякую фосфоресценцию.

§ 70. Флуоресценция.

1. Флуоресцирующие вещества. Сильно флуоресцирующие вещества всегда являются смесью растворителя и весьма небольшого количества активного вещества. Увеличение концентрации, а также прибавление электролитов или сложных органических веществ (анилин, нитробензол и т. д.) тушат флуоресценцию. Концентрации, дающие максимальное свечение, лежат близко к одной миллионной доле.

Вещества, цвет флуоресценции и наиболее пригодный светофильтр указаны в следующей таблице (см. табл. на стр. 390).

В продаже часто встречается набор флуоресцирующих веществ, налитых в закрытые стеклянные трубочки (рис. 622). Освещенные ультрафиолетовым или фиолетовым светом, они светятся разнообразными цветами (красным, зеленым). По большей части состав этих веществ не бывает указан.

Удобнее подобрать самому несколько хорошо флуоресцирующих веществ и составить коллекцию из нескольких (5—10) баночек с притертыми пробками, содержащих растворы (спиртовые или водяные) этих веществ достаточно большой концентрации.

При опытах из баночки коллекции несколько капель раствора капают в большие сосуды с водой.

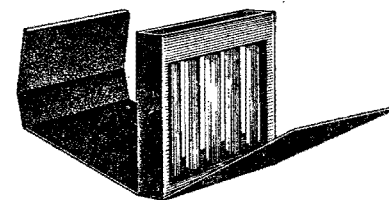


Рис. 622. Набор флуоресцирующих веществ.

Флуоресценция вещества

Вещество	Растворитель	Цвет флуоресценции (числа — длины волн максимума флуоресценции)	Светофильтр	Выход (отношение энергии света флуоресценции к энергии поглощенного света)
Акридин красный Магидала красная	Вода Этиловый алкоголь	Желто-оранжевый 565 585	Зеленый	0,08 0,54
Родамин В Родамин Шарлах Ст. Родамин 5 Ст.	Вода " " "	Желто-оранжевый 578 545 553	Зеленый	0,25 0,50 0,37
Флуоресцин " " "	Вода Метиловый алкоголь Этиловый алкоголь	Зеленый " " " " 515 520 525	Голубой или синий " " " " " "	0,80 0,74 0,66
Эозин Уранин Урановое стекло	Вода Стекло	Зеленый " " 543 514 (P)	Голубой или синий " " " " " "	0,15 0,23
Эксулин Хинин-бисульфат Нафтионовая кислота		Синий " " "	Черное стекло, окрашенное солями никеля То же "	

Коллекция будет служить долго, так как для флуоресценции концентрация вещества должна быть весьма мала.

2. Наблюдение флуоресценции. Сделать флуоресцирующей воду, прибавляя в нее чуть-чуть флуоресцину, и убедиться в том, что такая жидкость, будучи выставлена на свет, светится всей своей массой. Поместить флуоресцирующую жидкость в кюветку, имеющую приблизительно форму параллелепипеда, например в сосуд для аккумулятора, пропустить через жидкость пучок лучей света, ограниченный отверстием в экране, и убедиться, что светимость ограничена теперь лишь пучком лучей света.

Сделать воду флуоресцирующей, наливая в нее несколько капель раствора сернокислого хинина (в подкисленной серной кислотой воде) и убедиться, что полученная голубая флуоресценция видна лишь в поверхностных слоях.

Чтобы показать значительную поглощающую способность этой жидкости для лучей, вызывающих ее флуоресценцию, достаточно погрузить в нее пробирку, содержащую небольшое количество той же жидкости. Пробирка, светившаяся перед тем, вдруг гаснет, когда ее погружают во флуоресцирующую кюветку.

Показывают, наконец, что лучами, поглощенными сернокислым хинином, оказываются как раз те, которым свойственно вызывать яркую флуоресценцию.

Для этого выставляют на дневной свет на несколько секунд лист картона, покрытый слоем фосфоресцирующего сернистого калия, причем часть картона освещается непосредственно, а другая часть — светом, прошедшим сквозь флуоресцирующую кюветку. Перенеся затем этот картон в темноту, увидим, что то место, где приходилась тень сернокислого хинина, будет темным на общем фосфоресцирующем светящемся фоне. Не мешает удостовериться, что это явление не происходит с чистой водой.

3. Закон Стокса. Закон смещения Стокса легко демонстрируется применением для возбуждения различных фильтров. Фильтры, пропускающие свет большей частоты, чем частота флуоресценции, дают сильное возбуждение; фильтры же, пропускающие свет частоты меньшей, чем частота флуоресценции, свечения не вызывают. Так, при демонстрации флуоресценции уранина включение синего фильтра дает яркую флуоресценцию, а применение зеленого — лишь слабую. При красном фильтре ход пучка света становится незаметным, флуоресценции нет вовсе. При выборе фильтров следует контролировать пропускаемую ими радиацию с помощью спектроסקопа.

У многих веществ спектр флуоресценции весьма широк. Имеются случаи, когда он распространяется почти на всю область видимых лучей. В этих случаях, применяя различные фильтры, можно получить различный цвет флуоресценции раствора, изменяющийся таким образом, что частота возбуждающего света всегда превосходит частоту флуоресценции.

4. Концентрационное тушение флуоресценции. Тушение примесями. Люминесценция жидких растворов красителей обычно имеет максимум в некоторой области концентраций. При весьма малых концентрациях свечение слабо вследствие незначительности поглощения возбуждающего света. При больших концентрациях оно почти исчезает из-за явления концентрационного тушения. Постепенное нарастание концентрации раствора вызывает следующие изменения вида свечения.

При очень малых концентрациях от 10^{-8} до $10^{-6} \frac{2}{\text{см}^3}$ возбуждающий пучок проходит насквозь через весь находящийся на его пути раствор и возбуждает равномерную полосу свечения, указывающую наблюдателю дорогу пучка. Интенсивность свечения растет пропорционально поглощению, т. е. пропорционально концентрации раствора. Дальнейшее возрастание концентрации ведет к постепенному ослаблению дальних и усилению ближних к месту входа в раствор частей пучка. Он становится неравномерным, ярким при входе в раствор и

слабым в глубине. При концентрациях порядка $3 \cdot 10^{-4} \frac{2}{\text{см}^3}$ свечение прижимается к поверхности сосуда: около места входа поглощение столь сильно, что падающий свет не может уже проникнуть в глубь раствора далее, чем на десятые доли миллиметра. Приблизительно при этой же концентрации начинается концентрационное тушение, постепенно уменьшающее яркость поверхностного пятна у входа в сосуд возбуждающего света. При концентрациях порядка $10^{-2} \frac{2}{\text{см}^3}$ люминесценция становится едва заметной.

Гашение люминесценции растворов может быть также осуществлено прибавлением солей некоторых электролитов. В особенности NaJ и KJ; NaBr и KBr действуют значительно слабее. Сильными тушителями являются также некоторые сложные органические вещества: анилин, нитробензол, пирогалол и др. При достаточной концентрации иодида калия свечение может почти прекратиться. Прибавляя к раствору новые порции растворителя и уменьшая тем самым концентрацию тушителя, можно довести свечение до первоначальной величины.

§ 71. Приготовление светящихся экранов (по Ангереру).

Светящиеся экраны употребляются, главным образом, для того, чтобы сделать видимым благодаря флуоресценции невидимое излучение. Для различных лучей (ультрафиолетовый свет, рентгеновые, катодные, каналовые лучи) употребляют различные вещества и различные клеящие составы.

Можно растереть флуоресцирующее вещество с клеящим веществом и нанести эту пасту на экран. В этом случае лучи должны проникать через тонкий слой клеящего вещества и могут иногда при этом сильно ослабляться. Можно покрывать экран только клеящим веществом, затем посыпать его сверху флуоресцирующим материалом и удалять стряхиванием неприклеившийся остаток, перевортывая экран. Маленькие кристаллики приклеиваются при этом только нижней стороной. Для посыпания служит возможно более мелкая проволочная сетка (или кусок пористой материи), которую держат на высоте 20—30 см над экраном. На сетку кладут достаточное количество флуоресцирующего порошка и легкими постукиваниями просеивают его на экран. Избыток не приклеивается и потом стряхивается, почему можно насыпать густо, не заботясь о равномерности.

Употребляются прозрачные экраны, чтобы можно было наблюдать свечение с обратной стороны. Наконец, можно поступить так: разводят вещество в спирту, и после того как осядут крупные частицы, наливают суспензию в кювету, где лежит экран. Когда тонкие частицы осели, спирт сливают, оставляя небольшой слой, которому дают испариться. Такие экраны имеют наиболее тонкое зерно и не так легко повреждаются, как можно было бы ожидать.

При двух первых методах в качестве клеящего вещества служит спиртовой раствор шеллака, разведенный ксилолом, канадский бальзам или сапоновый лак. Если экран предназначен для работы в вакууме, то употребляется жидкое стекло.

Экраны для ультрафиолетового света:

- 1) Сернистый цинк. Обладает послесвечением, цвет — очень светлый, зеленый.
- 2) Антрацен; эскулин. Цвет — менее светлый, темно-голубой; без послесвечения.
- 3) Покрытая желатиной стеклянная пластинка, опущенная в раствор флуоресцина. Цвет — зеленый (без послесвечения, особенно прозрачный).

Экраны для катодных лучей:

- 1) Посыпанный на жидкое стекло сернистый цинк — свечение, как указано выше.
- 2) Вольфрамит кальция: цвет — менее светлый, голубой, не имеет послесвечения, как и большинство других фосфоров Лена ра.

Экран для каналовых лучей:

Особенно подходящ вилемит (Zn_2SiO_4), который растирается в ступке в порошок.

Для рентгеновых лучей проще всего использовать находящиеся в продаже экраны. Особенно важно иметь экран платиново-синеродистого бария, светящийся и в ультрафиолетовых лучах.

ФОТОЭФФЕКТ И ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ ПРИЕМНИКИ.

§ 72. Фотоэффект.

1. **Виды фотоэффекта и фотоэлементов.** Излучение электронов с поверхности некоторых веществ под влиянием падающей на них лучистой энергии носит название фотоэффекта. Однако такое обычное определение является далеко не полным для фотоэлектрических явлений.

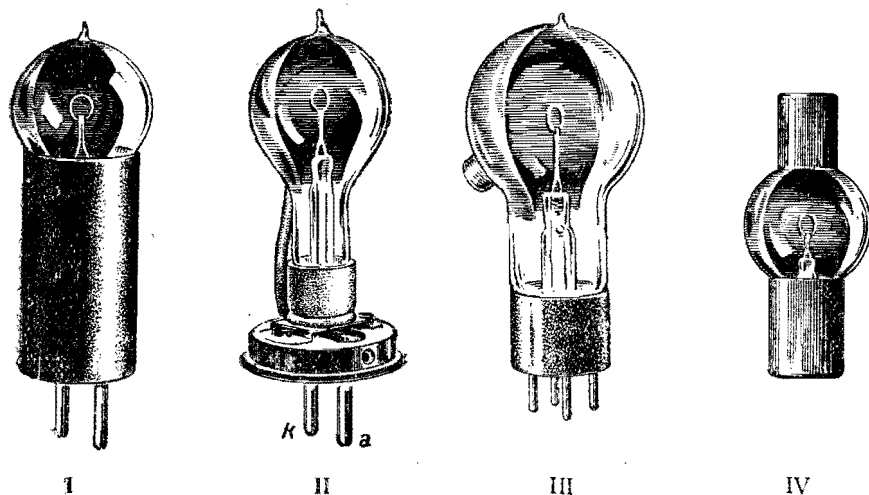


Рис. 623. Фотоэлементы с внешним фотоэффектом: кислородо-цезиевые ЦГ-1, ЦГ-2, ЦГ-3, ЦГ-4.

Следует различать такие виды фотоэффекта: 1) внешний фотоэффект заключается в явлениях, определение которых дано выше; 2) внутренний фотоэффект состоит в том, что под действием лучистой энергии некоторые вещества меняют свое электрическое сопротивление; 3) фотоэффект в запирающем слое ведет к возникновению электрического тока в цепи (без накладки дополнительного напряжения) и, в частности, вызывает несимметричную проводимость.

В соответствии с данными определениями видов фотоэффекта фотоэлементы бывают следующих типов.

1) Фотоэлементы с внешним фотоэффектом, называемые чаще всего просто фотоэлементами (рис. 623). В технике такие фотоэлементы употребляются в звуковом кино, при передаче изображений, в телемеханике и т. п.

2) Фотоэлементы с внутренним фотоэффектом, называемые обычно фотосопротивлениями. Они находят себе применение для сигнализации как видимыми, так и невидимыми лучами.

3) Фотоэлементы с запирающим слоем (рис. 624 и 625) благодаря простоте своего устройства, дешевизне и главное возможности получать сравнительно сильные токи ($10^{-4}a$) и притом без накладки напряжения хороши для демонстраций в средней школе. Однако объяснение их действия не входит в программу и, вообще говоря, сложно для учащихся.

2. **Фотоэлементы с внешним фотоэффектом.** Некоторые вещества при падении на них потока лучистой энергии начинают излучать с своей поверхности электроны. Объясняется это явление следующим образом. Кванты лучистой энергии, падая на поверхность вещества, вырывают из атомов некоторые отдельные электроны и сообщают им скорость, достаточную для преодоления тех сил, которые удерживают электроны на поверхности. Такие электроны покидают поверхность вещества и улетают в окружающее пространство¹⁾.

Число электронов, вылетающих с данной освещенной поверхности из данного вещества в единицу времени, пропорционально количеству световой энергии (т. е. числу квантов), падающей на эту поверхность за тот же промежуток времени; иначе сказать, сила фотоэлектриче-

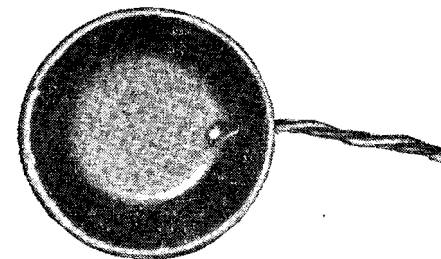


Рис. 624. Фотоэлемент с запирающим слоем: меднозакисный ЛФИ.

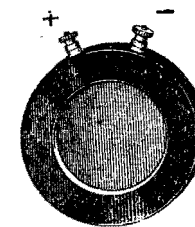


Рис. 625. Фотоэлемент с запирающим слоем: селеновый ЛЭТИ.

ского тока прямо пропорциональна величине светового потока. Кроме того, величина фототока зависит от вещества и наиболее велика у щелочных металлов: калия, натрия, лития, цезия и рубидия.

1) Связь между энергией кванта ϵ , воспринятой электроном, работой, необходимой для освобождения электрона из атома W_1 , работой, затраченной электроном на прохождение через поверхностный слой вещества W_2 (работа выхода) и кинетической энергией вылетевшего электрона $\frac{1}{2}mv^2$ характеризуется уравнением Эйнштейна:

$$\epsilon = W_1 + W_2 + \frac{1}{2}mv^2.$$

Так как величина энергии кванта зависит от частоты f луча ($\epsilon = hf$, где h — постоянная Планка), то возникновение фотоэффекта определяется условием $\epsilon > W_2$. Поэтому при прочих равных условиях фотоэффект должен быть тем значительней, чем меньше длина волны.

Все эти металлы обладают различной чувствительностью по отношению к различным частям спектра (рис. 626) (селективный фотоэффект). Наконец, для каждого из металлов существует предельная частота для возникновения фотоэффекта. Эта частота или соответствующая ей длина волны называется также красной границей: при меньших частотах или больших длинах волн фотоэффект не наблюдается.

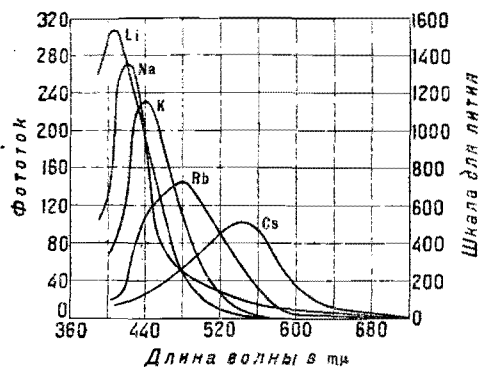


Рис. 626. Спектральные характеристики щелочных металлов (селективный фотоэффект).

появляется (рис. 627). Тогда излучаемые катодом электроны будут притягиваться анодом.

На рисунке 628 показано схематическое устройство фотоэлемента. На внутренней стороне (половине или части) сферического или цилиндрического стеклянного баллона наносится слой серебра, магния или меди. На него осаждается тонкий слой одного из светочувствительных металлов, специально обработанного для придания ему наибольшей светочувствительности. От этого слоя *K*, являющегося катодом фотоэлемента, делается через стекло вывод *k* наружу. Анодом служит проволочное кольцо *A* или прямоугольная рамка, или, наконец, маленькая пластинка. От анода также делается вывод *a* наружу. Из баллона или выкачивается воздух (вакуумный фотоэлемент), или баллон наполняется инертным газом — аргоном, неон или гелием (газонаполненный фотоэлемент).

Принцип действия фотоэлемента следующий. Если к электродам фотоэлемента аноду и катоду через их выводы присоединить батарею *B* (100—120 в) так, чтобы на анод *a* был подключен положительный, а на катод *k* отрицательный полюс батареи *B*, то при освещении фотоэлемента светом, например от лампы *L*, в цепи потечет ток. Ток можно обнаружить чувствительным гальванометром *G*, включив его в цепь, как показано на рисунке 629. Этот ток возникнет потому, что освобожденные под действием лучистой энергии электроны металла будут притягиваться анодом, имеющим положительный потенциал. Сила тока в цепи фотоэлемента определяется количеством электронов, приходящих в 1 сек. с катода на анод, которое, в свою очередь, зависит от интенсивности падающего на фотоэлемент света и

приложенного на анод напряжения. В пустотных фотоэлементах ток в фотоэлементе чисто электронный и полностью определяется числом электронов, вылетевших с катода. Чувствительность (т. е. величина тока на единицу падающего на фотоэлемент светового потока) в вакуумных фотоэлементах очень мала: у сернокалиевых — 2—5 μa на 1 лм и у кислородо-цезиевых — 20—50 μa на 1 лм.

Для повышения чувствительности фотоэлемента его баллон наполняется газом, разреженным до 10^{-1} — 10^{-3} мм ртутного столба. В этом случае ток в фотоэлементе носит ионный характер. Чувствительность газонаполненных фотоэлементов значительно выше вакуумных и достигает у сернокалиевых 20—50 μa на 1 лм и у кислородо-цезиевых 100—250 μa на 1 лм.

В пустотном фотоэлементе ток возрастает постепенно по мере увеличения напряжения на аноде до некоторой определенной величины *I*. Этот ток соответствует „току насыщения“, т. е. таким условиям, когда все вылетающие из катода электроны улавливаются анодом (явление, аналогичное происходящему в электронной лампе) и дальнейшее увеличение анодного напряжения не может вызвать усиления тока через фотоэлемент. В газонаполненном фотоэлементе дело обстоит иначе, именно увеличение напряжения на аноде фотоэлемента сопровождается непрерывным ростом анодного тока. Важно обратить

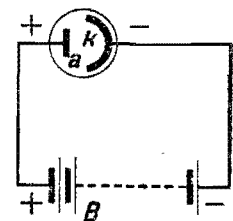


Рис. 627. Схема включения фотоэлемента.

внимание на то, что здесь возрастание тока идет не до строго определенного предела, а возникает и в дальнейшем под влиянием уже не фотоэффекта, но иных причин. Излучение электронов с катода происходит в газонаполненном, так же как и в пустотном фотоэлементе, под влиянием лучистой энергии, и при прочих равных условиях определяется только количеством лучистой энергии, падающей на катод. Таким образом, для газового фотоэлемента при некотором определенном анодном напряжении увеличение фототока должно прекратиться. Однако это не означает прекращения дальнейшего роста силы тока вместе с увеличением анодного напряжения. Дело в том, что по мере увеличения анодного напряжения возрастают: скорость электронов, число столкновений с молекулами газа и, наконец, скорость положительных ионов. Эти положительные ионы, падая на катод, выбивают из него новые электроны, в свою очередь ионизирующие газ. Таким

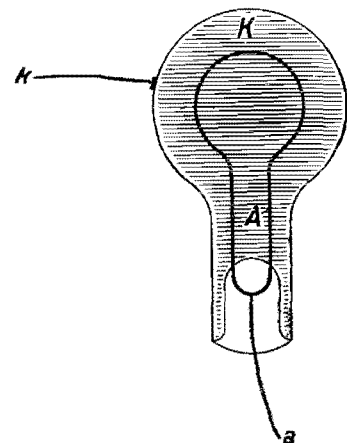


Рис. 628. Устройство фотоэлемента.

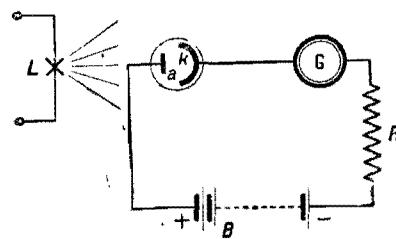


Рис. 629. Схема включения фотоэлемента с внешним фотоэффектом.

приложенного на анод напряжения. В пустотных фотоэлементах ток в фотоэлементе чисто электронный и полностью определяется числом электронов, вылетевших с катода. Чувствительность (т. е. величина тока на единицу падающего на фотоэлемент светового потока) в вакуумных фотоэлементах очень мала: у сернокалиевых — 2—5 μa на 1 лм и у кислородо-цезиевых — 20—50 μa на 1 лм.

Для повышения чувствительности фотоэлемента его баллон наполняется газом, разреженным до 10^{-1} — 10^{-3} мм ртутного столба. В этом случае ток в фотоэлементе носит ионный характер. Чувствительность газонаполненных фотоэлементов значительно выше вакуумных и достигает у сернокалиевых 20—50 μa на 1 лм и у кислородо-цезиевых 100—250 μa на 1 лм.

В пустотном фотоэлементе ток возрастает постепенно по мере увеличения напряжения на аноде до некоторой определенной величины *I*. Этот ток соответствует „току насыщения“, т. е. таким условиям, когда все вылетающие из катода электроны улавливаются анодом (явление, аналогичное происходящему в электронной лампе) и дальнейшее увеличение анодного напряжения не может вызвать усиления тока через фотоэлемент. В газонаполненном фотоэлементе дело обстоит иначе, именно увеличение напряжения на аноде фотоэлемента сопровождается непрерывным ростом анодного тока. Важно обратить

внимание на то, что здесь возрастание тока идет не до строго определенного предела, а возникает и в дальнейшем под влиянием уже не фотоэффекта, но иных причин. Излучение электронов с катода происходит в газонаполненном, так же как и в пустотном фотоэлементе, под влиянием лучистой энергии, и при прочих равных условиях определяется только количеством лучистой энергии, падающей на катод. Таким образом, для газового фотоэлемента при некотором определенном анодном напряжении увеличение фототока должно прекратиться. Однако это не означает прекращения дальнейшего роста силы тока вместе с увеличением анодного напряжения. Дело в том, что по мере увеличения анодного напряжения возрастают: скорость электронов, число столкновений с молекулами газа и, наконец, скорость положительных ионов. Эти положительные ионы, падая на катод, выбивают из него новые электроны, в свою очередь ионизирующие газ. Таким

образом, в газовых фотоэлементах сильное возрастание тока обусловлено вовсе не явлением фотоэффекта, а является следствием интенсивной ионизации газа. Чрезмерное увеличение напряжения может привести к газовому разряду. При этом происходит зажигание фотоэлемента, которое обычно ведет к его гибели. Таким образом, при работе с газовыми фотоэлементами напряжение анодной батареи не должно быть выше определенной величины. Пустотный фотоэлемент (рис. 630, кривая I) одинаково хорошо реагирует на медленные и быстрые изменения силы света, являясь безинерционным прибором. В газонаполненном элементе (рис. 630, кривая II) сказывается инерционность молекул газа, именно: с увеличением частоты изменения силы света чувствительность фотоэлемента падает.

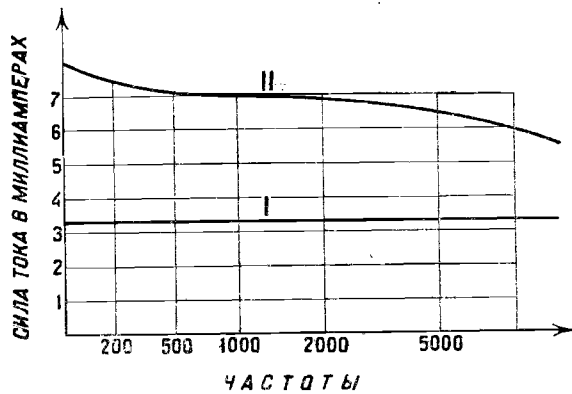


Рис. 630. Изменения силы тока в фотоэлементах вакуумном (I) и газонаполненном (II) при различных частотах изменения света.

На практике наибольшее применение получили фотоэлементы сернокалийевый и кислородоцезиевый (рис. 623). В сернокалийевом элементе слой калия, обработанный в парах серы, осажден на слой магния. Этот светочувствительный слой присоединен к контакту, помещенному на вершину баллона. Анод приключен к ножке цоколя, соответствующей у электронных ламп сетке. В кислородоцезиевом фотоэлементе цезий нанесен на слой окисленного серебра. Катод и анод присоединены к двум ножкам, расположенным так, как у электронных ламп, или ка-

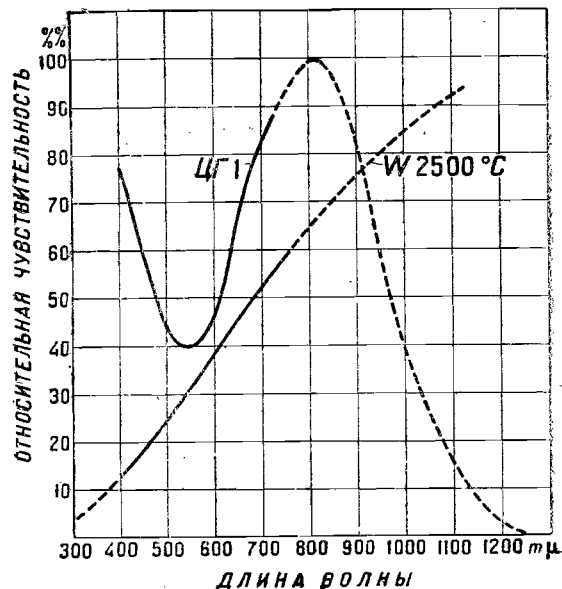


Рис. 631. Спектральная характеристика кислородоцезиевого фотоэлемента.

Катод и анод присоединены к двум ножкам, расположенным так, как у электронных ламп, или ка-

тод присоединен к контакту, расположенному на стенке стеклянного баллона.

У нас, в СССР, промышленностью и различными лабораториями выпускается значительное количество типов фотоэлементов, предназначенных для различных целей: измерительной техники, передачи изображений, телемеханики, звукового кино, сигнализации и т. д.

Рассматривать эти типы нет надобности, поскольку для школьных целей наиболее подходящими кислородо-цезиевые фотоэлементы для кино, выпускаемые Электрозаводом и показанные на рисунке 623. Данные для этих фотоэлементов, имеющих марку ЦГ (цезиевый, газонаполненный) приведены в таблице на этой странице. Для демонстрационных целей особенно хороши фотоэлементы ЦГ-1 и ЦГ-2, имеющие выводы от катода на боковой стенке баллона. Спектральная характеристика кислородо-цезиевого фотоэлемента ЦГ-1 показана на рисунке 631. Важно обратить внимание на то, что максимум чувствительности у кислородо-цезиевого фотоэлемента лежит в красной и инфракрасной частях спектра. Это позволяет его использовать для демонстраций с невидимыми лучами.

Для сравнения на том же графике дана кривая W спектральной характеристики осветительной электрической лампочки, вольфрамовый волосок которой накалил до температуры 2500°. Кислородо-цезиевые фотоэлементы, кроме инфракрасных лучей, весьма чувствительны и к ультрафиолетовым, но эти последние нацело поглощаются стеклянными стенками баллона.

Электрические и световые характеристики кислородо-цезиевых фотоэлементов Электрозавода

Тип	Рабочее напряжение при постоянном токе в вольтах	Чувствительность $\frac{\mu\text{А}}{\text{лм}}$ в лм	Потенциал зажигания постоянного тока в вольтах	Темновой ток при 240 в в амперах	Назначение
ЦГ-1	240	75—350	> 320	< 10 ⁻⁷	Стационарные установки звукового кино
ЦГ-2	240	75—350	> 310	< 10 ⁻⁷	Кинопередвижка К-25 завода Гомз им. ОГПУ
ЦГ-3	240	75—350	> 290	< 10 ⁻⁷	Кинопередвижка КИНАП завода им. Орджоникидзе
ЦГ-4	240	75—350	> 300	< 10 ⁻⁷	Стационарные установки звукового кино
ЦГ-5	240	75—350	> 315	< 10 ⁻⁷	Кинопередвижки К-25

3. Правила обращения с фотоэлементами с внешним фотоэффектом. При работе с фотоэлементами во избежание их порчи, или даже гибели, надо соблюдать следующие правила: 1) Фотоэлементы должны храниться в коробке, закрытыми от света; особенно нужно защищать их от солнечного света ввиду его большой интенсивности.

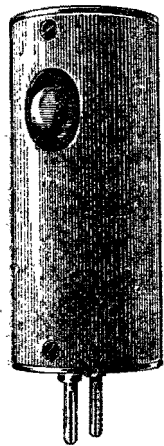


Рис. 632. Кислородо-цезиевый фотоэлемент типа ЦГ-2 в чехле.

2) Нельзя давать на фотоэлемент напряжения, выше указанного на его паспорте; это особенно относится к газонаполненным фотоэлементам, так как при повышенном напряжении может произойти зажигание и порча фотоэлемента (см. таблицу на стр. 399). При работе с фотоэлементом в цепь питания анода необходимо всегда включать предохранительное сопротивление R (рис. 629) порядка 100 000—150 000 ом (сопротивление Каминского, т. V), которое в случае повышенной освещенности или анодного напряжения предохраняет фотоэлемент от газового разряда и разрушения катода.

3) При работе с фотоэлементами лучше не пользоваться такими мощными источниками света, как вольтова дуга и кинолампы в 300—1000 вт. Концентрация на катоде света этих источников при помощи линз не допустима без надежного фильтра для инфракрасных лучей. Таким фильтром, как это подробно описано в томе I, § 72, служит стеклянный сосуд с плоскопараллельными стеклами, заполненный дистиллированной водой. Хорошим источником света является лампочка на 12 в (25—50 вт) от кино или автомобиля (т. III, § 26, 2). Вполне возможно также пользование вполне обычными осветительными лампами.

4) При опытах для устранения воздействий постороннего света фотоэлементы следует помещать в картонную или металлическую коробочку с окошком для прохода света. Цезиевые фотоэлементы для кино обычно продаются в таком металлическом футляре (рис. 632).

4. Фотосопротивления. Фотоэлементы с внутренним фотоэффектом, или фотосопротивления, при воздействии на них лучистой энергии изменяют свое электрическое сопротивление (рис. 633). Схема включения фотоэлемента показана на рисунке 634. Фотосопротивление A присоединено к батарее B через миллиамперметр или гальванометр G , показывающий силу тока. При освещении фотосопротивления лампой L сопротивление его уменьшается; при изменениях освещения сопротивление также соответствующим образом меняется.

Внутренний фотоэффект наблюдается в кристаллических телах. Объясняется это явление следующим образом. При присоединении к фотосопротивлению батареи через него потечет электрический ток строго определенной величины, как и через каждый проводник. При освещении кванты света будут срывать электроны с внешних орбит атомов. Эти электроны под действием сил приложенного напряжения будут двигаться в том же направлении, что и созданный батареей ток. Таким

образом, существовавший ранее от батареи ток после освещения увеличится, т. е. произойдет увеличение электропроводности.

На практике для изготовления фотосопротивлений получили применение селен и особенно сернистый талий. В простейших случаях фотосопротивлением служит пластинка селена, укрепленная на каком-нибудь изолирующем веществе. Для получения фотосопротивлений большей чувствительности селен или сернистый талий наносят на изолирующую пластинку и помещают их в вакуум или в атмосферу гелия. Подобные сопротивления, отличающиеся сравнительно высокой чувствительностью, применяются для сигнализации.

Так как при изменениях степени освещения сопротивление селена меняется не мгновенно, т. е. последний обладает некоторой (значительной) световой инерцией, то многочисленные попытки применения фотосопротивлений для передачи изображений были безуспешны.

5. Фотоэлементы с запирающим слоем. Рассмотрим действие фотоэлементов с запирающим слоем на меднозакисном фотоэлементе, получившем широкое распространение в школе.

Фотоэлемент состоит из медной пластинки Cu , покрытой тонким слоем закиси меди Cu_2O (рис. 635). Закись меди является полупроводником и поэтому при освещении световые кванты вырывают из нее значительно большее количество электронов, чем из меди. В резуль-

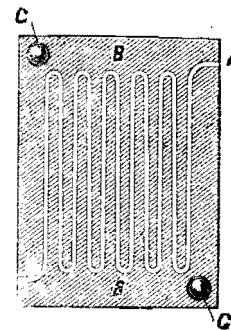


Рис. 633. Одна из конструкций селенового фотоэлемента с внутренним фотоэффектом.

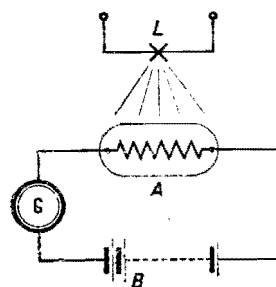


Рис. 634. Схема включения в цепь фотосопротивления.

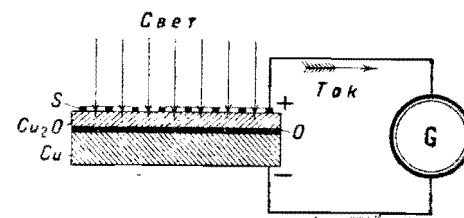


Рис. 635. Схема тылового или заднего меднозакисного фотоэлемента.

тате через пограничный слой O закиси и меди, называемый запирающим слоем, электроны устремляются от пленки закиси к меди, где и создают некоторый отрицательный заряд. Пусть пленка закиси покрыта металлической сеткой S и к ней приключен один из проводов внешней цепи. Другой провод присоединен к медной пластинке. При включении к этим проводам гальванометра и при освещении фотоэлемента обнаруживается непрерывный электрический ток, текущий во внешней цепи от закиси к меди¹⁾.

¹⁾ Здесь указывается техническое направление тока.

Важно заметить, что фотоэлемент с запирающим слоем при освещении дает ток самостоятельно, без всякой подсобной батареи. Если же включить батарею к такому фотоэлементу, то при освещении можно обнаружить несимметричную проводимость. Это значит, что при включении плюса батареи к записи меди ток будет больше, чем в противоположном направлении.



Рис. 636. Меднозакисные фотоэлементы ЦНИЛ КИП.

Описанный фотоэлемент является представителем так называемого тылового меднозакисного фотоэлемента. При покрывании слоя записи тонким полупрозрачным слоем металла (золото, платина, серебро, медь), служащим вместо сетки S одним из электродов, на этой границе образуется второй запирающий слой, называемый лицевым (см. ниже). Ясно, что количество лучистой энергии, достигающей тылового запирающего слоя (запись меди и медь), значительно меньше, чем падающее на лицевой запирающий слой (полупрозрачная металлическая пленка и запись меди). Поскольку фотоэффект у таких фотоэлементов возникает почти исключительно на первом лицевом запирающем слое, постольку их называют лицевыми, или переднестеночными. Полярность лицевого фотоэлемента противоположна полярности тылового.

Меднозакисный фотоэлемент ЛФИ помещен в картонную цилиндрическую коробочку, основание которой закрывается крышками (рис. 624). Под одной из крышек находится фотоэлемент. Другая крышка защищает фотоэлемент, имеющий вид кружочка, цвета окислившейся меди.

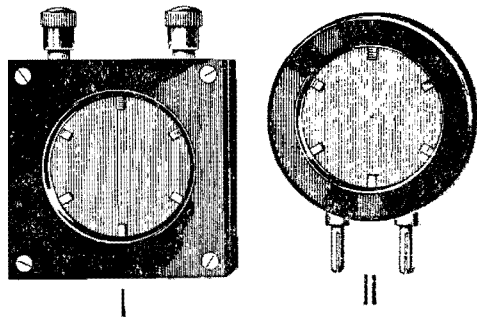


Рис. 637. Селеновые фотоэлементы ЦРЛ и ЦНИЛ КИП.

Недостаток меднозакисных фотоэлементов ЛФИ заключается в несовершенстве их монтажа: картонная коробочка непрочна, отводящие ток провода иногда ломаются, а главное сам фотоэлемент ничем не защищен и легко может быть поцарапан или окислиться от прикосновений.

Более совершенные типы меднозакисных фотоэлементов выпускаются в Москве ВЭМ и ЦНИЛ КИП (рис. 636, I). Чувствительность у первых

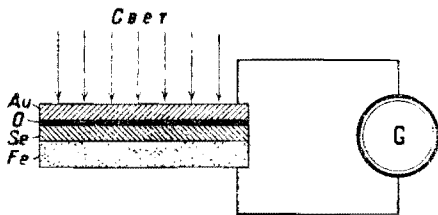


Рис. 638. Схема селенового фотоэлемента.

достигает $60-120 \frac{\mu\text{A}}{\text{лм}}$ и у вторых — $100-200 \frac{\mu\text{A}}{\text{лм}}$. Фотоэлементы для защиты и стабилизации чувствительности помещены внутри стеклянных баллонов, снабженных цоколем с ножками, как у электронных ламп. ЦНИЛ КИП выпускает также фотоэлемент открытого типа (с диаметром активной части в 32 мм), снабженный двумя штырьками. Чувствительность этого фотоэлемента $100-200 \frac{\mu\text{A}}{\text{лм}}$ (рис. 636, II).

Для демонстрации в школе нужно рекомендовать селеновый фотоэлемент с запирающим слоем, дающий значительно более сильный ток, чем меднозакисный.

Селеновые фотоэлементы выпускаются ЦРЛ (Ленинград), (рис. 637, I), ЦНИЛ КИП (Москва) (рис. 637, II) и Ленинградским электротехническим институтом им. Ленина. Фотоэлемент ЛЭТИ и его схема показаны на рисунках 625 и 638. Он состоит из железной пластинки Fe, на которую нанесен слой кристаллического селена Se^1 . Селеновый слой сверху покрыт посредством катодного распыления тонким полупрозрачным слоем золота Au. Граница O между золотой пленкой и селеном и является запирающим слоем. Для защиты слой золота покрыт слоем особого лака. На обойме фотоэлемента помещены две клеммы, присоединенные соответственно к электродам, т. е. к золотой пленке и к железу. Около клеммы проставлены знаки $+$ и $-$ для обозначения полярности. Чувствительность селеновых фотоэлементов достигает $350-500 \frac{\mu\text{A}}{\text{лм}}$. Фотоэлементы ЛЭТИ выпускаются трех размеров в $10, 20$ и 40 см^2 .

На рисунке 639 показаны спектральная чувствительность селенового фотоэлемента (кривая I) и кривая чувствительности человеческого глаза (кривая II), и на рисунке 640 — спектральная характеристика селенового фотоэлемента ЛЭТИ.

Селеновый фотоэлемент так же, как меднозакисные, дает ток без помощи батареи.

¹ См. Коломиец Б. Т. Журнал «Техническая физика», т. VII, вып. 4. Выписывать фотоэлементы можно по адресу: Ленинград, Песочная, 5, Научно-исследовательский отдел Ленинградского Электротехнического института им. В. И. Ульянова-Ленина.

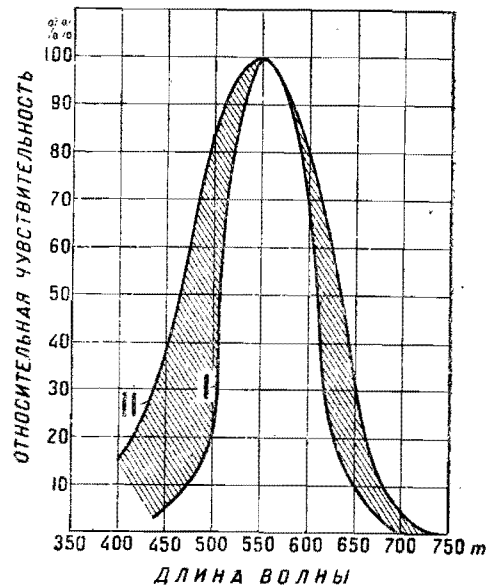


Рис. 639. Спектральная характеристика селенового фотоэлемента (I) и кривая чувствительности глаза (II).

Фотоэлементы с запирающим слоем не следует освещать очень интенсивным светом, так как вызываемое последним нагревание сильно сказывается на чувствительности в сторону ее уменьшения. При повышении температуры с 15 до 50° чувствительность уменьшается почти вдвое, примерно при 150° фотоэлементы уже не реагируют на свет. Для получения наибольших токов от фотоэлементов нужно, чтобы сопротивление всей внешней цепи было меньше обратного сопротивления запирающего его слоя.

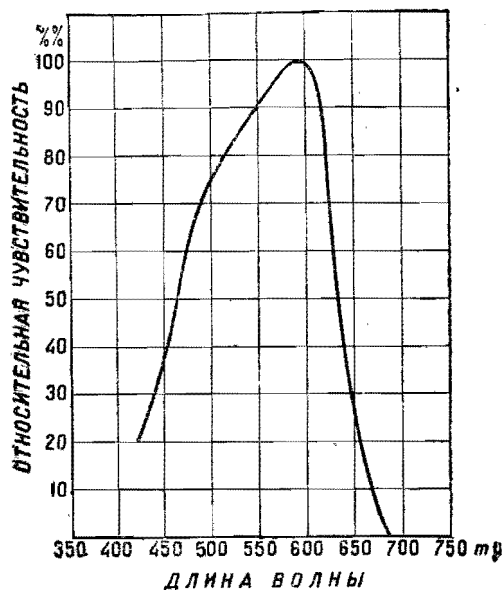


Рис. 640. Характеристика селенового фотоэлемента ЛЭТИ.

Брауна укрепляют лучше круглую ($d = 10-15$ см) цинковую пластинку *A* (рис. 641). Во избежание истечения зарядов края у пластинки следует слегка закруглить. Возможно ближе к пластинке помещают корпус от проекционного фонаря без объектива и конденсора.

Заряжают электроскоп с пластинкой от палочек сначала отрицательно и затем положительно. Тогда при освещении в последнем случае не наблюдается никакого изменения в заряде, а в первом — заряд уменьшается. Для успеха опыта важно соблюдение условий, указанных в т. IV, § 31.

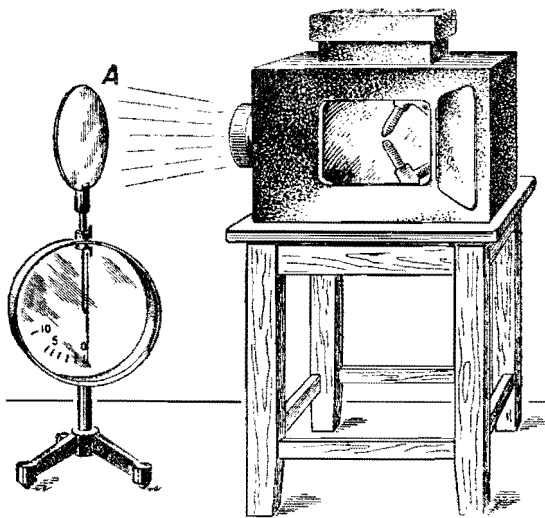


Рис. 641. Обнаружение фотоэффекта электроскопом.

6. Обнаружение фотоэффекта электроскопом. 1) Корпус проекционного фонаря. 2) Вольтова дуга. 3) Цинковая пластинка. 4) Электроскоп или электрометр. 5) Ртуть. 6) Эбонитовая и стеклянная палочки.

Вместо шарика на чувствительный электроскоп с листочниками или на электрометре

7. Опыт Столетова. 1) Корпус от проекционного фонаря. 2) Вольтова дуга. 3) Цинковая амальгамированная пластинка ($d = 12-15$ см). 4) Кольцо, затянутое сеткой. 5) Парафин. 6) Зеркальный гальванометр. 7) Батарея или источник постоянного тока (100—200 в).

Одна из конструкций прибора Столетова показана на рисунке 642, I. Цинковая пластинка *K* и проволочное кольцо *A*, затянутое металлической сеткой, укреплены на изолирующем основании на расстоянии примерно 1 см друг от друга. Выводы от пластинки и сетки сделаны к клеммам *a* и *b*. Во избежание прикосновений сетки к пластинке положены изолирующие прокладки *D*. Прибор смонтирован на металлическом стержне для укрепления его в штативе.

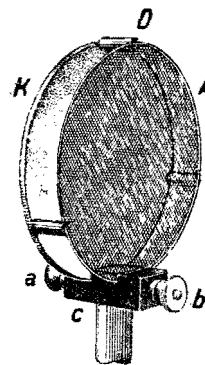


Рис. 642, I. Прибор Столетова.

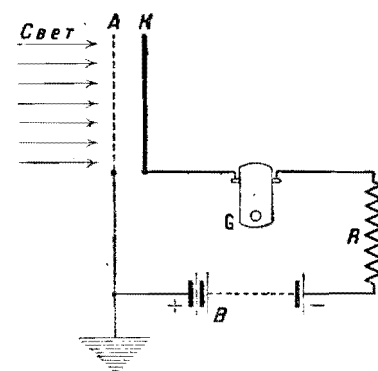


Рис. 642, II. Схема включения прибора Столетова.

Прибор Столетова легко сделать своими силами. Берут цинковую пластинку круглую ($d = 12-15$ см) или квадратную (12 см \times 12 см), и перед самым опытом амальгамируют ее. Из проволоки делают кольцо или прямоугольную рамку таких же размеров, как и пластинка, и затягивают рамку сеткой, железной или медной (хороша сетка, употребляемая для защиты окон от мух).

На хорошем изоляторе, например на парафиновом бруске, укрепляют пластинку и сетку параллельно друг другу на расстоянии 1—2 см (рис. 642).

Важно сделать ряд парафиновых подкладочек в нескольких местах по краям между пластинкой и сеткой. Нужно это, чтобы при неосторожном обращении во время опыта сетка ни в коем случае не могла коснуться пластинки. В случае такого прикосновения батарея *B* (100—200 в) замкнется на гальванометр, и последний безусловно сгорит. На пластинке и сетке для подведения тока ставят клеммы.

Цинковую пластинку *K* и сетку *A* (рис. 642, II) присоединяют через зеркальный гальванометр *G* (ЛФИ, чувствительностью 10^{-8} а) к батарее или иному источнику постоянного тока с напряжением в 100—200 в. В качестве предохранителя, гарантирующего от короткого замыкания при соприкосновении пластинки и сетки, полезно включить сопротивление $R = 10\,000-100\,000$ ом. Замкнув цепь, прежде всего убеждаются в том,

что тока в цепи нет, т. е. что выполнено основное условие: изоляция между пластинкой и сеткой хороша. Затем освещают пластинку так же, как и в опыте 6, ультрафиолетовыми лучами и наблюдают возникновение тока через гальванометр. При перемене полюсов батареи ток не обнаруживается или он делается исключительно слабым.

Прибор Столетова является моделью фотоэлемента с внешним фотоэффектом и обнаруживает, что при освещении цинковая пластинка излучает электроны.

На приборе Столетова, включив батарею и гальванометр, заземлив сетку и соединив пластинку *K* с чувствительным электроскопом, можно показать также опыт 6.

8. Демонстрация фотоэффекта с неоновой лампой. 1) Неоновая лампа. 2) Батарея или другой источник тока 80—120 в. 3) Потенциометр (не менее 10 000 ом). 4) Выключатель. 5) Спички. 6) Вольтметр на 120 в.

Неоновая лампа обладает тем свойством, что зажигается при некотором строго определенном напряжении, несколько большем того напряжения, при котором она гаснет (т. IV, § 28). Это свойство может быть использовано для демонстрации фотоэффекта. Неоновую лампу *A* (пятачковую) включают через потенциометр *P* и ключ *K* к батарее *B* или иному источнику тока с напряжением в 80—120 в (рис. 643). Затем экспериментальным путем находят напряжение, возможно более близкое к напряжению зажигания. Для этого осторожно смещают движок *p* потенциометра по направлению к тому крайнему положению, при котором лампа должна погаснуть.

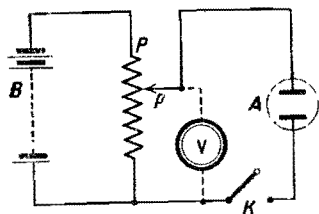


Рис. 643. Схема для обнаружения фотоэффекта с неоновой лампой.

Сместив движок, каждый раз разрывают затем цепь выключателем и вновь замыкают. Настройку прекращают, когда горевшая лампа при размыкании погасла и при последующих замыканиях не зажигается. Настройку нельзя производить при ярком освещении или неоновую лампочку надо защитить от света каким-нибудь чехлом. Таким образом, подобранное напряжение меньше напряжения зажигания и больше напряжения погасания. При этом, чем ближе будет расположен движок потенциометра к тому положению, при котором лампа загорается, тем слабее может быть взят для опыта источник света.

Если осветить электроды неоновой лампы от какого-нибудь источника, например электрической лампочки, то под влиянием фотоэффекта происходит ионизация неона и неоновая лампа загорится. При хорошей настройке опыта неоновая лампа загорается при освещении ее электродов светом от спички.

9. Фотоэффект меднозакисного и селенового фотоэлементов. 1) Меднозакисный фотоэлемент ЛФИ, 2) Селеновый фотоэлемент. 3) Лампочки различной мощности. 4) Гальванометр зеркальный. 5) Гальванометр демонстрационный. 6) Миллиамперметр ЛФИ (10^{-6} а).

Демонстрация фотоэффекта осуществляется наиболее просто при помощи фотоэлементов с запирающим слоем. Однако поскольку объ-

яснение действия запирающего слоя выходит за рамки программы средней школы, постольку эта демонстрация в методическом отношении сильно уступает демонстрации фотоэлемента с внешним фотоэффектом.

Меднозакисный фотоэлемент ЛФИ уложен в картонную коробочку, из которой его вынимают, сняв верхнюю и нижнюю крышки (рис. 624). Освещению следует подвергать площадку из меди, покрытую слоем закиси, расположенную на стороне, противоположной той, откуда выведены провода.

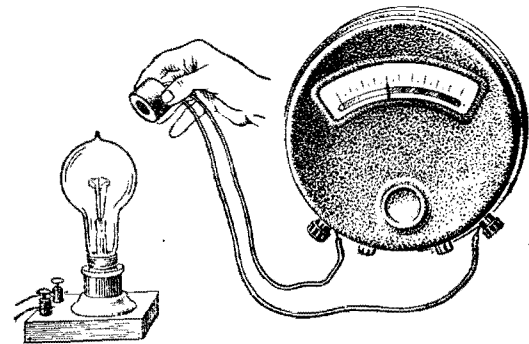


Рис. 644. Демонстрация фотоэффекта меднозакисного фотоэлемента.

Источником света может служить электрическая лампочка любой мощности, однако чем меньше ее сила света, тем чувствительней должен быть взят гальванометр. Можно воспользоваться также и вольтовой дугой.

Для демонстрации „фотоэффекта“ провода от фотоэлемента присоединяют к зеркальному гальванометру ЛФИ (т. III, § 8, 13) или

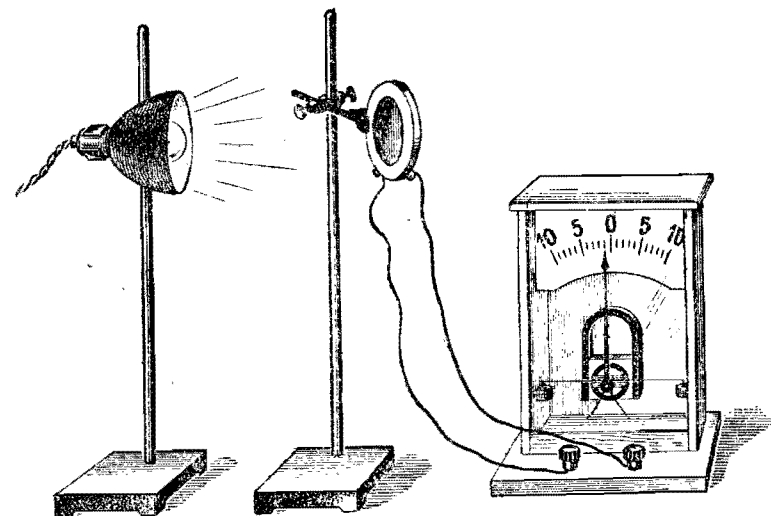


Рис. 645. Демонстрация фотоэффекта селенового фотоэлемента.

миллиамперметру ЛФИ (с чувствительностью 10^{-6} а). При этом никакой батареи для анода, как это делается для фотоэлементов с внешним фотоэффектом, включать не надо. Закрепив фотоэлемент в лапке штатива или держа его в руке, приближают его к источнику света и наблюдают, что по мере приближения ток возрастает (рис. 644).

С лампой в 100 *вт* удается получить отклонение миллиамперметра ЛФИ на всю шкалу. Демонстрационный гальванометр от одного фотоэлемента дает едва заметное отклонение. Получить отклонение на одно-два деления удастся, если соединить 5 фотоэлементов параллельно и пользоваться сильной лампой.

Селеновый фотоэлемент (рис. 625) дает значительно более сильный ток, чем меднозакисный, и позволяет пользоваться демонстрационным стрелочным гальванометром. При закрывании фотоэлемента от дневного света или поворотах его от окна в сторону наиболее затемненной части помещения можно получить разницу отклонений в пределах нескольких делений шкалы. При сильном дневном свете или при освещении лампой в 50—100 *вт* хороший демонстрационный гальванометр даст отклонение более чем на всю шкалу (рис. 645).

Селеновый и меднозакисный фотоэлементы весьма просто использовать как фотореле для пуска в ход и остановки мотора и включения других приборов. Подобные работы интересны для кружка или детских технических станций (работа 13).

10. Фотоэффект кислородо-цезиевого фотоэлемента. 1) Фотоэлемент кислородо-цезиевый. 2) Гальванометр зеркальный или стрелочный ЛФИ. 3) Анодная батарея или выпрямитель на 120—160 *в*. 4) Кинолампа 12 *в* (30—50 *вт*) или обыкновенная лампа, в 50—100 *вт*. 5) Линза.

Источник света *L* (кинолампу 30—50 *вт* или обыкновенную лампу 50—100 *вт*) помещают в кожух проекционного фонаря или ящик с отверстием для прохода света (рис. 646). Посредством конденсора или линзы *C* получают изображение светящегося тела (нити лампы) на расстоянии 0,5—1 *м*.

Несколько ближе или дальше плоскости, где получается изображение источника света, помещаем фотоэлемент *D*, включенный через

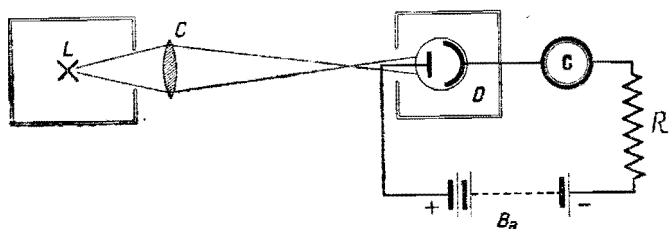


Рис. 646. Схема установки для демонстрации фотоэффекта цезиевого фотоэлемента.

сопротивление *R* в 100 000—150 000 *ом* и чувствительный гальванометр *G* к анодной батарее или выпрямителю *Ba* с напряжением в 160—240 *в*. Фотоэлемент лучше взять кислородо-цезиевый (правила предосторожности в § 72, 3). В качестве сопротивления проще всего использовать сопротивление Ка м и н с к о г о. Гальванометр должен быть зеркальным или стрелочным ЛФИ, в последнем случае с чувствительностью в 10^{-6} *а*.

Фотоэлемент *D*, как было уже указано, следует поместить в коробку, оставив конце для прохода света. Сначала демонстрируют воз-

никновение тока при освещении фотоэлемента. При этом надо показать, что при наличии преграды (например руки) между источником света и фотоэлементом ток прекращается¹⁾.

Затем демонстрируют зависимость фотоэффекта от освещенности. Включают на фотоэлемент напряжение и, осветив фотоэлемент, отмечают

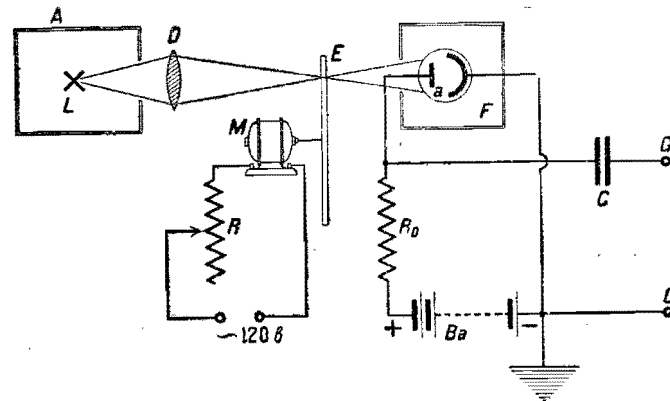


Рис. 647. Схема установки для демонстрации получения прерывистого тока.

отклонение гальванометра *G*. Затем изменяют освещенность фотоэлемента, поставив на пути света диафрагму или закрыв часть отверстия в коробке фотоэлемента. С равным успехом можно также отодвигать или приближать фотоэлемент к источнику света. Показания гальванометра обнаружат, что при уменьшении освещенности фотоэлектрический эффект убывает.

В заключение показывают зависимость силы тока от напряжения на фотоэлементе. Осветив фотоэлемент, подают на его анод 40 *в* и отмечают показания гальванометра. Затем, не меняя освещенности фотоэлемента, подают на его анод последовательно 40—60—80—100—120 *в* и т. д. и отмечают показания гальванометра, которые покажут зависимость фототока от напряжения на аноде фотоэлемента при постоянной интенсивности света.

11. Получение прерывистого тока с фотоэлементом. 1) Фотоэлемент кислородо-цезиевый. 2) Проекционный фонарь. 3) Реостат. 5) Ламповый усилитель или приемник. 6) Репродуктор. 7) Диск с 10—20 отверстиями. 8) Батарея или выпрямитель на 160—240 *в*. 9) Лампочка кинопроекционная на 12 *в*.

Установка собирается по схеме рисунка 647.

¹⁾ Чувствительный гальванометр при затемнении на нуль не возвращается, обнаруживая так называемый „темновой“ ток.

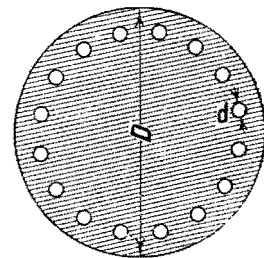


Рис. 648. Диск для периодического экранирования света.

Проекционный фонарь или лучше его корпус A с линзой D может быть взят любой. В качестве источника света в фонаре можно использовать кинолампу L на 30—50 *вт* или обычную лампу накаливания на 75—100 *вт* (т. III, § 26,2).

Установив фонарь, определяют плоскость, на которой пучок света фокусируется, т. е. получается изображение светящего тела (нити лампы). Затем из жести или плотного картона изготавливают диск E ($d = 20—25$ см) с 10—20 отверстиями ($d = 4—5$ мм), расположенными по окружности на расстоянии 1,5—2 см от края. Важно, чтобы отверстия лежали друг от друга на равных расстояниях (рис. 648). Можно воспользоваться диском от сирены Оппелта, заклеив ненужные ряды с отверстиями бумагой (рис. 649). Диск укрепляют на валу мотора (коллекторного), позволяющего изменять число оборотов при помощи реостата R , или насаживают на ось центробежной машины.

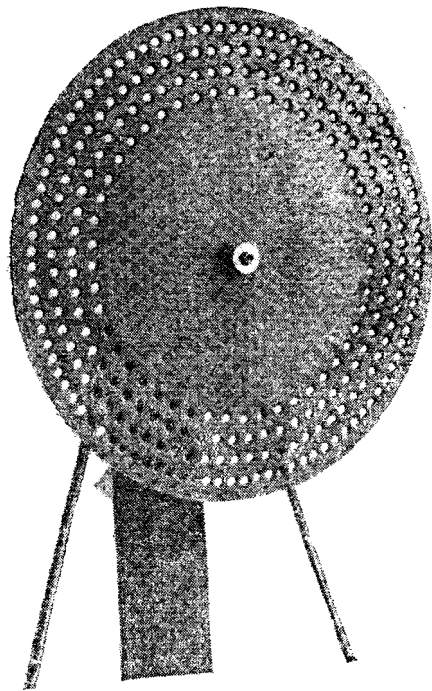


Рис. 649. Сирена Оппелта.

Мотор устанавливают так, чтобы диск оказался в плоскости фокусировки пучка света, даваемого фонарем, и одно отверстие диска было освещено. Если фонарь не дает фокусировки в небольшой точке, то между ним и диском помещают такую диафрагму (лист картона с отверстием), чтобы освещалось лишь одно отверстие диска. Непосредственно за диском в металлической или картонной непроницаемой для света коробке устанавливается кислородо-цезиевый фотоэлемент a . В коробке делается большое отверстие, через которое направляется на фотоэлемент свет, проходящий через отверстие в диске. При обращении с фотоэлементом необходимо соблюдать правила, изложенные в § 72,3. В анодную цепь фотоэлемента включают сопротивление $R_0 = 2—3$ мегома и подают на анод a напряжение в 120—200 *в* от плюса батареи или выпрямителя B_a . После этого через постоянный конденсатор C емкостью в 0,1—0,25 *мкф* соединяют анод фотоэлемента с сеткой G первой лампы 2—3-каскадного усилителя низкой частоты. Катод фотоэлемента соединяют с минусом батареи, заземляют и включают в точке O к катоду лампы усилителя (земля). В качестве усилителя проще всего взять один из приемников СИ-235, ЭКЛ-34 и т. п. и включение фотокаскада произвести к клеммам „адаптер“ (т. V). При этом клемма должна быть присоединена к той клемме „адаптер“, прикосновение к которой вызывает появление воя в приемнике. За отсутствием

приемника нужно собрать усилитель, проще всего на сопротивлениях, о чем см. том V. Батарея или выпрямитель B_a , включенные к фотоэлементу, могут быть использованы для питания анодной цепи этого усилителя.

Включают всю установку и приводят во вращение диск E ; тогда фотоэлемент будет освещаться прерывистым светом, в результате чего в цепи фотоэлемента потечет прерывистый ток. Этот ток, протекая по анодному сопротивлению R_0 вызовет на нем переменное падение напряжения. Это переменное напряжение через конденсатор C подается на усилитель, где после усиления будет действовать на телефон или репродуктор. Репродуктор будет давать звук той или иной высоты в зависимости от числа прерывов света в 1 сек.

При демонстрации изменяют число оборотов мотора (посредством реостата) или центробежной машины и получают изменение высоты тона.

12. Селективный фотоэффект. 1) Фотоэлементы: цезиевый, серно-калиевый, меднозакисный и селеновый. 2) Проекционный фонарь с лампой на 100—200 *вт*. 3) Батарея или выпрямитель на 160—240 *в*. 4) Гальванометры: зеркальный и демонстрационный стрелочный. 5) Миллиамперметр ЛФИ 6) Светофильтры.

Демонстрация имеет целью показать, что фотоэлемент обладает неодинаковой чувствительностью по отношению к различным цветам спектра. Это свойство фотоэлемента реагировать в максимальной мере на лучи определенной длины волны называется селективным фотоэффектом.

Фотоэлементы цезиевый или серно-калиевый включают через сопротивление R и зеркальный гальванометр или миллиамперметр ЛФИ G к батарее B_a или выпрямителю с напряжением в 160—240 *в* (рис. 646). Если опыт производится с меднозакисным или селеновым фотоэлементами, то они включают без батареи и сопротивления непосредственно — первый к миллиамперметру или зеркальному гальванометру ЛФИ и второй — к стрелочному демонстрационному гальванометру (рис. 644—645). Пользуясь проекционным фонарем или просто заэкранированной соответствующим образом настольной лампой, добиваются отклонения гальванометра почти на всю шкалу. Между источником света и фотоэлементом помещают различные светофильтры (окрашенные стекла) и выясняют, по отношению к каким лучам фотоэлемент обнаруживает наибольшую чувствительность.

Очень эффектно продемонстрировать, что кислородо-цезиевый фотоэлемент весьма чувствителен к инфракрасным лучам, для чего берут специальный фильтр инфракрасных лучей, поглощающий видимый свет.

13. Фотореле с фотоэлементами с запирающим слоем. 1) Селеновый фотоэлемент. 2) Демонстрационный стрелочный гальванометр. 3) Лампа для освещения фотоэлемента. 4) Выключатель. 5) Батарея (4—6 *в*). 6) Электрический звонок. 7) Реле, электромагнитное с ртутным контактом. 8) Лампочки: 4 *в* и 120 *в*. 9) Моторы на 4—6 *в* и 120 *в*.

Весьма интересную работу для кружка или детской технической станции представляет собой устройство фотореле. Демонстрация фотореле во время урока весьма ценна в методическом отношении,

показывая учащимся конкретный пример применения фотоэлементов в технике. Фотореле реагирует на свет, приводя в действие или останавливая те или иные приборы и машины. Пользуясь фотореле, можно включить и выключить электрическую лампочку, зажечь и погасить освещение во всем помещении, пустить и остановить электрический мотор, т. е. привести в действие любой прибор. Работа с фотореле открывает широкий простор для изобретательности самих учащихся в области его применения и представляет собой значительный интерес.

Условимся разделять фотореле, как и реле других типов, на „отпирательные“ и „запирательные“. Первые при освещении „отпирают“ схему, т. е. пускают те или иные приборы в ход и по прекращении света „запирают“ ее, т. е. останавливают. Запирательные фотореле действуют в обратном порядке, т. е. на свету „запирают“ и без света „отпирают“. Проще всего использовать для фотореле фотоэлементы с запирательным слоем — меднозакисный или селеновый. В особенности хорош последний, благодаря возбуждаемому им сильному току, что позволяет пользоваться в качестве реле демонстрационным гальванометром. Вместо гальванометра с успехом можно взять вольтметр технического типа (щитовой), но обязательно магнитоэлектрический, т. е. с катушкой Де пре д'Арсонваля (т. III, § 9,7). Фотоэлемент (селеновый) присоединяют к прибору и определяют, до какого деления отклонилась стрелка при том освещении, на которое должна происходить реакция. Для отпирательного реле на шкале укрепляют контакт из медной проволоочки или проще прикалывают булавку в точке *b*, расположенной несколько ближе к нулю, по сравнению с делением *a*, до которого происходит отклонение (рис. 650, I). Надо, чтобы стрелка после отклонения плотно упиралась в контакт и тем самым давала возможно более надежное электрическое соединение. Для запирательного реле контакт *c* устраивается около нулевого деления с той стороны шкалы, куда происходит отклонение стрелки *d*. Однако подобные контакты вызывают при размыканиях обгорание того участка стрелки, который соприкасается с булавкой, и, главное, не позволяют пользоваться сравнительно сильными токами. Поэтому много лучше, в особенности для установок, рассчитанных на постоянное действие, воспользоваться ртутным контактом. Для этого на ось стрелки укрепляют проволочку так, чтобы отогнутый конец последней при отклонении от нуля или при возвращении на нуль погружался в ртуть, налитую, например, в наперстки (т. III, § 1,6). На рисунке 651 показано такое устройство, предназначенное как для отпирательного, так и для запирательного реле. Наличие на стрелке двух проволочек *a* и *b*, симметрично расположенных, позволяет сохранить баланс стрелки.

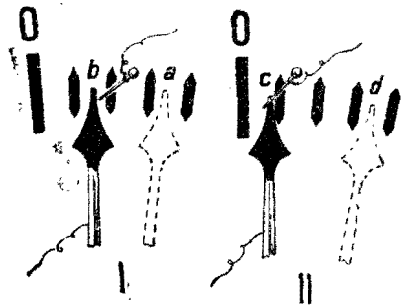


Рис. 650. Два способа укрепления контакта для получения отпирательного и запирательного реле.

Рис. 651. Ртутные контакты для отпирательного и запирательного реле.

Рассмотрим теперь схему действия отпирательного фотореле (рис. 652). Селеновый фотоэлемент *A* присоединен к клеммам гальванометра *G*. Для освещения фотоэлемента установлена лампа *L*, питаемая от батареи *B*₁, или непосредственно от сети освещения. Выключатель *K*₁ предназначен для зажигания и гашения этой лампы. В зависимости от задач эксперимента вместо лампы можно также пользоваться для освещения естественным светом, в случае надобности закрывая и открывая фотоэлемент. При освещении гальванометр даст отклонение, и его стрелка *D*, соединенная с одним полюсом батареи *B*, коснется контакта *b* и тем самым замкнет цепь *DbBL*¹⁾. При этом лампочка от карманного фонарика *L*₁, звонок *P* или моторчик *M*₁ придут в действие, прекращение освещения вызовет разрыв цепи, и лампа погаснет или моторчик остановится. Если нужно получить „запирательное“ реле, т. е. чтобы лампа зажигалась при отсутствии освещения фотоэлемента, полюс *O* батареи *B* отключают от контакта *b* и присоединяют к контакту *c*. Следует заметить, что при использовании демонстрационного гальванометра в качестве реле нельзя вместо батареи (4—16 в) брать

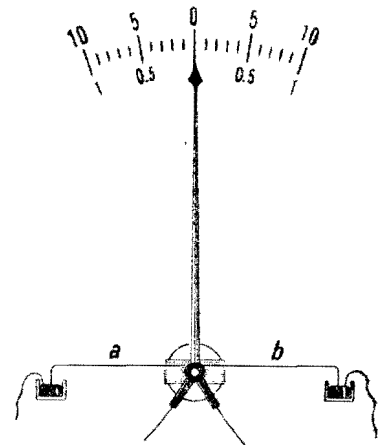


Рис. 651. Ртутные контакты для отпирательного и запирательного реле.

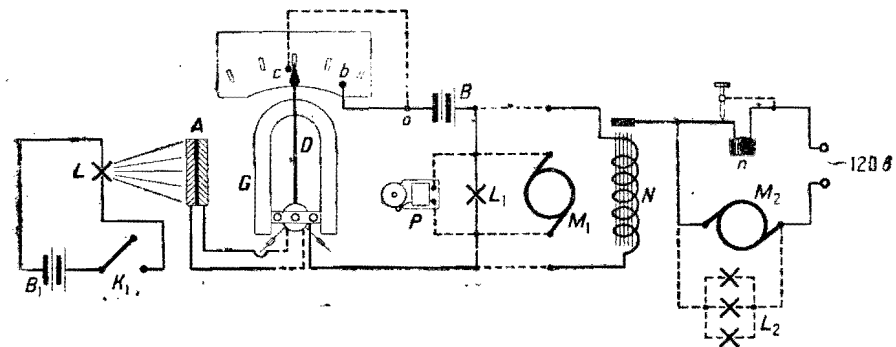


Рис. 652. Схема фотореле с селеновым фотоэлементом.

ток от сети освещения (120—220 в). При желании привести в действие мотор от сети или зажечь освещение в помещении в цепь *DbB* вместо лампочки надо включить электромагнитное реле (т. IV, § 6,11), приспособив к нему ртутный контакт *n* (т. III, § 1,6). Подобное реле очень легко сделать из обыкновенного электрического звонка, исполь-

¹⁾ Если стрелка гальванометра после освещения фотоэлемента придет в колебание, надо изменить полюса батареи *B*.

зовав его ударник (шарик) для замыкания со ртутью¹⁾. Тогда по схеме рисунка 653 можно будет пускать мотор M_2 или зажигать лампы L_2 в помещении от сети освещения.

В заключение следует указать еще интересные применения фотоэлемента, которые легко осуществить в кружке. Параллельный пучок лучей света пускается на селеновый фотоэлемент, защищенный чехлом от постороннего света. Пучок лучей располагается так, чтобы проходящий человек своим телом прерывал освещение. Тогда, собрав указанную выше схему реле, можно ее использовать для подсчета проходящих (электромагнитный счетчик), для сигнализации звонком или сиреной, для приведения в действие самооткрывающихся дверей и пр.

Еще раз повторяем, что работы с фотореле в кружках дают исключительный простор для изобретательности учащихся. С меднозакисным фотоэлементом придется или брать для освещения мощную лампу (300—1000 *вт*) или же использовать в качестве реле вместо демонстрационного гальванометра миллиамперметр ЛФИ; последнее крайне сложно, вернее просто нерационально в условиях средней школы.

14. Фотореле с фотоэлементом с внешним эффектом.

1) Проекционный фонарь. 2) Фотоэлемент. 3) Сопротивление Камина-

ского, 2—3 мегома. 4) Потенциометр в несколько сот омов (реостат Рустрата). 5) Электронная лампа с панелью. 6) Демонстрационный гальванометр. 7) Реостат накала. 8) Батареи на 4 в, 10 в, и 160—240 в.

Фотореле с фотоэлементами с внешним эффектом (цезиевым и сернокалиевым) требует более сложной установки, чем описанная в предыдущей работе 13.

Установка для демонстрации фотореле собирается по схеме рисунка 654. В корпус проекционного фонаря помещают источник света L . В качестве источника света можно взять кинопроекционную или автомобильную лампу (т. III, § 26,2) или обычную лампу накаливания на 75—100 *вт*.

Зажигают фонарь и линзой фокусируют пучок света на расстоянии 1—2 м. В плоскости (точке), где фокусируется пучок света, устанавливают фотоэлемент D , помещенный в непроницаемую для света коробочку с отверстием. Если фонарь дает достаточно хорошо сходящийся пучок света так, что весь свет попадает на фотоэлемент, то установка закончена; если же пучок света лишь частично попадает в фотоэлемент, надо поставить собирающую линзу перед фотоэлементом.

¹⁾ Для получения надежного разрыва и гашения искры поверх ртути наливают слой жидкого масла или керосина.

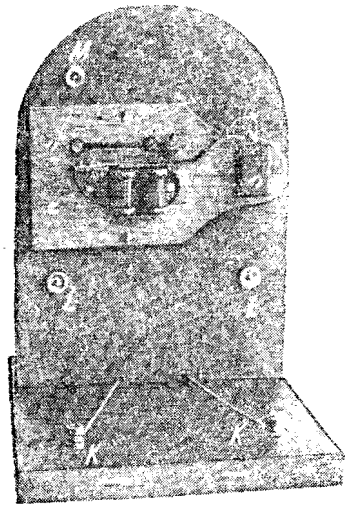


Рис. 653. Ртутное реле из звонка.

Фотоэлемент кислородо-цезиевый включают в цепь батареи или выпрямителя B_a с напряжением в 160—240 в через сопротивление $R_D = 2—3$ мегома. Для получения на сетке лампы отрицательного потенциала присоединяют потенциометр P с сопротивлением в несколько сотен омов, замкнутый на батарею B_p с напряжением около 10 в. В анодную цепь электронной радиолампы, питаемую от батареи или выпрямителя B_a , включают демонстрационный гальванометр G с ртутным реле. Цепь накала составляется обычным образом из батареи B_f и реостата. Электронная лампа для опыта может быть взята любая: П-7, ПТ-2, УБ-107, УБ-110, СО-118 и т. п. Включив напряжения на фотоэлемент и лампу при потушенном свете, перемещают движок потенциометра P и добиваются, чтобы гальванометр G , включенный в анод

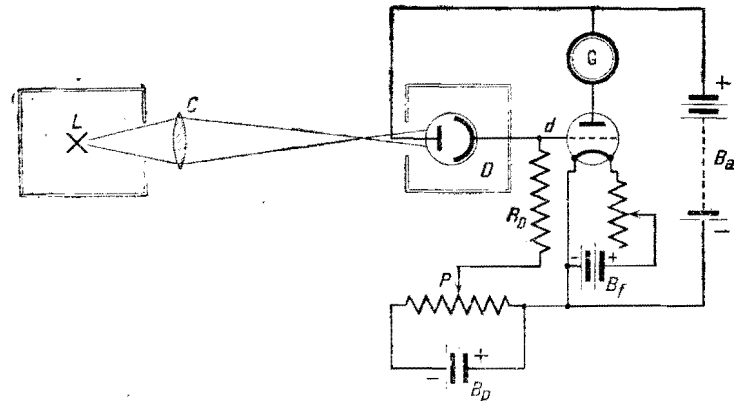


Рис. 654. Схема фотореле с кислородо-цезиевым фотоэлементом.

лампы, не давал отклонения, т. е. чтобы лампа заперлась. Освещают фотоэлемент; через анодное сопротивление фотоэлемента R_D , являющееся одновременно утечкой сетки усилителя, потечет ток. Этот ток вызовет на сопротивлении R_D падение напряжения, причем на конце d , приключенном к сетке лампы, потенциал будет выше (т. е. плюс), а на нити лампы ниже (т. е. минус). Таким образом, падение напряжения на P_D оказывается включенным навстречу сеточному смещению, и потенциал сетки повысится, что вызовет ток в анодной цепи лампы и гальванометр даст отклонение (лампа отперлась). Если между источником и фотоэлементом поставить какую-нибудь преграду (например руку) для света, то гальванометр опять возвратится на нуль. Таким образом, фотоэлемент в описываемом опыте является фотореле, отпирающим лампу.

15. Превращение лучистой энергии в электрическую и механическую. 1) Фотоэлементы селеновые. 2) Гальванометр стрелочный. 3) Лампа из 300—1000 *вт*. 4) Счетчик постоянного тока.

В работах 9 и 10 демонстрировалось превращение лучистой энергии в электрическую, что обнаруживалось отклонением стрелки гальванометра.

Соединив параллельно 4—5 селеновых фотоэлементов и подвергая их освещению мощной лампой в 300—1000 *вт* можно заставить вращаться чувствительный электромотор. В качестве такого электромотора надо воспользоваться счетчиком постоянного тока (т. III, § 22, 1).

§ 73. Телевизионные приемники.

1. Принципы телевизионной передачи и приема. Мы видим потому, что освещенный светом предмет отражает свет, причем различные точки предмета обладают разной отражательной способностью. Темные части поглощают свет больше и меньше его отражают, светлые — наоборот. Итак, каждый предмет, который мы видим, можно рассматривать как определенную комбинацию большого числа точек с разной отражательной способностью. Следовательно, чтобы передать изображение на расстояние, необходимо прежде всего передать по проволоке или радио электрические сигналы, соответствующие яркости света, отраженного от каждой точки изображения. Затем полученные электрические сигналы на месте приема надо превратить в световые вспышки, по своей интенсивности соответствующие интенсивности сигналов, а следовательно и яркости света, отраженного от отдельных точек предмета, изображение которого передается. Наконец, каждую световую вспышку надо спроектировать на экран или сетчатку человеческого глаза и притом так, чтобы эти вспышки были расположены по отношению друг к другу точно так же, как в передаваемом изображении предмета. Если все эти световые точки будут „уложены“ на экран в промежуток времени, меньший $\frac{1}{8}$ сек.¹⁾, то глаз увидит изображение предмета.

Таким образом, техника передачи изображения распадается на следующие задачи:

1) Разложение изображения передаваемого предмета на отдельные „светящие“ точки.

Это значит, что на реагирующий на свет прибор (фотоэлемент) должен упасть в строго определенной последовательности отраженный луч от каждой точки предмета в течение времени меньшего, чем $\frac{1}{8}$ сек. Чем больше количество точек, на которое произведено разложение, тем с большей четкостью будет совершаться прием (рис. 655).

Это разложение, или, как его еще иначе называют, развертка, может быть произведено различными способами.

2) Превращение световых сигналов в электрические, соответствующие по своей интенсивности яркости света.

Это достигается без искажения яркости (§ 72, 1) при помощи фотоэлемента.

3) Усиление (опять-таки без искажения) слабых изменений анодного тока фотоэлемента.

1) Зрительное ощущение сохраняется человеческим глазом $\frac{1}{8}$ сек.

Эта задача решается при помощи специальных усилителей низкой частоты с электронными лампами.

4) Посылка электрических сигналов по проводу или по радио.

5) Посылка специальных синхронизирующих сигналов, без которых правильное синтезирование изображений при приеме невозможно.

Более подробное описание техники телевизионной передачи в задачи данного руководства не входит. Не входя в подробности, укажем, что для работы на длинных волнах, т. е. для передачи на какое угодно расстояние, приходится пользоваться сравнительно небольшим числом (несколько тысяч) элементов разложения. На ультракоротких волнах, прием которых при специальном устройстве радиостанции возможен примерно в радиусе 50—60 км, число элементов разложения доходит до нескольких десятков тысяч и дает изображение не менее четкое, чем в кино. Постройка подобной станции с разложением на 40 тыс. элементов закончена в Москве и станция вступила в эксплуатацию.

При передачах с разложением на 1200 элементов изображение складывается из 30 строк по 40 элементов в каждой. Порядок разложения и синхронизация точек условно показан на рисунке 656. В 1 сек. передается 12,5 кадра (т. е. изображений), окончание каждой строки сопровождается посылкой специального сигнала для синхронизации. Таким образом, кроме собственно телевизионных сигналов ($1200 \times 12,5 = 25\,000$ сигналов в 1 сек.) посылается 375 сигналов для синхронизации.

Передача звуковой части при помощи той же радиостанции невозможна. Звук передают через другую радиостанцию на иной волне. Следовательно, для приема нужны два приемника: один для получения видовой части и другой для звуковой.



Рис. 655 I, II и III. Четкость изображения увеличивается с увеличением числа точек, на которое произведено разложение.



II



III

Механика приема распадается на следующие задачи:

- 1) Прием и усиление до нужной мощности сигналов телевизионной передачи, что достигается при помощи некоторых типов современных ламповых приемников.
- 2) Превращение электрических импульсов в "световые вспышки" соответствующей интенсивности, что осуществляется в "световые вспышки" помощи неоновой лампы (раздел 3).

		ЭЛЕМЕНТЫ					
СТРОКИ		1	2	3	4	39	40
I							
II		41	42	43	44	79	80
III		81	82	83	84	119	120
IV		121	122	123	124	159	160
V		161	162				
							1120
XXVIII			1082				
XXIX		1121	1122	1123		1159	1160
XXX		1161	1162	1163		1198	1199 1200

Рис. 656.

более простым приспособлением является диск Нипкова (раздел 9).

Для синхронизации, т. е. получения строго определенного числа оборотов ($750 \frac{об}{мин}$) диска Нипкова, пользуются синхронным мотором, обычно колесом Лакура. В некоторых случаях колесо Лакура употребляется только как синхронизатор, поддерживающий неизменным число оборотов у другого ведущего мотора (раздел 4).

При синхронизации используются следующие способы:

- 1) Как было указано, по окончании передачи каждой строки в эфир дается электрический импульс. Таким образом, кроме основной телевизионной передачи, в каждую секунду посылается 375 импульсов, что соответствует переменному току в 375 герц. Этот ток в приемнике выделяется, усиливается и используется непосредственно для питания колеса Лакура. Такой способ требует специального усилителя с весьма значительным количеством ламп и в силу этого дорог.
- 2) В телевизоре устраивается ламповый генератор колебаний с частотой в 375 герц для питания колеса Лакура. Синхронизирующие сигналы от приемника подаются на сетку генераторной лампы, задают частоту в 375 герц и тем самым стабилизируют колебания. Такой способ применен в телевизоре Б-2 (раздел 12).

3) В пределах Москвы и ее окрестностей, где ток имеет везде строго определенную и притом совершенно одинаковую частоту, возможно использование синхронных моторов, питаемых непосредственно от сети освещения. Действительно, в этом случае синхронизм обеспечен, так как синхронные моторы передатчика и приемника питаются током одинаковой частоты. Это весьма упрощает конструкцию телевизора и удешевляет его (раздел 10).

4) В провинции, где имеется переменный ток в 50 герц, частота его лишь немногим отличается от частоты тока московского куста. Поэтому при пользовании синхронным мотором изображение обычно получается, но не стоит на месте, а плывет.

Для получения неподвижного изображения любители подтормаживают пальцем диск Нипкова. Журнал "Радиофронт" для телевизора РФ-2 рекомендует синхронный мотор, связанный с диском Нипкова фрикционной передачей, позволяющей точно синхронизироваться.

Кроме синхронизации, нужна также синфазность. Это достигается весьма простым способом, например поворотом на соответствующий угол статора колеса Лакура.

Таким образом, в состав телевизора, не считая усилителя или приемника, в простейшем случае входят: 1) неоновая лампа; 2) синхронный мотор, дающий $750 \frac{об}{мин}$, или другой какой-нибудь мотор

(асинхронный, коллекторный), синхронизируемый колесом Лакура; 3) диск Нипкова.

Для устранения воздействий постороннего света телевизор помещают внутрь ящика и на изображение смотрят через окошечко. Для увеличения размеров экрана прибегают к помощи короткофокусной линзы и получают мнимое увеличенное изображение.

2. Пособия для объяснения способа развертки изображения.

- 1) Кубики детские. 2) Краски: белая и черная.

Объяснение принципа развертки изображения выходит отвлеченным, длинным и потому скучным для учащихся, если не сопровождается демонстрацией соответствующего пособия. Таким пособием служат детские кубики, у которых все шесть сторон окрашены: одна белым, другая черным и четыре остальных тонами, дающими постепенный переход от чисто белого к черному. Чем больше взято подобных кубиков, тем большей четкости можно достигнуть в рисунке. Составление тоновых рисунков — дело кропотливое, требующее к тому же художественного дарования, но в этом случае придут на помощь учитель рисования и долгие осенние вечера.

Можно отказаться от тоновых рисунков вовсе и ограничиться составлением примитивов с линиями.

Наиболее эффектно составить тоновый рисунок (например из 100 кубиков), который при рассматривании издали давал бы представление об изображенном предмете, и затем вблизи показать, что он

составлен из отдельных квадратиков, окрашенных в черное, белое и полутона (рис. 657 I и II). Вместо кубиков можно заняться мозаичной работой, создав из 1200 бумажных квадратиков (30 строк по 40 квадратиков) портрет или изображение предмета.



Рис. 657 I.



Рис. 657 II.

При помощи описанного пособия объяснение принципа разложения на элементы становится конкретным и потому действенным.

3. Неоновые лампы. Неоновые лампы являются почти безинерционными, поскольку зажигание, потухание и изменение интенсивности свечения происходят почти мгновенно. Изменения интенсивности свечения в зависимости от силы текущего тока (в некоторых пределах) близки к прямой пропорциональности, что позволяет использовать

неоновую лампу для телевизионных приемов. Электростанция выпускает специально для телевизоров неоновые лампы типа НТ-4 (рис. 658). В стеклянном баллоне лампы, содержащем разреженный неон (с некоторыми примесями), помещены два

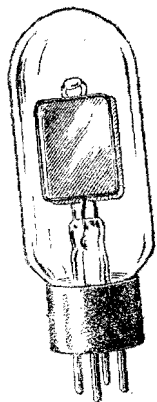


Рис. 658.

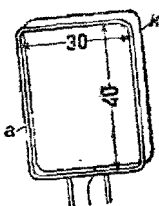


Рис. 659.

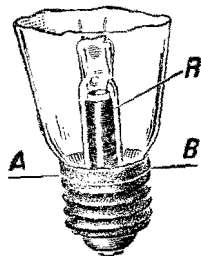


Рис. 660.

электрода *a* и *k* (рис. 659). Катод представляет собой пластинку из алюминия, покрытую с одной стороны слюдой (НТ-2) или особым составом (НТ-4). С другой стороны пластинки на расстоянии 2—3 мм помещен анод *a*, имеющий вид рамки. При включении плюса источника тока к аноду равномерно светится вся его поверхность, катод же

остается темным. При неправильном включении, наоборот, светится одна рамка. Провод от анода присоединен к штырьку цоколя с 4 ножками, соответствующему у электронной лампы аноду. Катод включен к одному из штырьков — накали.

В продаже иногда встречаются лампы, продаваемые как бракованные с большим порогом (потенциалом) зажигания, который должен быть не выше 160 в, или дающие неравномерное свечение анода. Для телевизоров такие лампы не пригодны.

Для примитивных любительских телевизоров можно применять сигнальную (пяточковую) неоновую лампу (тип НС-2). Электроды

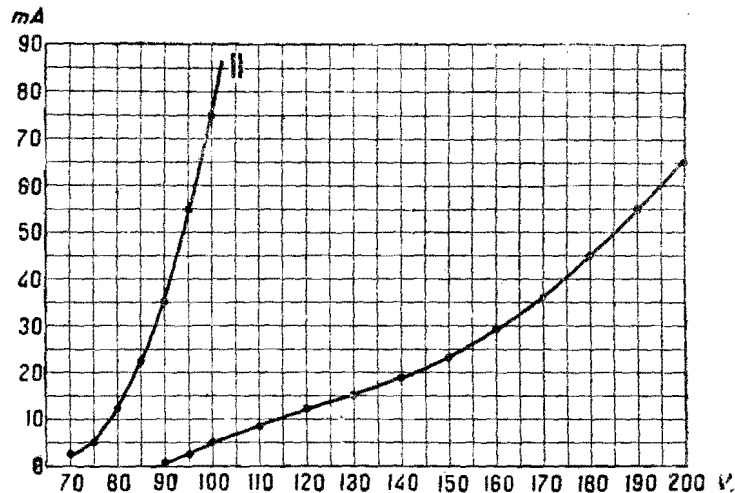


Рис. 661.

этой лампы имеют вид кружочков (т. IV, § 27). Внутри лампы, вне баллона, со стороны цоколя вмонтировано проволочное сопротивление *R* (рис. 660). Для получения более интенсивного свечения при телевизионном приеме это сопротивление надо удалить. Для этого, если нужно сохранить цоколь, распиливают его трехгранным напильником по линии *AB* и вынимают сопротивление. Затем цоколь вновь спаивают, сделав соответствующие подключения к электродам цоколя.

Удаление сопротивления понижает порог (потенциал) зажигания и изменяет вольт-амперную характеристику лампы (рис. 661).

4. Синхронный мотор; колесо Лакура. Синхронный мотор имеет строго определенное число оборотов, зависящее исключительно от частоты питающего его переменного тока. Никакие изменения напряжения, а следовательно, и силы тока, текущего через мотор, не сказываются на числе оборотов и отражаются только на его мощности.

Синхронный мотор не может прийти в движение самостоятельно. Его надо раз привести во вращение тем или иным способом, например

малый — от руки, более мощный — от асинхронного мотора, до соответствующего числа оборотов. Тогда в дальнейшем синхронный мотор будет продолжать вращение самостоятельно, без помощи асинхронного мотора. Если же последний не выключен и продолжает вращение, то все равно число оборотов обоих моторов является строго определенным и соответствующим синхронному мотору¹⁾.

Синхронный мотор, при тенденции асинхронного мотора увеличивать число оборотов, будет соответствующим образом подтормаживать. Наоборот, при нагрузке, когда асинхронный мотор, работая один, уменьшил бы число оборотов, синхронный начинает помогать и доводит число оборотов до нормального. Асинхронный мотор в этом случае называют ведущим, а синхронный — синхронизирующим. Подобное соединение двух моторов удобно прежде всего тем, что вращение начинается самостоятельно, без помощи со стороны, и, наконец, позволяет брать синхронный мотор небольшой мощности.

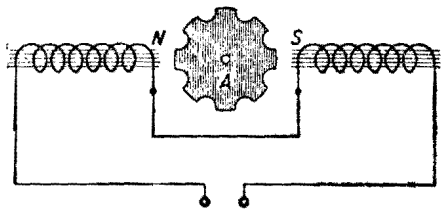


Рис. 662. Схема колеса Лакура.

В качестве синхронного мотора в телевизорах употребляют колесо Лакура. Статор мотора образуют две (или четыре) катушки N и S с железными сердечниками, включенные в цепь переменного тока (рис. 662). Катушки соединены между собой так, что на их полюсных наконечниках, обращенных к ротору, существуют разноименные магнитные полюсы. Ротор делается из мягкого железа и по своей форме напоминает зубчатое колесо. Самостоятельно притти во вращение ротор не может; его надо развернуть. Скорость вращения будет поддерживаться у ротора неизменной и строго определенной в зависимости от частоты f переменного тока и числа зубцов k колеса Лакура.

Число оборотов колеса в 1 сек. равно:

$$n = \frac{2f}{k}.$$

Например, при токе в 50 герц и колесе с 8 зубцами число оборотов равно:

$$n = \frac{2f}{k} = \frac{2 \cdot 50}{8} = 12,5 \frac{\text{об}}{\text{сек}} = 750 \frac{\text{об}}{\text{мин}}.$$

Так как диск Нипкова должен иметь $750 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$, то при питании колеса Лакура осветительным током число зубцов берется равным 8.

5. Переделка асинхронного мотора в синхронный. Малый однофазный асинхронный мотор от вентилятора легко переделать в синхронный. Особенно хорош для этой цели мотор от настольного вентилятора с матерчатыми крыльями. Возможно также воспользоваться любым вентиляторным мотором в 50 вт. При переделке на коротко-

¹⁾ Это верно при условии, что мощность асинхронного мотора невелика по сравнению с мощностью синхронного.

замкнутом роторе опиливают 4 грани так, как это показано на рисунке 663.

Такой ротор будет вращаться синхронно, давая $1500 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$. Так как для диска Нипкова требуется скорость в $750 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$, то приходится устраивать передачу с двумя шестернями с отношением 2:1.

После переделки мощность мотора несколько уменьшится; основное же свойство асинхронного мотора — самостоятельно начинать вращение — сохранится. Таким образом, мотор после включения в цепь сам начнет вращаться, постепенно увеличивая скорость, и, достигнув $1500 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$, пойдет синхронно.

6. Самодельные синхронные моторы. В популярной технической литературе описано для самостоятельного изготовления много различных синхронных телевизионных моторчиков.

Общий вид одной из удачных конструкций мотора, для изготовления которой нужны очень небольшие ремесленные навыки и простейшие материалы, изображен на рисунке 664¹⁾.

Мотор состоит из статора NS (рис. 665, I), снабженного двумя катушками B, питаемыми переменным током от освещения. Ротор A представляет собой колесо Лакура оригинальной конструкции (рис. 665, I, VI и VII). Статор собирается из отдельных полосок (140 мм ×

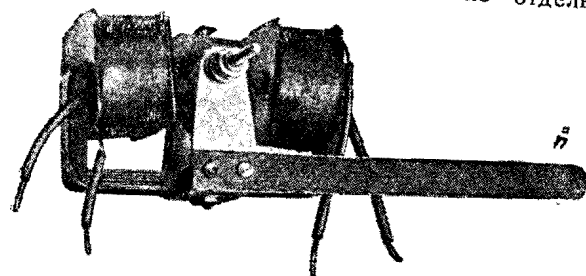


Рис. 664.

× 17 мм) мягкого железа, нарезанного, например, из старых консервных банок и для удаления олова отожженного в печи. На шаблоне соответствующего размера полоскигибаются для получения формы, показанной на рисунке 665 II. Концы сердечника, где ли- или скрепляют заклепками. Размеры каркасов для катушек статора даны на рисунке 665, III. Сделать их лучше всего из латуни или цинка; труднее склеить из картона. Катушки наматывают по способу,

¹⁾ Журнал „Хочу все знать“ № 4, 1937 (автор Б. Шефер).

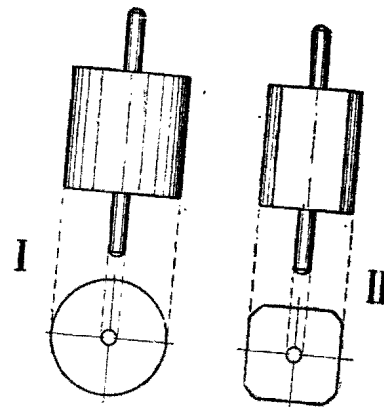


Рис. 663.

описанному в томе IV, § 5, 2, из проволоки толщиной в 0,1—0,15 мм. Для укрепления подшипников оси ротора сгибается из железа скоба (рис. 665, IV). Для изготовления ротора вырезают из листового железа две фигуры, напоминающие формой кресты (рис. 665, V и VI). Как разметку, так и вырезание из металла надо произвести возможно более точно и затем, наложив заготовки друг на друга, слегка опилить

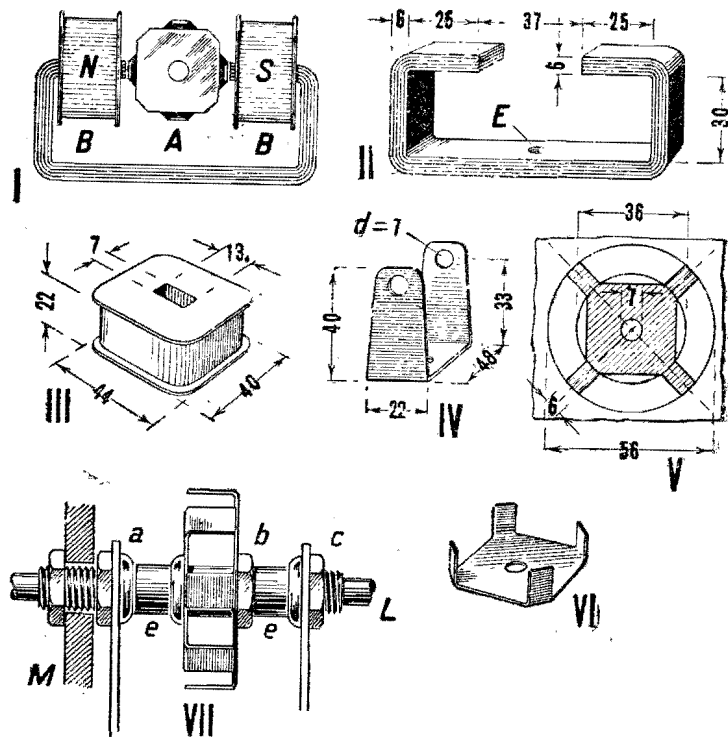


Рис. 665.

в соответствующих местах для получения полного равенства фигур. Еще более точно надо отогнуть зубцы (рис. 665, VI), иначе некоторые из них будут бить и в частности задевать за сердечники катушек. Ось ротора *L* проще всего взять из „конструктора“; тогда подшипниками могут служить телефонные гнезда *a* и *c*. Гнездо *a* служит также для укрепления всего мотора на передней стенке угловой панели телевизора. Выступающий конец оси *L* служит для пуска пальцами мотора. Ротор, собранный из двух железных зубчатых пластинок, закрепляется на оси *L* наглухо при помощи телефонного гнезда *b*. На ось надеваются также втулки *e, e*, сделанные из трубочек. Для поворотов статора, нужных для достижения синфазности, к нему прикрепляют металлический рычажок *n*, ясно видный на рисунке 664.

Катушки *B* мотора соединяют между собой последовательно и притом так, чтобы на полюсных наконечниках получались разноименные полюсы, и включают их в цепь 120 в переменного тока без реостата. Если нагревание катушек незначительно, то можно их соединить параллельно, отчего мощность мотора возрастает.

Если мотор построен тщательно, т. е. ротор не бьет и вращается с очень малым трением, а также зазор между полюсами и ротором мал, то мощность оказывается достаточной для вращения диска Нипкова.

Пусть мотор в первый раз обычно удастся после нескольких проб, впоследствии навык приобретает легко. Для пуска берут паль-

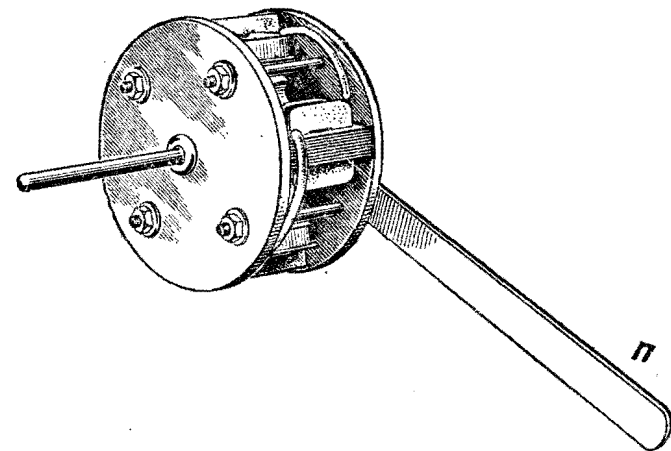


Рис. 666.

цами выступающий за панель конец оси и быстро повертывают его в нужную сторону. Если же мотор оказывается маломощным, то на ось *L* надевают шкив от „конструктора“ и соединяют его ременной передачей (ниткой) с каким-нибудь другим моторчиком, работающим от батарейки или трансформатора.

Для изготовления синхронного мотора от телевизора РФ-2¹⁾ (рис. 666) необходимо приобрести четыре катушки от репродуктора „Рекорд“ вместе с железными сердечниками (рис. 666 и т. V). Статор мотора собирается из 4 сердечников *I*, сжатых посредством болтов между двумя железными кружками *III* (рис. 667).

Тело ротора делают из пластинки мягкого железа толщиной в 2 мм (рис. 667, IV) следующим образом. Прочерчивают окружность диаметром $d=36$ мм и делят на 8 частей. В каждой из этих точек сверлом ($d=7$ мм) просверливают отверстия, затем отрезают лишнюю часть *B* пластинки и спиливают края. Зубчатое колесо *A* можно закрепить на оси посредством телефонного гнезда или просто припаять.

¹⁾ РФ-2 — модель журнала „Радиофронт“.

При сборке сердечники устанавливают так, чтобы полюсы катушек были расположены возможно ближе (доли миллиметра) к зубцам ротора. Катушки соединяют последовательно по две (первую с третьей и вторую с четвертой), и притом так, чтобы они имели различную полярность. При напряжении в 120 в обе пары включаются в сеть параллельно, при напряжении в 220 в — последовательно.

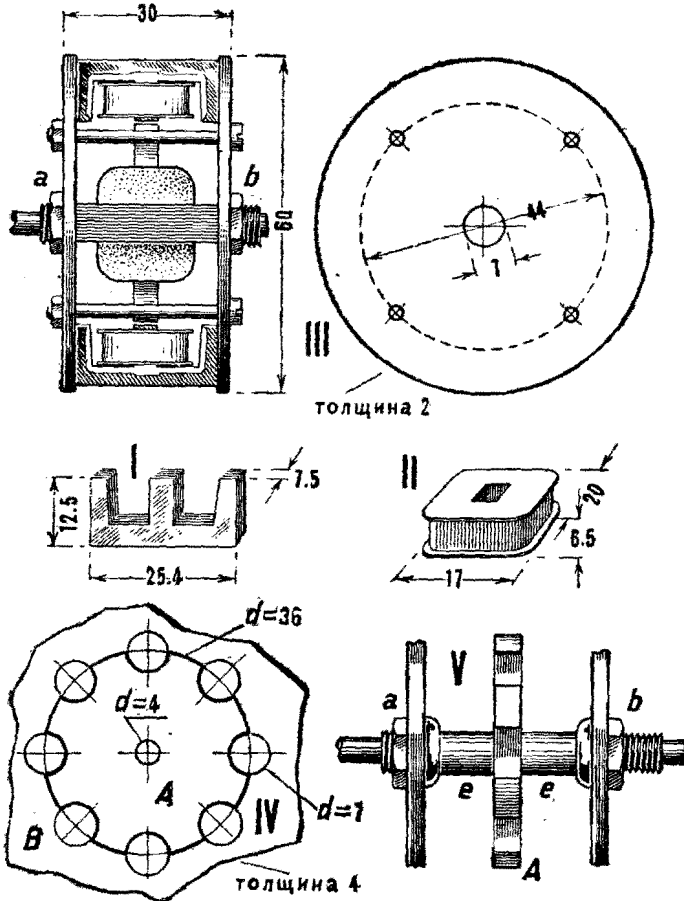


Рис. 667.

Для получения синфазности статор мотора надо сделать способным к поворотам вокруг оси. Одна из конструкций, достигающая этой цели, показана на рисунке 666. Поворот делают за рычажок.

У мотора телевизора РФ-2 сделана фрикционная передача к диску Нипкова, позволяющая достигать синхронизма в том случае, когда мотор питают током не из сети московского электрокольца.

7. Мотор для телевизора завода „Динамо“. В продаже существуют синхронные моторы для телевизора завода Динамо типа ДКР-1,

стоящие сравнительно недорого (рис. 668). Мотор предназначен для питания от сети освещения током в 50 периодов и дает $750 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$. Статор имеет четыре катушки В, включенные последовательно. Каждая

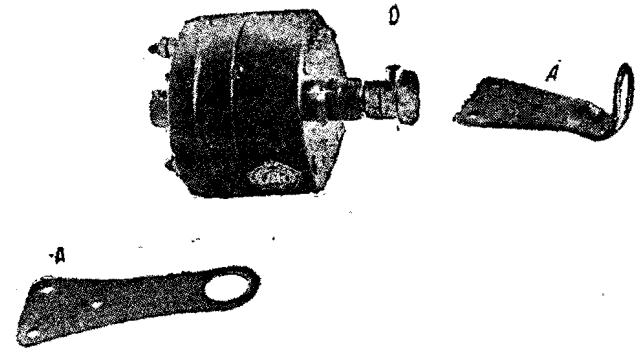


Рис. 668.

катушка содержит 1800 витков провода ПЭ ($d = 0,15 \text{ мм}$) (рис. 669). Ротор С представляет собой колесо Лакура с 8 зубцами, собранное из листов железа.

Для установки мотора к нему приложены два кронштейна А, надеваемые на шейки статора, благодаря чему последний может быть повернут для введения изображения в рамку.

Кольцевая канавка на корпусе мотора позволяет использовать для поворотов ременную передачу.

Для укрепления диска Нипкова на оси помещена втулка D с накрученной на нее гайкой.

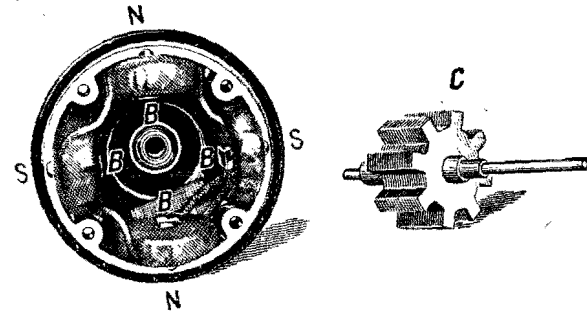


Рис. 669.

Мотор, потребляя из сети около 15 вт, достаточно мощен не только для вращения больших дисков Нипкова но и зеркального винта.

8. Мотор телевизора Б-2. Асинхронный мотор А телевизора Б-2 представляет собой обычный однофазный мотор с двумя полюсами и коротко-замкнутым якорем (рис. 670). Для питания мотора используется переменный ток от сети освещения 120 в. На одном валу с якорем мотора насажено колесо Лакура В, синхронизирующее вращение ($750 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$). Энергия к колесу Лакура подается от лампового генератора, генерирующего переменный ток в 375 герц.

На рисунке 671, III изображен асинхронный мотор с некоторыми упрощениями, причем указаны все основные размеры. Полюсы мотора (рис. 671, II) намотаны на прессшпановые шпильки проводом ПЭ ($d=0,2$ мм) и содержат по 2250 витков. Сердечники полюсов собраны из двух полосок железа (рис. 671, I). Важно обратить внимание на то, что на часть полюсного наконечника надет коротко замкнутый виток из медной шинки. Как известно, благодаря этим коротко замкнутым виткам однофазный синхронный мотор начинает вращение без посторонней помощи (т. V).

Ротор представляет собой железный цилиндр, содержащий 5 сквозных отверстий ($d=5$ мм). В отверстия вставлены медные стержни D, соединенные с медными же шайбами E, лежащими на основаниях цилиндра (рис. 671, IV).

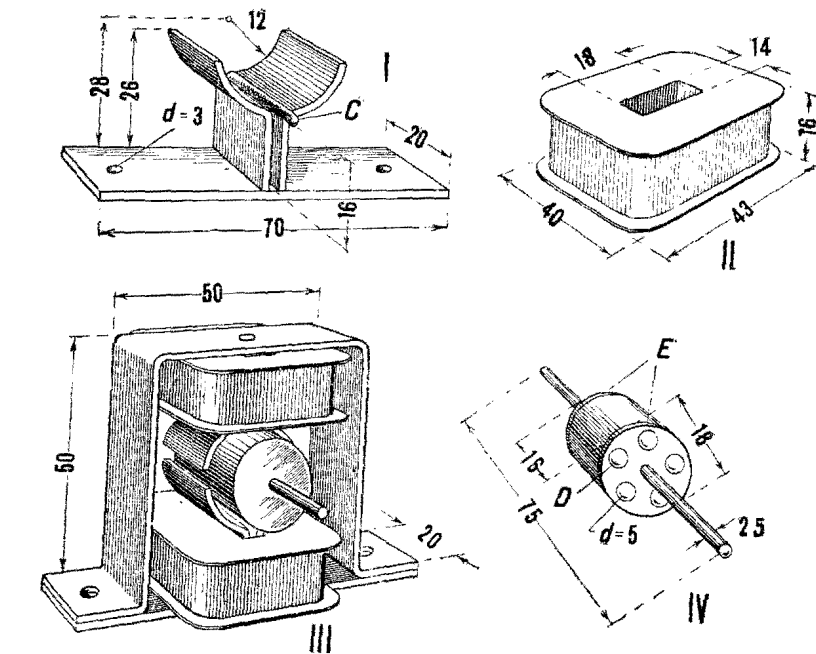


Рис. 671.

соединенные с медными же шайбами E, лежащими на основаниях цилиндра (рис. 671, IV).

Таким образом, медь в роторе образует его коротко замкнутую обмотку — беличье колесо (т. V). Зазор между полюсными наконечниками и ротором равен 0,2 мм.

Для изменения числа оборотов последовательно с асинхронным мотором в телевизоре введен реостат.

На рисунке 672, I изображено синхронизирующее устройство — колесо Лакура. Полюсные обмотки колеса Лакура намотаны на прессшпановые шпильки проводом ПЭ ($d=0,07$ мм) по 11 тыс. витков (рис. 672, II). Полюсные сердечники на концах имеют для улучшения синхронизации по 4 зубца (рис. 672, III). Якорь содержит 30 зубцов, что при частоте питающего тока в 375 герц позволяет получить $375:30=12,5 \frac{\text{об}}{\text{сек}}$, или $12,5 \cdot 60=750 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ (рис. 672, IV).

Мощность, потребляемая моторами, — около 5 вт при напряжении в 110 в.

9. Диск Нипкова. Изготовление диска Нипкова требует очень большой точности как в разметке, так и в последующем пробивании отверстий. Поэтому диск Нипкова нужно изготовлять в том случае, если его нет в продаже, тем более, что он стоит гроши. Диск Нипкова представляет собой круг из черной бумаги, на котором расположено

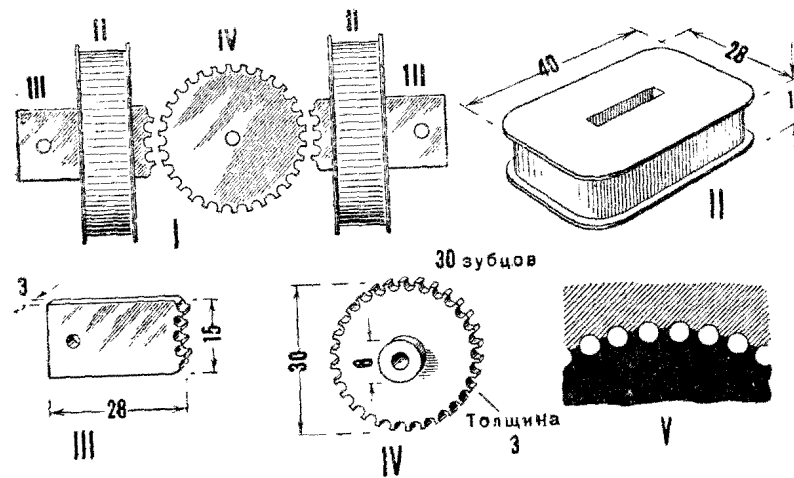


Рис. 672.

по спиральной линии на равном расстоянии друг от друга 30 квадратных или круглых отверстий (рис. 673). Для изготовления диска берут плотную хорошую бумагу, например ватманскую или в крайнем случае черную фотографическую. Бумага не должна содержать никаких следов перегибов, складок и быть совершенно ровной. Впрочем, небольшие изъяны в ней можно устранить, проглаживая ее с обеих сторон горячим утюгом. Белую бумагу надо предварительно зачернить тушью или краской. Диаметр диска берется обычно в 190 мм, но для повышения точности построений самую бумагу надо взять побольше.

Для черчения необходимо пользоваться хорошим циркулем и очень тонко отточенным твердым карандашом или лучше чертилкой из иголки.

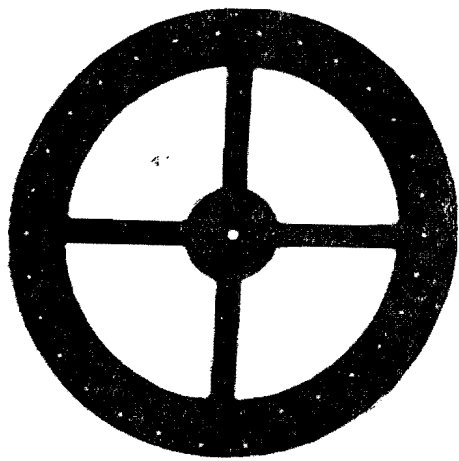


Рис. 673.

Величина стороны такого 30-угольника или хорды равна:

$$a = 2R \cdot \sin \frac{\alpha}{2} = 2R \sin 6^\circ = 0,209R.$$

Можно также окружность сначала разделить на 6 частей ($a = R$) и затем каждую из них в свою очередь делят на 5 частей.

Для нанесения точек на окружность надо пользоваться штангенциркулем или чертежным циркулем, но опять-таки найдя его раствор по штангенциркулю (т. II, § 2, 13). Разделив окружность тем или иным способом на 30 частей, про-

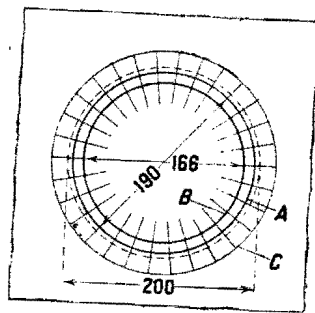


Рис. 674.

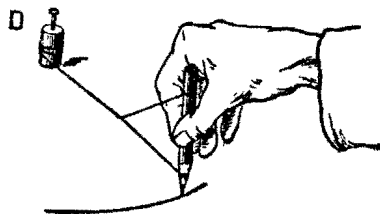


Рис. 675.

водят между окружностями A и B отрезки радиусов. На этих радиусах должны лежать центры отверстий и притом так, чтобы каждое из них находилось на расстоянии в $0,4$ мм ближе к центру, чем соседнее правое. Это можно сделать при помощи штангенциркуля или следую-

щим образом¹⁾. В центре чертежа так, как это указано на рисунке 675, укрепляется при помощи иголки или тонкого гвоздя стержень или втулка D (металлическая или только в крайнем случае деревянная) диаметром точно в $3,82$ мм. К этой втулке привязывают проволоку (например тонкую балалаечную струну) и на свободном конце последней укрепляют чертилку. Сделав так, чтобы острое чертилки при положении на одном из радиусов находилось в то же время на окружности, определяющей внешнюю границу (т. е. на расстоянии 95 мм от центра), прочерчивают спиральную линию. Пересечение этой спирали с отрезками радиусов определит центры отверстий.

Для пробивания отверстий делается пробойник, напоминающий собой шило с тупым концом. Диаметр пробойника делают в $0,6$ мм (рис. 676).

Более высокое качество изображения получится при диаметре в $0,5$ мм, если при этом, конечно, сделана весьма точная разметка. На рисунке 677 показана условно часть диска Нипкова с отверстиями величиной в $0,6$ и $0,5$ мм и перекрытия, даваемые ими.

Для пробивания под бумагу подкладывают кусочек гладкого и плотного картона или фибры и устанавливают пробойник так, чтобы его центр совпал с центром отверстия. Пробивание производится при помощи ударов молоточка. При пробивании отверстий следят за тем, чтобы пробойник не мог попасть в отверстия в подкладке, сделанные ранее.

После пробивания отверстий лист бумаги обрезается по окружности диаметром около 200 мм.

Еще раз подчеркиваем необходимость самой тщательной аккуратности как при разметке, так и при пробивании отверстий. Рекомен-

дуется сделать несколько дисков и отобрать из них наилучший. Для проверки насаживают диск Нипкова на какую-нибудь ось, обратив при этом внимание, чтобы отверстие для оси не было эксцентрично по отношению к центру. Сзади диска помещают зажженную неоновую лампочку, питаемая ее обязательно постоянным током. Если при быстром вращении

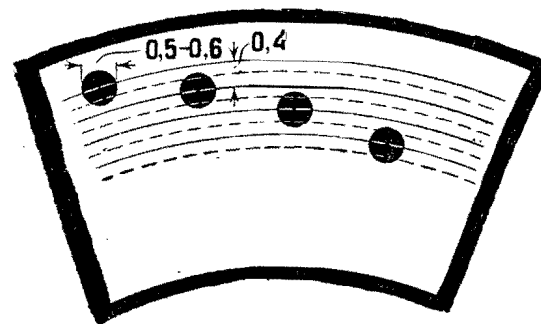


Рис. 677.

¹⁾ Этот способ рекомендован в книге Сытин и Афанасьев „Телевидение“. Там же указан приводимый ниже способ пробивки отверстий и проверки диска Нипкова.

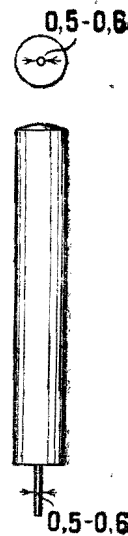


Рис. 676.

получается ровно освещенное поле, без светлых или темных полос, — то отверстия по отношению к центру пробиты правильно. Если же наблюдаются полосы, то по их положению можно сначала приблизительно определить номер неправильно пробитого отверстия. Например, полоса на середине соответствует отверстиям 15 или 16, на одну четверть

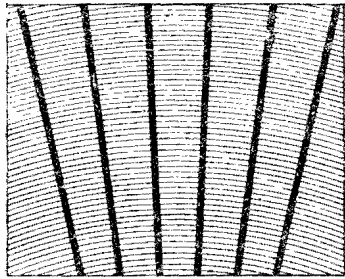


Рис. 678 I.

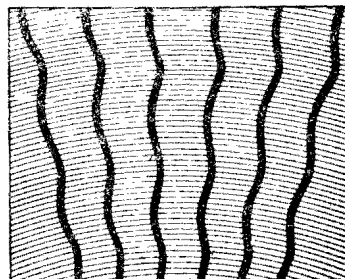


Рис. 678 II.

сверху — отверстиям 7 или 8. Для точного установления номера временно заклеивают одно из подозрительных отверстий. Получение черной полосы на месте дефекта указывает на то, что именно это отверстие пробито неправильно. Для проверки правильности расположения отверстий по радиусам надо включить телевизор в приемник и, настроив последний на какую-нибудь станцию, ручкой обратной связи возбудить генерацию. Тогда при вращении диска получится ряд поперечных наклонных полос. Настроившись, можно заставить полосы оставаться неподвижными. При правильной пробивке полосы будут прямыми, при неправильной — извилистыми (рис. 678, I и II). Определяя номер строки и заклеивая подозрительные отверстия, устанавливают точно номер отверстия, содержащего погрешность. Отверстие надо будет для исправления подвинуть вправо или влево.

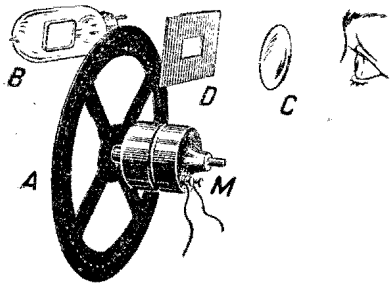


Рис. 679.

Неправильно пробитые отверстия заклеиваются заплатой и после точного определения места пробиваются новые.

Не надо смущаться тем, что бумага диска несколько изгибается; при вращении, под влиянием центробежной силы, диск становится совершенно плоским.

О размерах получаемого изображения в зависимости от диаметра диска Нипкова см. раздел 10.

10. Устройство простейшего телевизора. Простейший телевизор содержит синхронный мотор *M*, питаемый от сети переменного тока, диск Нипкова *A*, неоновую лампу *B* и лупу *C* с ограничительной рамкой *D* (рис. 679).

Размеры получаемого изображения в телевизоре могут быть доведены с лампой НТ максимум до 30 мм × 40 мм. Однако подобный

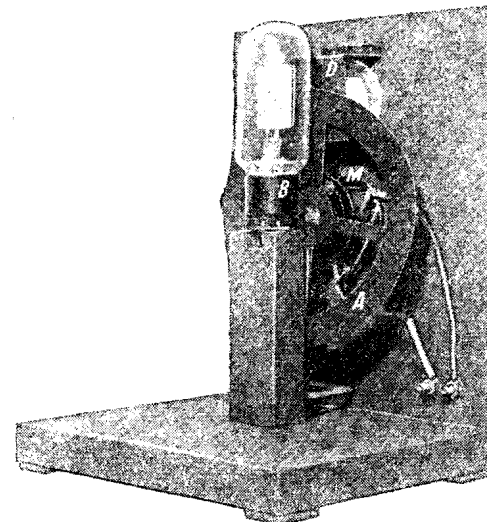


Рис. 680 I.

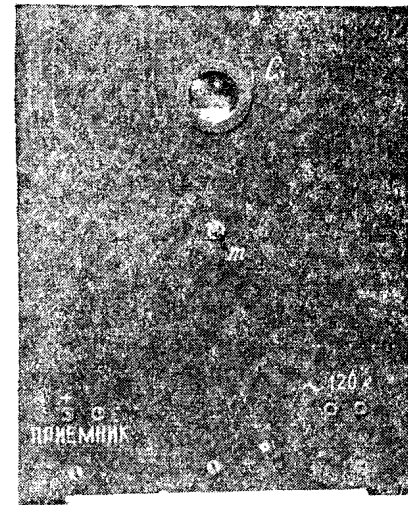


Рис. 680 II.

телевизор был бы чересчур громоздким, так как диск Нипкова пришлось бы взять диаметром около 50 см. В любительской практике наибольшим распространением пользуется описанный в разделе 9 диск диаметром в 19 см (отверстия $d = 0,5 - 0,6$ мм). Нередко употребляются также диски в 30 см с квадратными отверстиями $0,7$ мм × $0,7$ мм. Размеры получаемого изображения в первом случае 12 мм × 10 мм и во втором — 28 мм × 21 мм. Очевидно, что такие же размеры должен иметь прямоугольный прорез в ограничительной рамке *D*. Для увеличения изображения употребляют лупу или очковое стекло в +8 — +9 диоптрий.

Монтаж телевизора лучше всего произвести на угловой панели, закрываемой от воздействия постороннего света чехлом из фанеры (рис. 680). В отверстие вставляют линзу и сзади ее помещают ограничительную рамку *D*.

Можно также линзу *C* и ограничительную рамку *D* смонтировать на основаниях трубки *F*, заклеенной внутри черной бумагой или зачер-

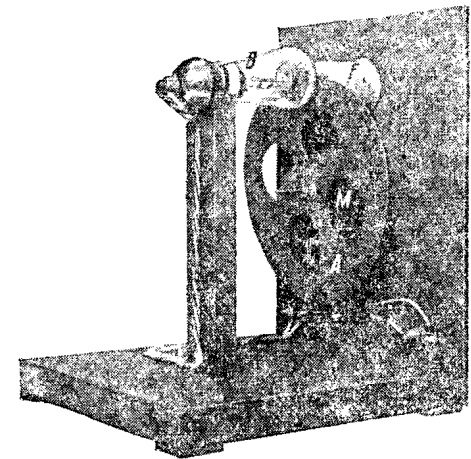


Рис. 681.

ненной тушью (рис. 681). Синхронный мотор M укрепляют на передней стенке панели описанным в разделе 6 способом. Конец оси m мотора M должен на столько выступать, чтобы, взявшись за него пальцами, удобно было пустить мотор. Конец рычажка n служит для поворотов статора мотора и, следовательно, для введения изображения в рамку (рис. 666).

Диск Нипкова A закрепляют на оси мотора между двумя шайбами или шкивами от „конструктора“. Диск располагают так, чтобы отверстие, наиболее удаленное от центра (если смотреть со стороны неоновой лампы), находилось правее отверстия, наиболее близкого к центру. Лампу B монтируют на деревянной подставке так, чтобы она была расположена в верхней части диска против линзы C .

Неоновую лампу лучше взять типа НТ (раздел 3); однако для маломощных приемников, где лампа НТ не горит, можно воспользоваться пятачковой неоновой лампой НС.

Так как при диске диаметром в 190 мм размер получаемого изображения 10 мм × 12 мм, то для упрощения монтажа неоновую лампу НТ можно поставить вертикально. Лампу НС располагают указанным на рисунке 681 образом. Концы от мотора выводят к клеммам ~120, помещенным на передней стенке панели, или приключают к шнуру с вилкой. Точно так же делаются выводы: + и „приемник“ от неоновой лампы, служащий для подключения к приемнику.

11. Включение телевизора к приемнику. Телевизионный прием требует двух приемников: одного для звуковой части и другого для получения изображения. Так как описанные телевизоры допускают только индивидуальный просмотр, то для звуковой части вполне можно взять детекторный приемник с наушниками.

Телевизор могут обслуживать приемники ЭЧС-2, ЭЧС-3, ЭЧС-4, ЭКЛ-4 и ЭКЛ-34 и некоторые достаточно мощные любительские, имеющие в последнем каскаде лампу VO-104, CO-187 и т. п. (т. V). Приемник ЦРЛ-10 дает негативный прием изображения, т. е. такой, в котором свет и тени будут распределены обратно по сравнению с передаваемым оригиналом. Для получения позитивного, т. е. нормального изображения, надо к приемнику ЦРЛ-10 добавлять еще один каскад низкой частоты. Приемник СИ-235 для обслуживания телевизоров с неоновыми лампами НТ (раздел 3) совсем не годен. Вследствие малой мощности СИ-235 удается обслуживать телевизоры только с пятачковой неоновой лампой НС, причем изображение получается негативным. Переделка приемника СИ-235 для телевизора с лампой НТ представляет собой сложную задачу: в нем надо заменить силовой трансформатор, поставить более мощный кенотрон ВО-116 и добавить еще один каскад низкой частоты¹⁾. Стоит это недешево и под силу преподавателю, не искусному в вопросах радиотехники.

То же, что и о СИ-235, надо сказать о приемниках на постоянном токе, т. е. типов: ВЧН, ВЧЗ и БИ-234; переделывать их нерационально, лучше собрать новый приемник.

¹⁾ Оборачивание изображения может быть достигнуто также при помощи изменения системы детектирования без добавления каскада.

Телевизор включают к одному из указанных типов приемников следующим образом. Неоновая лампа должна быть включена в анодную цепь последней лампы приемника взамен первичной обмотки выходного трансформатора. Для быстрого включения телевизора и для перехода с приема звука на телевизионный надо поставить двухполюсный переключатель P (рис. 682). Для этого первичную обмотку выходного трансформатора T , обслуживающего динамик A , выключают из анодной цепи и присоединяют к контактам t, t переключателя. Два других неподвижных контакта переключателя присоединяют к двум штепсельным гнездам B , устанавливаемым на ящике приемника и служащим для присоединения вилки телевизора. Подвижные контакты p, p вводят в анодную цепь лампы. Тогда при одном положении переключателя (направо) получается звуковой прием, при другом (налево) — телевизионный. Удобные двухполюсные переключатели можно встретить в продаже; в частности, их для телевизоров Б-2 выпускает завод им. Казицкого¹⁾.

Для приема телевидения прежде всего настраивают приемник на станцию РЦЗ до получения максимальной слышимости характерного тона (частота 375 герц). Затем, включив предварительно в гнезда B вилку телевизора, поворачивают переключатель соответствующим образом для перехода со звука на телевидение. Если в телевизоре замечен только едва видимый свет или ничего не видно, то, следовательно, полюсы неоновой лампы включены неправильно (светится рамка, а не экран), — надо вынуть вилку и повернуть ее наоборот. После появления изображения подстраивают приемник до получения наибольшей яркости и четкости. Для достижения синфазности, т. е. введения изображения в рамку, поворачивают статор синхронного мотора за соответствующую рукоятку (разделы 6 и 10).

Прием в провинции, в особенности удаленной от Москвы, следует вести на наружную антенну.

12. Телевизор Б-2 завода им. Казицкого. В продаже имеется телевизор Б-2 завода им. Казицкого, предназначенный для приема по всему Союзу ежедневных телевизионных передач, идущих через станцию РЦЗ и ВЦСПС (рис. 683).

Изображение синтезируется из 1200 элементов (30 строк по 40 элементов) и поэтому высоким качеством не отличается. Однако приобрести телевизор для демонстрации учащимся надо, если, конечно, школа имеет ламповый приемник.

О типах приемников, необходимых для обслуживания телевизора Б-2, и способе его присоединения к приемнику см. раздел 11.

¹⁾ Приемник ЭЧС-2 снабжать переключателем не надо; у него сделан выход к динамику, которым надо воспользоваться.

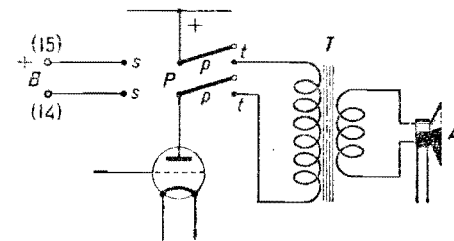


Рис. 682.

Схема телевизора и его внешний вид показаны на рисунках 684, 685, 686. Телевизор снабжен двумя штепсельными вилками: одна из них присоединяется к цепи переменного (но не постоянного) тока освещения 110—120 в (на схеме рисунка 686 110—120 в) и другая — (14 и 15 на рисунке 686), помеченная у одного из штепселей знаком +,

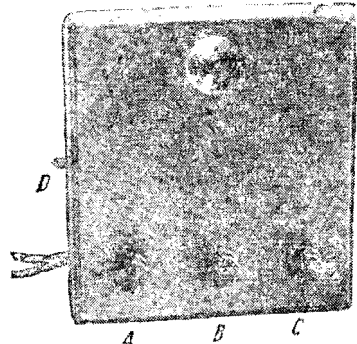


Рис. 683.

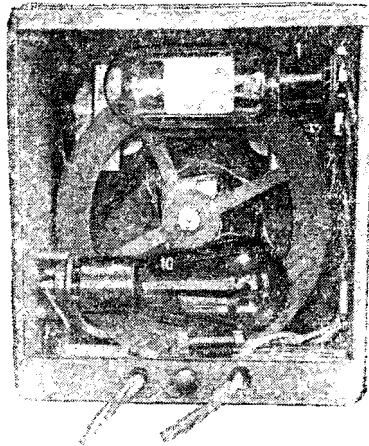


Рис. 684.

включается вместо первичной обмотки выходного трансформатора приемника (раздел 11 и рис. 686). Телевизор заземляется посредством клеммы 15, расположенной на задней стенке ящика.



Рис. 685.

Из схемы рисунка 686 видно, что неоновая лампа 1 включена в анодную цепь выходной лампы приемника, и, следовательно, интенсивность ее свечения будет изменяться согласно телевизионной передаче. Трансформатор 4, также включенный в анодную цепь, служит для синхронизации. Лампа 10 СО-118 работает как генератор низкой частоты; ее колебательный контур состоит из первичной обмотки трансформатора 5 и конденсатора 6. Анод генераторной лампы соединен с контуром через вторичную обмотку трансформатора 5 и разделительный конденсатор 8. Контур способен генерировать частоту в пределах от 350 до 400 герц; изменение частоты производится путем вдвигания или выдвигания

железного сердечника трансформатора 5, что делается рукояткой В (средней) (рис. 683). Анодный ток для питания генератора поступает через обмотки колеса Лакура 12. Для синхронизации, т. е. получения в контуре частоты 375 герц, на сетку генераторной лампы 10 подано переменное напряжение от трансформатора 4. Как было уже указано, эта

частота в виде импульса после окончания каждой строки передается с радиостанции.

Таким образом, в телевизоре Б-2 частота в 375 герц, необходимая для получения $750 \frac{\text{об.}}{\text{мин.}}$ диска Нипкова, получается от генератора

с лампой СО-118 и стабилизируется соответствующими импульсами от приемника. При поворотах рукоятки В (рис. 683), когда генерируемая частота близка к 375, изображение появляется, но плывет. При синхронизации оно останавливается. Если изображение не в рамке, то

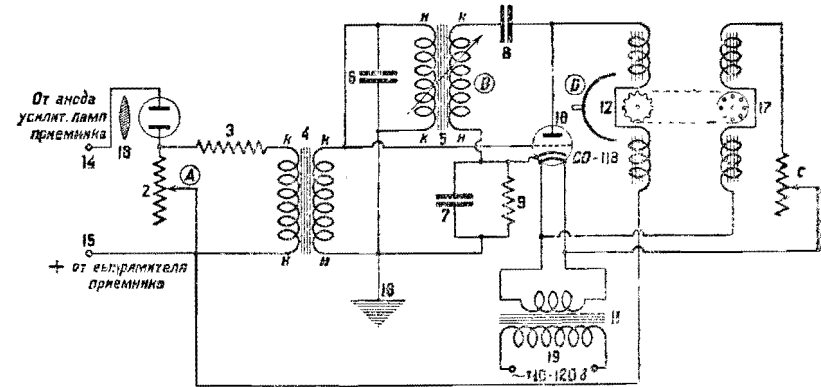


Рис. 686.

рукояткой В расстраивают частоту, заставляют его плыть до совмещения и вновь останавливают, стабилизируя частоту.

Устройство асинхронного мотора 17 и синхронизирующего колеса Лакура 12 описано выше в разделе 8. Асинхронный мотор питается от сети освещения током в 110—120 в через реостат 13, служащий для изменения числа оборотов. Этот реостат соединен с правой рукояткой телевизора (рис. 683). Левая рукоятка А служит для изменения подаваемого на сетку лампы 10 напряжения сигналов синхронизации. Для синфазирования изображения сделана рукоятка D.

Электрические данные деталей в схеме рисунка следующие:

1 — неоновая лампа Электроставода (электрод 35 мм × 45 мм, порог зажигания 160 в);

2 — реостат синхронизации; $R = 600 \text{ ом}$, d проволоки — 0,1 мм;

3 — сопротивление Каминского; $R = 4000 \text{ ом}$;

4 — трансформатор синхронизации; первичная обмотка 3000 витков ПЭ, $d = 0,08 \text{ мм}$; вторичная обмотка 15 000 витков ПЭ, $d = 0,08 \text{ мм}$.

5 — трансформатор контура генератора; первичная обмотка 4000 витков ПЭ, $d = 0,008 \text{ мм}$; вторичная обмотка 20 000 витков ПЭ, $d = 0,008 \text{ мм}$;

6—7 — конденсаторы бумажные плоские:

$$C = 0,25 \text{ мкф } (U = 200 \text{ в});$$

8 — конденсатор бумажный круглый:

$$C = 0,1 \text{ мкф } (U = 400 \text{ в});$$

9 — сопротивление Каминского; $R = 4000 \text{ ом}$;

10 — лампа СО-118;

11 — трансформатор накала 120/4 в;

12 — колесо Лакура (данные см. в разделе 8);

13 — релостат мотора; $R = 500 \text{ ом}$, проволока $d = 0,2 \text{ мм}$;

14 и 15 — вилка для включения к приемнику;

16 — клемма „земля“;

17 — асинхронный мотор (описание — см. раздел 8);

18 — очковая линза в 8 диоптрий;

19 — вилка для включения в сеть переменного тока 110—120 в.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
-----------------------	---

АКУСТИКА.

Глава первая.

ИСТОЧНИКИ И ПРИЕМНИКИ ЗВУКА.

§ 1. Источники звука		§ 2. Индикаторы звука	
1. Введение	7	1а. Обнаружение звуков	
2. Камертон	8	посредством микрофона	
3. Билка	10	и усилителя	21
4. Смычок	—	1б. Обнаружение звуков	
5. Сирена Оппелта	—	посредством телефона и	
6. Сирена Каньяр-Ла-Тура	11	усилителя	—
7. Органные трубы	12	2. Обнаружение звуков по-	
8. Свисток	13	средством гальванометра	—
9. Свисток Гальтона	—	3. Чувствительное пламя	
10. Приборы для дутья	14	(первый способ)	—
11. Звуковой генератор и		4. Чувствительное пламя	
другие источники звука	17	(второй способ по Гон-	
12. Гудящее пламя	—	кинсу)	22
13. Газовая гармоника	—	5. Чувствительное пламя	
14. Звучащая вольтова дуга	19	карбурированного воз-	
15. Прибор Тревельяна	—	духа	23
16. Звучащая струя	20	6. Газопламенный манометр	—
		7. Акустический манометр	25
		8. Диск Релея	—

Глава вторая.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗВУКА.

3. Излучение и распростра-		8. Ослабление передачи	
 нение звука		 звука при разрежении	
1. Влияние величины излу-		 пара	29
чающей поверхности на		9. Исследование звукопро-	
силу и длительность		водности различных ве-	
звука	27	ществ	—
2. Значение величины по-		10*. Передача звука натя-	
верхности, излучающей		нутой нитью	30
звук	—	11. Звукопроводность воды	—
3. Рупор	—	12. Принцип Доплера	—
4*. Определение скорости		13*. Экранирование высоких	
звука в воздухе	28	тонов	31
5*. Определение скорости			
звука в воздухе	—	§ 4. Отражение звука	
6*. Сравнение скорости		1. Отражение звука плоско-	
звука в газах и твердых		ским зеркалом	31
телах	—	2. Отражение звука вогну-	
7. Ослабление передачи		тым зеркалом	—
звука при разрежении		3. Отражение звука вогну-	
воздуха	—	тым зеркалом	32

§ 5. Интерференция звука		§ 7. Высота звука	
1. Трубки Квинке	33	1. Зависимость высоты тона от частоты колебаний	40
2. Прибор Кундта	—	2. Зависимость высоты тона от частоты колебаний	—
3*. Интерференция звука от двух источников	34	3. Зависимость высоты тона от частоты колебаний	41
4. Интерференция звуковых волн, идущих от ветвей камертона	35	4. Зависимость высоты тона от частоты колебаний	—
5. Интерференция звуковых волн от ветвей камертона	—	5*. Определение частоты колебаний струны или камертона	42
6. Интерференция звуковых волн от ветвей камертона	—	6*. Определение частоты колебаний камертона или струны	—
7. Получение биений при помощи камертонов	36	7. Получение мажорного аккорда посредством sireны	43
8. Биения, получаемые при помощи органичных труб	—	8. Определение частоты тона свистка	—
9. Биения при отражении звука	37	9*. Определение частоты колебаний камертона	44
§ 6. Резонанс		10. Сравнение частот колебаний двух камертонов	45
1. Резонанс камертонов	37	11. Определение верхней границы слуха при помощи свистка Гальтона	46
2. Резонанс камертонов	—		
3. Резонанс струн	38		
4. Резонанс воздушного столба	—		
5*. Измерение длины звуковой волны в воздухе методом резонанса	—		
6. Резонаторы Гельмгольца	39		

Глава третья.
свойства звучащих тел.

§ 8. Колебания струн		§ 9. Колебания камертонов, пластинок и колоколов	
1. Получение стоячих волн в нити	47	1. Колебания узкой пластинки, закрепленной с одного конца	55
2. Стробоскопическое наблюдение колебаний нити	48	2. Колебания камертонов	—
3. Законы колебаний струн	—	3. Узлы и пучности в камертоне	—
4. Узлы и пучности при колебаниях струны	50	4. Обертоны камертона	—
5. Запись колебаний струны	51	5. Зависимость высоты тона камертона от температуры	—
6. Развертывание на экране проекции колеблющейся струны	—	6. Проектирование записи колебаний камертона	—
7. Обнаружение обертонов струны	52	7. Развертывание на экране колебаний камертона	56
8. Различие в тембре звука струны в зависимости от соотношения между амплитудой и обертонов	53	8. Запись колебаний камертона	—
9. Зависимость высоты тона струны от температуры	—	9. Узлы и пучности на колеблющихся пластинках (фигуры Хладни)	57
10. Продольные колебания в струнах	—	10. Узлы и пучности на колеблющемся колоколе	58
11. Опыты с роялем	—	11. Ксилофон	59
		12. Деревянная палка как музыкальный инструмент	—

§ 10. Колебания воздушных столбов		9. Определение положения узлов в колеблющемся столбе воздуха на слух	
1. Звучание воздушных столбов	60	10. Определение положения узлов в колеблющемся столбе воздуха телефонном	
2. Звучание воздушных столбов	—	11*. Узлы и пучности в комнате, где производится звук	
3. Зависимость высоты тона от длины органичной трубы	—	§ 11. Исследование сложных звуков	
4. Звучание труб, открытых с обоих концов и с одного конца	—	1. Демонстрация звуковых кривых	
5. Сравнение открытой и закрытой органичных труб	—	2. Опыты с газопламенным манометром	
6. Сравнение открытой и закрытой органичных труб	61	3. Анализ звука (прибор Кевига)	
7. Обнаружение движения воздуха в пучностях воздушных столбов	—	4. Опыт с граммофоном	
8. Обнаружение изменения давления в узлах колеблющегося воздушного столба	62	5. Модель граммофона	

Глава четвертая.
запись звука.

§ 13. Общие сведения о звукозаписи		3. Стробоскопический метод для измерения числа оборотов	
1. Методические замечания	68	4. Принцип действия рекордера	
2. Виды и принципы звукозаписи	—	5. Устройство рекордера	
3. Аппаратура для звукозаписи	70	6. Шпоринофон	
§ 14. Устройство звукозаписывающих аппаратов		§ 15. Запись и воспроизведение звука	
1. Устройство лентопротяжного механизма	73	1. Кинопленка для записи	
2. Устройство приставки к патефону для записи звука на пластинке	80	2. Процесс записи	
		3. Воспроизведение записи	
		4. Патефон	

ОПТИКА.

Глава пятая.
вспомогательные приборы.

§ 16. Точечные источники света		2. Источник света достаточно далек от точечного	
1. Точечная лампа (пуанголитовая)	101	3. Отдельные лучи	
2. Лампы для кинопередвижки	—	4. Широко раздвинутые лучи	
3. 12-вольтовая лампа	—	5. Удаленный источник	
4. 4-вольтовые лампочки от карманного фонаря	—	§ 18. Как сделать лучи «видимыми»	
5. Вольтова дуга	—	1. Запыление	
6. Однонитная лампа	102	2. Следы лучей	
§ 17. Получение параллельного пучка		§ 19. Экраны	
1. Источник света близок к точечному	—	1. Роль экрана	
		2. Зеркальное отражение от шероховатых поверхностей	

3. Пламя свечи не видно на сильно освещенном фоне 106
4. В каком направлении смотреть на экран? —
5. Типы экранов —
6. Щели 108

§ 20. Универсальные приборы

1. Общие свойства универсальных приборов 109
2. Шайба Гартля 111
3. Прибор Кольбе 115
4. Прибор Шиманского 119
5. Прибор по Розенбергу —
6. Оптическая скамья 120

Глава шестая.

ПРЯМОЛИНЕЙНОСТЬ ЛУЧЕЙ СВЕТА.

§ 21. Прямолинейные лучи света

1. Понятие о „световом луче“ 126
2. Прямолинейное распространение света —
3. Проверка прямолинейности на-глаз 127
4. Проведение горизонталей 128
5. Провешивание прямых линий —
6. Фиксирование лучей зрения булавками —
7. Провешивание линий диоптрами —

§ 22. Тень и полутень

1. Тень при точечном источнике света 129

2. Тень при нескольких точечных источниках света 129
3. Тень и полутень 131
4. Тень от вилки 132
5. Затмения —

§ 23. Малые отверстия

1. Изображение при одном точечном источнике 134
2. Изображение при нескольких точечных источниках 135
3. Получение изображения через малое отверстие —
4. Опыт Тиндаля 135
5. Опыт с двумя щелями 137
6. Камера-обскура —
7. Фотографирование через малое отверстие 139

Глава седьмая.

ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА.

§ 24. Опыты по отражению света

1. Общие указания 140
2. Прибор Тиндаля 141
3. Прибор Вейнгольда —
4. Прибор Мюллера 142
5. Шайба Гартля —
6. Прибор Кольбе 143
- 7* Закон отражения —

§ 25. Плоское зеркало

1. Шайба Гартля 144
2. Прибор Кольбе 145
3. Опыт Розенберга —
- 4*. Определение места изображения в плоском зеркале 147
- 5*. Способ параллакса —
6. Опыт Сильвануса Томсона 148
7. Симметричность предмета и его изображения в плоском зеркале —

§ 26. Плоские зеркала под углом

1. Изображение в двух плоских зеркалах под углом 149
2. Замечания 150
- 3*. Исследование зеркал под углом 151
4. Зеркало, дающее прямое изображение 152
5. Калейдоскоп Брюстера 153
6. Коленчатая труба 154
7. Перископ 155
8. Секстант —
9. Параллельные зеркала 156
10. Множественность изображений в зеркале 157

§ 27. Сферические зеркала

1. Собираение и рассеивание лучей при помощи плоских зеркал 157
2. Свойства цилиндрического зеркала 158
3. Ход лучей в сферическом вогнутом зеркале 159

4. Ход лучей в выпуклом зеркале 161
5. Собираение и рассеивание лучей сферическими зеркалами —
6. Сферическая aberrация 162
7. Предметы для наблюдения изображений 163
8. Получение изображений в сферических зеркалах 164
9. Оптический обман 167
- 10*. Исследование сферических зеркал —

- 11*. Определение фокусного расстояния сферических зеркал 167

§ 28. Кривые зеркала

1. Цилиндрическое круглое зеркало 170
2. Коническое круглое зеркало —
3. Цилиндрическое эллиптическое зеркало —
4. Цилиндрическое параболическое зеркало 171
5. Шаровое зеркало —

Глава восьмая.

ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА.

§ 29. Опыты по преломлению света

1. Замечание 172
2. Кажущийся излом предмета, погруженного в воду —
3. Кажущаяся глубина водоема —
4. Опыт Тиссандье 173
5. Зависимость преломления от угла падения —
6. Сосуды для опытов с преломлением 174
7. Преломление на границе воздух—вода 177
8. Прибор Кольбе 178
9. Видимые и невидимые тела 179
10. Ход лучей в плоскопараллельной пластинке —
11. Ход лучей в призме 180
12. Получение изображений при помощи призмы 181

§ 30. Законы преломления

1. Шайба Гартля 181
2. Прибор Кольбе 184
3. Прибор Пономаренко —
- 4*. Прибор Мюллера 185
5. Прибор Тиндаля 186

§ 31. Полное внутреннее отражение

1. Отражение от свободной поверхности жидкости 186

2. Опыт с пробиркой 186
3. Опыт с закопченным телом 187
4. Опыт с воронкой —
5. Опыт со стеклянными палочками —
6. Опыт со струей 188
7. Полное отражение на границе стекло—воздух —
8. Обратная призма 189
9. Полное отражение на границе вода—воздух —
10. Многократное отражение 190
11. Замечание —
12. Прибор Кольбе —
13. Прибор Гримзеля 191
14. Отличие полного отражения от простого —
15. Криволинейный луч —
16. Модель миража 192
17. Механическая модель —

§ 32*. Определение показателя преломления

- 1*. Определение показателя преломления по способу булавки 194
2. Опыт Кеплера 197
3. Опыт Ньютона 198
- 4*. Гониометр Гримзеля —
5. Определение предельного угла жидкости 201

Глава девятая.

ЛИНЗЫ.

§ 33. Модели линз из призм

1. Модель из двух призм 202
2. Прибор Гримзеля —

§ 34. Ход лучей в линзах

3. Прибор „Станкин“ 203
1. Шайба Гартля 203
2. Прибор Кольбе 206

3. Собираение и рассеивание лучей линзами	206
4. Получение изображений при помощи сферических стекол (линз)	—
§ 35. Недостатки линз	
1. Сферическая aberrация	211
2. Хроматическая aberrация	212
3. Астигматизм	—
4. Искривление плоскости изображения	213
5. Искривление линий	—
6. Применение диафрагм	214

Глава десятая.
ГЛАЗ. ЗРЕНИЕ.

§ 37. Устройство глаза	
1. Строение глаза	229
2. Оптические модели глаза	230
3. Слепое пятно	232
4. Роль зрачка	—
5. Тень кровеносных сосудов	233
§ 38. Зрение одним глазом	
1. Получение изображений в глазе	233
2. Острота зрения	234
3. Аккомодация	235

Глава одиннадцатая.
ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ.

§ 41. Лупа	
1. Типы луп	256
2. Определение увеличения лупы	257
3. Самодельные лупы	—
4. Система линз	—
§ 42. Микроскоп	
1. Устройство микроскопа	258
2. Объективы и окуляры	259
3. Таблицы увеличений	261
4. Уход за микроскопом	263
5. Установка микроскопа	264
6. Наблюдение броуновского движения	265
7. Объективный и окулярный микрометры	—
8. Измерения микроскопических объектов	266
9. Определение увеличения микроскопа	—
10. Модель микроскопа	267
11. Демонстрация хода лучей в микроскопе	268

§ 36*. Лабораторные работы с линзами	
1. Ход лучей в цилиндрических линзах	216
2*. Получение изображений при помощи линз	218
3*. Сферическая aberrация и диафрагма	—
4. Определение фокусного расстояния собирающей линзы	219
5*. Определение фокусного расстояния рассеивающей линзы	224
6*. Определение показателя преломления воды	227

§ 39. Свойства глаза	
1. Близорукость и дальность зрения	236
2. Сферическая aberrация	238
3. Хроматическая aberrация	239
4. Астигматизм глаза	—
5. Обманы зрения	243
6. Утомляемость глаза	243
7. Сохранение впечатления в глазе	245
§ 40. Зрение двумя глазами	
1. Биноклярное зрение	249
2. Стереоскоп	250

12. Микропроеция	269
§ 43. Зрительная труба	
1. Ход лучей в трубе	271
2. Прибор для измерения угла зрения	—
3. Определение углового увеличения	272
4. Составление трубы и определение ее увеличения	273
§ 44. Бинокль	
1. Ход лучей	—
2. Построение бинокля и определение увеличения	275
§ 45. Проекционный фонарь	276
§ 46. Фотоаппарат	
1. Определение светосилы	276
2. Определение угла поля зрения	277
3. Определение глубины фокуса	—

Глава двенадцатая.

ФОТОМЕТРИЯ.

§ 47. Терминология	279	8. Фотометр Луммера	289
§ 48. Световые эталоны	280	9. Изготовление кубика Луммера	290
§ 49. Законы освещенности		10. Тубус-фотометр	291
1. Закон обратных квадратов	281	11. Фотометр для сравнения сил света двух источников	292
2. Закон косинуса	283	12. Простой люксметр	293
§ 50. Фотометры и люксметры		§ 51. Фотометрические измерения	
1. Принципы устройства	285	1*. Сравнение силы света двух источников	294
2. Теневой фотометр Румфорда	286	2*. Сравнение силы света двух источников фотометром Жолли	295
3. Фотометр Бунзена (с масляным пятном)	287	3*. Проверка закона обратных квадратов	—
4. Фотометр Ричи	288		
5. Фотометр Уитстона (с блестящим шариком)	—		
6. Фотометр Жолли	—		
7. Изготовление фотометра Жолли	289		

Глава тринадцатая.

СПЕКТРЫ.

§ 52. Разложение света на цвета		7. Цветные тени, основанные на сложении цветов	317
1. Опыт Ньютона	297	§ 54. Спектроскопы	
2. Опыт Доната	301	1. Общие замечания	317
3. Спектральные цвета — простые	—	2. Спектроскоп с ломаным ходом луча	—
4. Опыт Ньютона с перекрестными призмами	303	3. Спектроскоп прямого зрения (Гофмана)	320
5. Сложение спектральных цветов	305	4. Карманные спектроскопы (Броунинга)	321
6. Дополнительные цвета	306	5. Установка спектроскопа	—
7. Ахроматические призма и линза	307	6. Шкалы спектроскопа	323
§ 53. Цветоведение		7. Градуировка шкалы спектроскопа	325
1. Краски и спектр	309	§ 55. Виды спектров и их наблюдение	
2. Вращающиеся кружки для сложения цветов	310	1. Замечание	326
3. Опыты с вертушкой	312	2. сплошной спектр	327
4. Сложение цветов	313	3. Линейчатый спектр	—
5. Цвета тел	315	4. Спектр поглощения	329
6. Явление Пуркинье. Цвета при слабом освещении	316	5*. Спектральный анализ	333

Глава четырнадцатая.

ФИЗИЧЕСКАЯ ОПТИКА.

§ 56. Интерференция		6. Цвета тонких пластинок	339
1. Зеркала Френеля	334	7. Ньютоновы кольца	—
2. Полосы Ллойда	336	8. Демонстрирование ньютоновых колец	340
3. Бипризма Френеля	—	9*. Измерение ньютоновых колец	341
4. Билинза	—		
5. Получение тонких пленок	337		

10. Получение широких колец	343	§ 58. Поляризация	
§ 57. Дифракция		1. Поляризаторы	352
1. Узкая щель	343	2. Простейшее наблюдение поляризации	354
2. Две щели	344	3. Поляризатор для проекции	355
3. Дифракционная решетка	345	4. Прибор Н б р е н б е р г а	358
4. Тень тонкой проволоки	347	5. Простые поляризационные приборы	361
5. Венцы	—	6. Двоуклопреломляющие кристаллы	—
6. Наблюдение дифракции без приборов	348	7. Турмалиновые щипцы	—
7. Радуга	349	8. Призма Николая	363
8*. Измерение угловых радиусов радуги	350	9. Случайная анизотропия	364

Глава пятнадцатая.

ИЗЛУЧЕНИЕ И ПОГЛОЩЕНИЕ ЛУЧИСТОЙ ЭНЕРГИИ.

§ 59. Источники излучения и фильтры		9. Колба с раствором иода в сероуглероде	380
1. Излучение тел	366	10. Цвета нагреваемой проволоки	381
2. Нагретый шарик или гвиря	—	11. Модель оптического пирометра	—
3. Куб Лесли	367	12. Распределение энергии в спектре	382
4. Различные источники излучения	—	13. Модель абсолютно черного тела	383
5. Фильтры для инфракрасных лучей	368	§ 63. Источники ультрафиолетовых лучей	384
§ 60. Обнаружение инфракрасной лучистой энергии	368	§ 64. Выделение ультрафиолетовых лучей	385
§ 61. Приемники инфракрасных лучей		§ 65. Обнаружение ультрафиолетовых лучей	385
1. Закопченная стеклянная колба	369	§ 66. Современная терминология по люминесценции	386
2. Наклонный манометр	370	§ 67. Фосфоры Ленара	387
3. Термоскопы Кольбе и Лоозера	—	§ 68. Различные явления люминесценции	388
4. Дифференциальный термометр	371	§ 69. Фосфоресценция	
5. Радиометр К р у к с а	373	1. Тушение фосфоресценции инфракрасными лучами	—
6. Термостолбики	—	2. Фосфоресценция действием прямого солнечного света	389
7. Термостолбик Института шгоп	374	§ 70. Флуоресценция	
§ 62. Опыты с тепловым излучением		1. Флуоресцирующие вещества	389
1. Сравнение излучения черной и блестящей поверхностей	374	2. Наблюдение флуоресценции	390
2. Теплопрозрачность (качественные опыты)	376	3. Закон Стокса	391
3. Теплопрозрачность (количественно)	—	4. Концентрационное тушение флуоресценции. Тушение примесями	—
4*. Остывание блестящего и черного тел	377	§ 71. Приготовление светящихся экранов (по Ангереру)	392
5. Закон Стефана	—		
6. Тепловой прожектор	378		
7. Зеркала Пикте	379		
8. Зажигание спички лучистой энергией	380		

Глава шестнадцатая.

ФОТОЭФФЕКТ И ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ ПРИЕМНИКИ.

§ 72. Фотоэффект		том с внешним фотоэффектом	414
1. Виды фотоэффекта и фотоэлементов	394	15. Превращение лучистой энергии в электрическую и механическую	415
2. Фотоэлементы с внешним фотоэффектом	395	§ 73. Телевизионные приемники	
3. Правила обращения с фотоэлементами с внешним фотоэффектом	400	1. Принципы телевизионной передачи и приема	416
4. Фотоспротивления	—	2. Пособия для объяснения способа развертки изображения	419
5. Фотоэлементы с запирающим слоем	401	3. Неоновые лампы	420
6. Обнаружение фотоэффекта электроскопом	404	4. Синхронный мотор; колесо Лакура	421
7. Опыт Столетова	405	5. Переделка асинхронного мотора в синхронный	422
8. Демонстрация фотоэффекта с неоновой лампой	406	6. Самодельные синхронные моторы	423
9. Фотоэффект меднозакисного и селенового фотоэлементов	—	7. Мотор для телевизора завода „Динамо“	426
10. Фотоэффект кислородопезиевого фотоэлемента	408	8. Мотор телевизора Б-2	427
11. Получение прерывистого тока с фотоэлементом	409	9. Диск Нипкова	429
12. Селективный фотоэффект	411	10. Устройство простейшего телевизора	432
13. Фотореле с фотоэлементами с запирающим слоем	—	11. Включение телевизора к приемнику	434
14. Фотореле с фотоэлемен-		12. Телевизор Б-2 завода им. Казицкого	435

Редактор *Е. В. Китлер.*

Тираж 15.000 экз. Подписано к печати 28/II 1941 г. А 35297. Печатных листов 28. Уч.-изд. листов 31,83. Тип. знак. в 1 п. л. 52.000. Зак. № 4543. 4-я типография ОГИЗа РСФСР треста „Полиграфкнига“ им. Евг. Соколовой, Ленинград, пр. Красных Командиров, 29.