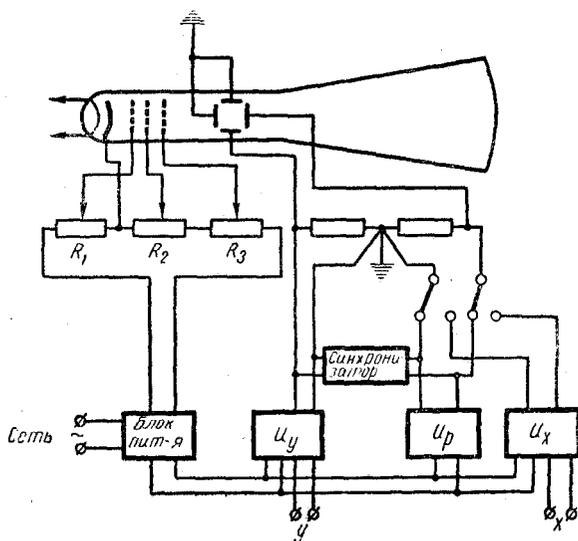


Нурматов Э.М.

# Лабораторный практикум по физике



МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

Самаркандский Государственный Архитектурно-строительный  
институт имени М. Улугбека

**Кафедра «Физика и электротехника»**

**Нурматов Э.М.**

# Лабораторный практикум по физике

Самарканд-2008

*Лабораторный практикум по физике, О'quv qo'llanma, Nurmatov Eshmurza Muxitdinovich, Samarqand shahri, 2008 yil, 109 bet.*

*Ushbu o'quv qo'llanmada "Umumiy fizika kursi"ining 76 soatga muljallangan, 30 ta laboratoriya ishlarining to'la bayoni va ularning bajarilish uslubi keltirilgan. Qo'lingizdagi, o'quv qo'llanmada keltirilgan barcha laboratoriya ishlar kafedra laboratoriya xonalarida faoliyat ko'rsatayapti.*

*Рекомендован научно-методической комиссией факультета  
«Касбий таълим», пр. №5, от 08.02.2008 г.*

*Рекомендован секцией по печати учебно-методических пособий, научно-методического совета Сам Г.А.С.И, пр. № 6 от 28.02.2008 года и  
утверждена проректорам по учебной работе проф. У.О. Соатовым*

***Taqrizchilar:*** dots. Usarov U.T. (Sam. DAQI).

dots. Xamraev F.Sh. (Sam. VPKMOvaQTI)

SamDAQI bosmahonasida 50 nusxada bosilgan.

Bosma shakli: a5. Hajmi 108 bet (7,4 shartli b.t).

## Задачи физического практикума

Основной задачей высшего образования вообще является формирование научного мировоззрения студентов. Этому способствуют все дисциплины, изучаемые в высшей школе. Однако ведущая роль принадлежит здесь фундаментальным (общенаучным и общетехническим) дисциплинам. К их числу относится физика.

Конечная цель в преподавании физики известна: способствовать развитию физического мышления студентов, освоению ими современной физической картины мира, формированию научного мировоззрения и тем самым заложить фундамент для изучения специальных дисциплин. Ее роль в становлении инженера, создателя современной техники, чрезвычайно велика.

Наиболее разумным методом преподавания физики, адекватным современной ситуации в науке и технике, является, на наш взгляд, метод, при котором основные элементы преподавания соответствуют основным элементам процесса научного познания. Это означает, что все атрибуты процесса научного познания, такие, как анализ и синтез; абстрагирование, идеализация, обобщения и ограничения; аналогия, моделирование, формализация; историческое и логическое; индукция и дедукция; аксиоматика, должны органически присутствовать в преподавании физики. Это обстоятельство придает физике особую интеллектуальную привлекательность.

Велика при этом роль самостоятельной работы студента. Познающий физику – всегда исследователь. Работа в лаборатории, анализ лекционного теоретического материала и лекционных экспериментов, изучение литературы, активное участие в семинарах – все это соответствует основным элементам современной научной деятельности.

Изучение физики является, таким образом, некоторой моделью процесса научного познания. Это обстоятельство определяет, в частности, место и значение физического практикума в преподавании физики.

В физической лаборатории студент самостоятельно решает ряд экспериментальных задач. Здесь преследуются в основном две цели. С одной стороны, студент должен научиться самостоятельно, воспроизводить и анализировать основные физические явления. С другой стороны, он должен получить при этом некоторые элементарные навыки работы в физической лаборатории.

Какие моменты при этом особенно важны?

Это прежде всего понимание роли эксперимента в физике, умение делать правильные выводы из сопоставления теории и эксперимента: умение выделить главное, существенное, отвлечься от несущественного, второстепенного; понимание роли идеализаций; умение находить безразмерные параметры, определяющие данное явление; умение делать качественные выводы при переходе к предельным условиям; знание фундаментальных физических постоянных и численных значений величин, характерных для данного раздела физики.

## Основы теории погрешностей

Положения и выводы физики непосредственно связаны с экспериментом. Как любой точной науке, в физике результаты экспериментов представляются чаще всего набором некоторых числовых значений физических величин. Это те самые числовые значения, которые входят в математические формулы, устанавливающие связи между физическими величинами в явлениях природы.

Одна из целей практикума - научиться правильно измерять физические величины и правильно использовать их числовые значения в формулах.

Измерить физическую величину - значит сравнить ее с однородной величиной, принимаемой за единичную. Единицы измерения выбираются произвольно, но уж если они выбраны, они должны оставаться неизменными в пределах выбранной системы единицы.

Результатом измерения является числовое значение физической величины; формула  $A = xB$  устанавливает связь измеряемой величины  $A$ , ее числового значения  $x$  и единицы измерения  $B$ . Принято различать измерения:

(1) прямые, когда измеряется сама исследуемая физическая величина. Сюда относятся измерения с помощью приборов или при непосредственном сравнении с единицей измерения;

(2) косвенные, когда искомые значения величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям.

Почему при измерениях возникает необходимость обработки результатов измерений? Потому, что произвести измерение абсолютно

точно невозможно – всякое измерение сопровождается погрешностью, вызванной принципиальной невозможностью (в силу всеобщей связи явлений в природе) устранить все посторонние влияния на процесс измерения (хотя любое из влияний можно сделать сколь угодно малым).

Если измерительный инструмент обладает достаточной чувствительностью, результаты измерений некоторой величины  $X$  в большинстве случаев различны между собой. Обозначим результаты измерения  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , а истинное значение измеряемой величины –  $x_0$ , где разности  $x_i - x_0 = \Delta x_i$  является погрешностями измерений.

Таким образом, мы оказываемся не в состоянии определить истинное значение измеряемой величины даже в результате большого числа измерений, но мы можем дать истинному значению оценку, т.е. указать его наиболее вероятное значение и указать погрешность измерений.

Принято различать три вида погрешностей: промахи, систематические и случайные погрешности измерения.

Промахи (просчеты) является результатом низкой квалификации экспериментатора, выполнявшего измерения. Промахи не поддаются учету.

Систематические погрешности является следствием несовершенства приборов, а также недостатков методики измерения. Они всегда дают отклонение результата измерения от истинного значения в одну и ту сторону. Преодолеваются систематические погрешности путем проверки приборов, более полной разработки теории и методики эксперимента и сравнения различных методов измерения одной и той же величины.

Когда говорят об инструментальных погрешностях, то подразумевают погрешности, зависящие от погрешностей применяемых средств измерений. Последние в свою очередь характеризуются классом точности прибора.

Класс точности определяется максимальной погрешностью прибора, выраженной в процентах от полной величины шкалы. Например, класс точности 0,5 означает погрешности в 0,5% при отклонении стрелки на всю шкалу. При отклонении стрелки на половину шкалы погрешность возрастает в два раза, при отклонении на треть шкалы – в три раза, и т.д. Поэтому для измерений с меньшей погрешностью надо выбирать прибор такой чувствительности, чтобы

измеряемая величина вызывала отклонение стрелки прибора более чем на половину шкалы.

Величина инструментальной погрешности гарантируется сравнением показаний данного и эталонного приборов. Надежность показаний эталонного прибора рассчитывается с учетом случайных погрешностей.

Случайные погрешности является следствием случайных, неконтролируемых помех, влияние которых на процесс измерения невозможно учесть непосредственно. Этих помех очень много, они различной физической природы и отличаются силой воздействия на процесс измерения. Можно принимать меры к устранению наиболее влиятельных помех, но все полностью их устранить нельзя. Случайные погрешности могут отклонять результаты измерения от истинного значения в обе стороны, и их влияние учитывается посредством определенной обработки результатов измерения физической величины.

Теория погрешностей учитывает только случайные погрешности. Согласно этой теории, случайные погрешности измерений подчиняются закону нормального распределения (закону Гаусса).

Смысл этого закона заключается в следующем. Допустим, мы хотим измерить некоторую физическую величину, истинное (и нам неизвестное) значение которой есть  $x_0$ . Используя какой-нибудь прибор, мы  $n$  раз пытаемся определить эту величину, но из-за случайных погрешностей, возникающих в процессе измерения, вместо  $x_0$  получаем набор значений  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_i, \dots, x_n$ . Оказывается, что с помощью закона распределения мы хотя и не можем указать точно, чему равно  $x_0$ , но можем найти, с какой вероятностью  $P$  величина  $x_0$  окажется в любом интервале значений  $a < x_0 < b$  (область значений  $a < x_0 < b$  называют доверительным интервалом). По закону Гаусса это вероятность определяется функцией плотности распределения

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\langle x \rangle)^2}{2\sigma^2}} \quad (1) \text{ и равна } P(a < x_0 < b) = \int_a^b f(x) dx \quad (2).$$

Здесь  $x$  обозначен набор значений, которые мы получаем в результате измерения,  $\langle x \rangle$  - их среднее арифметическое, а  $\sigma$  - среднее квадратическое отклонение:

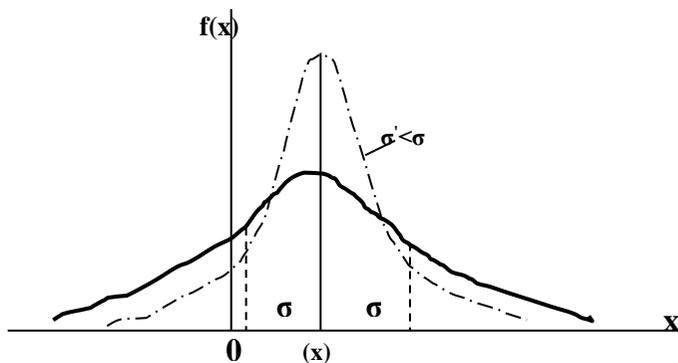
$$\langle x \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3), \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2}{n-1}}. \quad (4).$$

Как видно из рис.1, гауссова кривая, имеющая на графике симметричный колоколообразный вид, характеризуется двумя параметрами: положением вершины -  $\langle x \rangle$  и «шириной»  $2\sigma$  - расстоянием между точками перегиба. Значение  $\langle x \rangle$  обычно и принимают за ту величину, которую надо было измерить, а  $\sigma$  характеризует степень влияния случайных погрешностей на результаты измерения: чем меньше  $\sigma$ , тем уже гауссова кривая и тем, следовательно, точнее проведено измерение.

Обработка результатов серии измерений сводится к возможно более точному нахождению параметров гауссовой кривой  $\langle x \rangle$  и  $\sigma$ .

Может показаться, что если произвести большое число измерений (большая серия), то эти параметры можно определить со сколь угодно высокой точностью и, стало быть, можно в пределах одной методики измерений (даже грубой) получить сколь угодно близкое к истинному численное значение измеряемой величины. Однако это не так. Следует

еще раз подчеркнуть, что  $\langle x \rangle$  - не истинное значение измеряемой величины, а лишь некоторое приближение к нему. Чем



более широким выбирается доверительный интервал, тем выше вероятность попадания истинного значения измеряемой величины в этот интервал (так, вероятность отклонения истинного значения от положения вершины гауссовой кривой  $\langle x \rangle$  не более чем на  $\sigma$  равна 0,683; не более чем на  $2\sigma$  - 0,955; не более чем на  $3\sigma$  - 0,997). Мера  $\sigma$  приближения измеренного значения величины  $\langle x \rangle$  к истинному  $x_0$

определяется физической сущностью измеряемой величины, а также физическими и конструктивными принципами, заложенными в методику измерений. Эти принципы в рамках данной методики не зависят от экспериментатора, следовательно, бесконечное увеличение числа измерений не дает заметного увеличения точности.

Поскольку нет смысла стремиться к очень большому числу измерений, то возникает вопрос: как изменяется достоверность в зависимости от числа измерений? Зависимость эта сложна не выражается в элементарных функциях. Существуют специальные таблицы (таблицы коэффициента Стьюдента), по которым можно определить, во сколько раз надо увеличить стандартной доверительной интервал  $[\pm S_x]$ , чтобы при определенном числе измерений  $n$  получить требуемую надежность  $\alpha$ . За стандартный

принимается доверительный интервал  $[\pm S_x]$ , где  $S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2}{n(n-1)}}$ . (5)

Здесь  $x_i$  – числовое значение величины, полученное при  $i$  –м измерении,  $\langle x \rangle$  – среднее арифметическое значение измеряемой величины (3).

Порядок обработки результатов измерений должен быть следующим: выполнив  $n$  измерений и записав их результаты в таблицу, вычисляют по (3) среднее арифметическое значение измеряемой величины  $\langle x \rangle$ . Затем по формуле (5) вычисляют стандартный доверительный интервал  $[\pm S_x]$  и находят по таблице коэффициент Стьюдента  $t(\alpha, n)$  в зависимости от требуемой надежности  $\alpha$  и числа измерений  $n$ . Результат записывают в виде  $x = \langle x \rangle \pm t(\alpha, n) S_x$ , что означает, что истинное значение измеряемой величины  $x_0$  находится в интервале  $[\langle x \rangle - t(\alpha, n) S_x; \langle x \rangle + t(\alpha, n) S_x]$  с надежностью (вероятностью)  $\alpha$ .

Мерой точности результатов измерений является относительная погрешность, выраженная в процентах:  $\varepsilon = \frac{\Delta x}{x} 100\%$ .

Обратная ей величина  $\psi = 1/\varepsilon$  называется точностью.

Порядок выполнения лабораторных работ по физике:

1. Студент получает от преподавателя назначение очередной задачи физического практикума не менее чем за неделю до ее выполнения. С помощью указанной в описании задачи литературы студент подготавливается к назначенной работе в соответствии с изложенными выше советами и рекомендациями.

2. На каждом занятии в физическом практикуме студент обязан иметь практикантскую книжку и лабораторную тетрадь с прежними и текущими записями.

3. В начале каждого занятия преподаватель проверяет готовность студента к выполнению предложенной ему ранее задачи и допускает его к экспериментальной работе, если только студент к выполнению задачи подготовлен. О допуске студента к экспериментальной работе преподаватель делает запись в журнале лаборатории.

4. В ходе выполнения студентом задачи преподаватель руководит экспериментальной работой студента, производством измерений, записью их результатов и визирует в лабораторной тетради студента, полученные результаты. Окончание студентом экспериментальной работы отмечается преподавателем в практической книжке студента и в лабораторном журнале.

5. После обработки полученных экспериментальных результатов студент окончательно сдает задачу преподавателю в тот же день, когда был выполнен эксперимент. Отметка о выполнении студентом работы заносится преподавателем в практикантскую книжку студента и в лабораторный журнал.

## Определение момента инерции махового колеса и силы трения в опоре

Лаб. раб. № 1

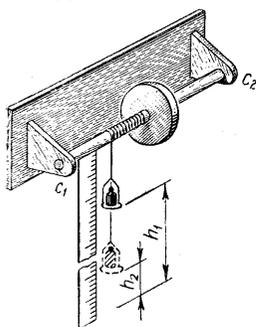
Прибор состоит из махового колеса, насаженного на вал, и отсчетной линейки. Вал установлен на шарикоподшипниках  $C_1$  и  $C_2$ . на него наматывается шнурок, к концу которого крепится чашка массой  $m_1$ . если чашку нагрузить гирей массой  $m_2$ , то под действием силы тяжести чашка начнет опускаться, маховик приводит в движение. Общая масса чашки и груза равна:  $m = m_1 + m_2$ .

Если в результате движения до полного разматывания шнурка чашка с грузом проходит расстояние  $h_1$ , то это означает, что в начальный момент движения система обладала запасом потенциальной энергии  $E_{п} = mgh_1$ . потенциальная энергия на преодоление силы трения  $f$  и увеличение кинетической энергия системы:

$$mgh_1 = \frac{m\vartheta^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2} + fh_1, \quad (1)$$

где  $fh_1$ -работа по преодолению силы трения.

Уравнение (1) относится к тому моменту времени, когда груз находится в наиболее низком положении.



Силу трения можно вычислить, исходя из следующих соображений. Вращаясь по инерции, маховое колесо поднимает груз на высоту  $h_2 < h_1$ . при этом система будет обладать потенциальной энергией  $E_{п} = mgh_2$ . убыль потенциальной энергии равна работе по преодолению силы трения:

$$mgh_1 - mgh_2 = f(h_1 + h_2) \quad \text{отсюда}$$

$$f = mg \frac{h_1 - h_2}{h_1 + h_2}, \quad (2)$$

Так как движение равноускоренно, то  $v = at$  и  $h_1 = \frac{at^2}{2}$ , где  $t$ -время

опускания груза. Тогда  $\vartheta = \frac{2h_1}{t}$ , (3).

Угловая скорость равна  $\omega = \frac{\vartheta}{r}$ , где  $r$  – радиус вала:  $\omega = \frac{2h_1}{tr}$ , (4).

Подставляя (2), (3) и (4) в формулу (1) после преобразований получим окончательно:  $J = mr^2 \left( gt^2 \frac{h_2}{h_1(h_1 + h_2)} - 1 \right)$ , (5).

Измерения сводятся к нахождению  $r$ ,  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $t$ .

#### Контрольные вопросы

1. Что называется моментом инерции? В каких единицах измеряется?
2. Какой закон положен в основу вывода расчётной формулы?
3. Силы трения. Вид силы трения: трения покоя и т.д.
4. Момент инерции: шара, цилиндра, стержня.
5. Цель и ход работы.

### Определение коэффициента вязкости жидкости методом Стокса

Лаб. раб № 2

При движении жидкости между ее слоями возникают силы внутреннего трения, действующие таким образом, чтобы уравнивать скорости всех слоев. Природа этих сил заключается в том, что слои, движущиеся с разными скоростями, обмениваются молекулами. Молекулы из более быстрого слоя передают более медленному слою некоторое количество движения, вследствие чего последний слой начинает двигаться быстрее. Молекулы из более медленного слоя получают в быстром слое некоторое количество движения, что приводит к его торможению.

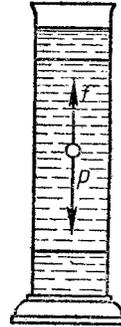
Сила внутреннего трения (вязкости), действующая между двумя слоями, пропорциональна площади их соприкосновения и градиенту

скорости:  $f = \eta \frac{d\vartheta}{dz} \Delta S$ , где  $\eta$  коэффициент динамической вязкости

численно равен силе внутреннего трения, возникающей на каждой единице поверхности соприкосновения двух слоев, движущихся один относительно другого с градиентом скорости, равен единице ( $\eta = \text{Кг. М}^{-1} \cdot \text{сек}^{-1}$ ).

На движущийся в жидкости шарик действует сила внутреннего трения, тормозящая его движение. При условии, что стенки сосуда находятся далеко от шарика, эта

сила по закону Стокса будет равна  $F = 6\pi\eta r v$ , где  $r$ -радиус шарика,  $v$  -его скорость. Если шарик свободно падает в вязкой жидкости, то на него будут действовать сила тяжести  $P = mg = \rho g V$  и выталкивающая сила  $P_1 = \rho_1 g V$ , равная весу жидкости в объеме шарика ( $V$ - объем шарика,  $\rho$  - плотность шарика,  $\rho_1$ -плотность жидкости).



где

$$m \frac{d\mathcal{G}}{dt} = \rho V g - \rho_1 V g - 6\pi\eta r \mathcal{G}, \quad (1).$$

Решением полученного уравнения является

$$\mathcal{G} = \frac{Vg(\rho - \rho_1)}{6\pi\eta r} \left[ 1 - e^{-\frac{6\pi\eta r}{m} t} \right], \quad (2), \quad \text{в чем можно убедиться}$$

непосредственной подстановкой. Поскольку с течением времени

величина  $e^{-\frac{6\pi\eta r}{m} t}$  очень быстро убывает, то скорость шарика вначале возрастает, но через малый промежуток времени становится

величиной постоянной, равной:  $\mathcal{G}_0 = \frac{Vg(\rho - \rho_1)}{6\pi\eta r}$ , (3). Здесь  $V = \frac{4}{3}\pi r^3$  -

объем шарика.

Скорость шарика можно определить, зная расстояние  $\ell$  между метками на сосуде и время  $t$ , за которое шарик проходит это

расстояние;  $\mathcal{G}_0 = \frac{\ell}{t}$ . Тогда из выражения (3) следует, что

коэффициент вязкости равен  $\eta = \frac{2(\rho - \rho_1)r^2 g t}{9\ell}$ . Для нахождения  $\eta$

измеряют  $r$ ,  $\ell$  и  $t$ .

### Контрольные вопросы.

1. Что такое вязкость и ее единицы измерения.
2. Какие силы действуют на шарик, падающий в жидкость?
3. Закон Стокса.

4. Сила внутреннего трения, и ее характер.
5. Цель и ход работы.

## Определение ускорения силы тяжести с помощью математического маятника

Лаб. раб. № 3

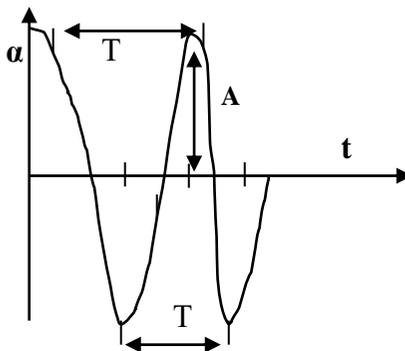
Гармоническим колебанием физической величины  $\alpha$  называется процесс изменения ее во времени  $t$  по закону

$$\alpha = A \sin \left( \frac{2\pi}{T} t + \varphi \right), \text{ где } A - \text{ амплитуда колебаний, } T - \text{ период}$$

колебаний. Величина  $\left( \frac{2\pi}{T} t + \varphi \right)$  носит название фазы ( $\varphi = \text{const}$ ).

График такого колебания представлен на рисунке.

*Из определения гармонического колебания следует, что период колебания является наименьшим промежутком времени, по истечении которого движение в точности повторяется. За время  $t=T$  совершается полное колебание. Амплитуда колебания  $A$  равна*



максимальному значению  $\alpha$ . Величина  $\varphi$  соответствует фазе в начальный момент времени ( $t=0$ ) и называется начальной фазой.

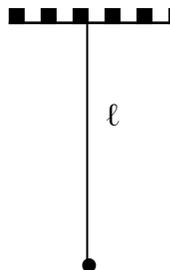
Математическим маятником называется колебательная система, состоящая из материальной точки, прикрепленной к концу идеально гибкой, нерастяжимой и невесомой нити, второй конец которой закреплен неподвижно.

Близким к математическому маятнику является тяжелый шарик, подвешенный на длинной тонкой нити.

Момент инерции математического маятника относительно точки подвеса равен:  $J = m\ell^2$ .

Период математического маятника можно определить, подставляя из  $T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mg\ell}}$  а именно  $T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$ .

Если определить периоды колебаний, можно вычислить ускорение свободного падения, по формуле,  $g = \frac{2\pi\ell}{T^2}$ , где  $\ell = \ell_0 + r$  длина маятника.  $\ell_0$ -длина нити и  $r$ -радиус шарика.



### Контрольные вопросы

1. Период, частота, фаза и амплитуда колебаний?
2. Ускорение свободного падения?
3. Силы инерции.
4. Скорость и ускорение гармонического колебания.
5. Цель и ход работы.

### Определение моментов инерции различных тел методом крутильных колебаний

Лаб. раб № 4

*Принадлежности: трифилярный подвес, исследуемые тела, секундомер*

Гармоническим крутильным колебанием тела называется периодическое движение относительно оси, проходящей через центр тяжести этого тела, когда угол отклонения от положения равновесия изменяется по этому закону синуса или косинуса. Например,

$$\alpha = \alpha_0 \sin \frac{2\pi}{T} t.$$

Момент инерции различных тел могут быть измерены методом крутильных колебаний с помощью так называемого трифилярного подвеса. Трифилярный подвес состоит из доски массой  $m$  радиуса  $R$ , подвешенного на трех симметрично расположенных металлических нитях. Наверху эти нити симметрично закреплены по краям диска меньшего радиуса  $r$ . При повороте верхнего диска на небольшой угол

$\alpha_0$  вокруг вертикальной оси, перпендикулярной к плоскости диска и проходящей через его центр, все три нити принимают наклонное положение, центр тяжести системы несколько приподнимается по оси вращения. Нижний диск начнет совершать крутильные колебания, период которых будет зависеть от момента инерции системы. На оси вращения прибора несколько ниже диска укреплено зеркальце. Поворот диска определяется с помощью светового луча, отраженного от зеркальца и спроектированного на шкалу. При отклонении верхнего диска осуществляется натяжением шнура, не показанного на рисунке.

Этим почти полностью исключаются не крутильные колебания.

Пусть при вращении диск поднялся на высоту  $h=h_1-h_2$ . Тогда приращение потенциальной энергии равно  $\Delta E = mgh$ .

При вращении диска в другую сторону потенциальная энергия переходит в кинетическую энергию

вращательного движения  $E_k = \frac{1}{2} J\omega^2$ .

В момент прохождения положения равновесия кинетическая энергия принимает максимальное значение. Пренебрегая трением,

можно записать  $mgh = \frac{1}{2} J\omega_{\text{макс}}^2$ , (1).

Угловую скорость диска можно найти, взяв производную от  $\alpha$ :

$$\omega = \frac{d\alpha}{dt} = \frac{2\pi\alpha_0}{T} \cos \frac{2\pi}{T} t. \text{ Очевидно } \omega_{\text{макс}} = \frac{2\pi\alpha_0}{T}, \text{ (2).}$$

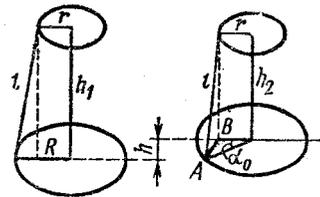
Найдем величину  $h$  при повороте диска на угол  $\alpha_0$ , считая, что

$$h_1 + h_2 \in 2\ell: \quad h = h_1 - h_2 = \frac{h_1^2 - h_2^2}{h_1 + h_2} \approx \frac{h_1^2 - h_2^2}{2\ell}, \text{ (3).}$$

$$h_1^2 = \ell^2 - (R - r)^2 \text{ и } h_2^2 = \ell^2 - (AB)^2 = \ell^2 - (R^2 + r^2 - 2Rr \cos \alpha_0).$$

Подставляя значение  $h_1^2$  и  $h_2^2$  в (3), получим:

$$h = \frac{2Rr(1 - \cos \alpha_0)}{2\ell} = \frac{4Rr \sin^2 \frac{\alpha_0}{2}}{2\ell}.$$



Вследствие малости угла  $\alpha_0$  синус можно заменить аргументом:  $h = \frac{2Rr\alpha_0^2}{2\ell}$ , (4).

Подставляя выражения (2) и (4) в формулу (1) получим окончательно:  $J = \frac{mgRr}{4\pi^2\ell} T^2$ , (5).

Работу выполняют в следующем порядке.

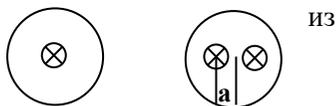
1. Определяют момент инерции ненагруженного диска, для чего сообщают диску вращательный импульс и секундомером измеряют 20-30 полных колебаний, следя по шкале за отклонением зайчика. Вычисляют период одного колебания  $T$ . Зная величины  $\ell$ ,  $R$ ,  $r$  и  $m$ , находят по формуле (5) момент инерции диска  $J_0$ .

2. Помещают на диск исследуемое тело массой  $m_1$ , так, чтобы равномерное натяжение нитей не нарушилось. Повторяя измерения, находят по формуле (5) момент инерции системы  $J_1$ . Так как момент инерции - величина аддитивная, то  $J_1 = J_0 + J$ . Вычисляют момент инерции данного тела:  $J = J_1 - J_0$ .

3. Проверяют теорему Штейнера, пользуясь двумя одинаковыми телами. Для этого определяют момент инерции одного тела  $J_2$ , установленного таким образом, чтобы ось вращения проходила через его центр тяжести на рисунке. Сдвигают тело на некоторое расстояние  $a$  и устанавливают симметрично такое же тело для сохранения горизонтального положения диска. Снова определяют момент инерции системы  $J_0$ .

Обозначим момент инерции одного груза относительно оси вращения трифилярного подвеса через  $J_4$ . Момент инерции системы равен  $J_3 = J_0 + 2J_4$ ,

откуда  $J_4 = \frac{J_2 - J_0}{2}$ .



Сравнивают полученное значение с вычисленным по теореме Штейнера:  $J_4 = J_2 + m_1 a^2$  (расстоянии-а измеряют штангенциркулем). Вычисляют погрешности.

### Контрольные вопросы

1. В чем отличие крутильных колебаний от колебаний физического маятника?

2. Почему натяжение нитей трифилярного подвеса должно быть одинаковым.
3. Сформулируйте теорему Штейнера.
4. Под действием какой силы трифилярный подвес совершает крутильные колебания?
5. Цель и ход работы.

## Определение среднего коэффициента линейного расширения

Лаб. раб. № 5

*Принадлежности: нагреватель, индикатор удлинения (микрометр), несколько стержень.*

Большинство тел при повышении температуры увеличивают свои размеры. При нагревании тела, имеющего первоначальную длину  $\ell$ , его относительное удлинение пропорционально изменению температуры

$$dt: \frac{d\ell}{\ell} = \alpha dt, \quad (1), \quad \text{где } \alpha \text{ - коэффициент}$$

пропорциональности, который называется истинным коэффициентом линейного расширения ( $\alpha < 1$ ). Коэффициент линейного расширения определяет относительное удлинение тела при изменении температуры на один градус. Практически при небольших изменениях температуры  $\alpha$  изменяется незначительно, поэтому для расчетов можно пользоваться величиной среднего коэффициента линейного расширения

$$\alpha = \frac{\ell_2 - \ell_1}{\ell_1(t_2 - t_1)}, \quad (2), \quad \text{где } t_1 \text{ - начальная (комнатная температура) и } t_2 \text{ -}$$

конечная (температура кипения воды) температуры тела,  $\ell_1$  и  $\ell_2$  - длина тела, соответствующие этим температурам.

Длина тела при любой температуре может быть выражена через длину при  $0^\circ\text{C}$ . Из формулы (2) следует, что  $\ell_t = \ell(1 + \alpha t)$ , (3).

В результате линейного расширения увеличивается объем тела. Рассмотрим тело в виде куба с ребром  $\ell$ . Первоначальный его объем при  $0^\circ\text{C}$  будет  $V_0 = \ell^3$ . очевидно, при температуре  $t$  объем тела будет равным  $V = \ell^3(1 + \alpha t)^3 = V_0(1 + \alpha t)^3$ .

Возводя  $(1+\alpha t)$  в куб и пренебрегая членами, содержащими  $\alpha^2$  и  $\alpha^3$  (ввиду их малости), получим  $V = V_0 (1+3\alpha t) = V_0(1+\beta t)$ , где  $\beta = 3\alpha$  - средний коэффициент объемного расширения равен  $\beta = \frac{1}{V} \frac{dV}{dt}$ .

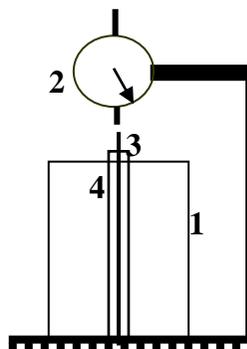
Для анизотропных кристаллов коэффициент линейного расширения  $\alpha$  различен для разных направлений, поэтому при измерении температуры кристалл не остается, подобен самому себя.

Цель работы состоит в определении среднего коэффициента линейного расширения изотропных веществ-металлов.

Прибор состоит из нагревателя-1, стеклянного сосуда - 4, микрометра-2 и исследуемого стержня-3.

Измеряют масштабной линейкой длину стержня, температуры воды в сосуде, стержень вставляют в сосуд и устанавливают микрометр так чтобы он вплотную сел на стержень.

С помощи следующей формуле вычисляют коэффициент линейного расширения стержня (формулой (2))



$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0(t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}})} = \frac{l - l_0}{l_0(t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}})}$$

### Контрольные вопросы

1. Как объяснить с точки зрения молекулярно - кинетической теории тепловое расширение тел?
2. В каких единицах измеряется коэффициент линейного расширения.
3. Выведите формуле (2).
4. Свойства твердых тел.
5. Цель и ход работы.

## Определение влажности воздуха

Лаб. раб. № 6

Атмосферный воздух содержит некоторое количество водяных паров. Количество этих паров может меняться как по абсолютной величине, так и по степени насыщения, что характеризуется абсолютной и относительной влажностью. Целью задачи является определение этих величин.

Абсолютная влажность-количество водяного пара, находящегося в  $1 \text{ м}^3$  воздуха, выраженной в граммах. Вес  $1 \text{ м}^3$  сухого воздуха при  $0^\circ\text{C}$  температуры и при давлении  $760 \text{ мм. рт. ст.}$  равен  $1293 \text{ г.}$  На основании уравнения Клапейрона вес  $1 \text{ м}^3$  воздуха при температуре  $t^\circ\text{C}$

и при давлении  $p \text{ мм. рт. ст.}$  будет равен  $\frac{1293}{1 + \alpha t} \frac{p}{760} \Gamma$  ( $\alpha=1/273-$

коэффициент расширения воздуха). Плотность водяного пара по отношению к плотности воздуха при одинаковых давлении и температуре равна  $0,622$ . Применяя и к водяному пару уравнение Клапейрона (что справедливо лишь для паров, далеких от состояния насыщения), получим для веса  $1 \text{ м}^3$  водяного пара

$$q = \frac{1293 \times 0,622}{760} \frac{p}{1 + \alpha t} = 1,06 \frac{p}{1 + \alpha t}, \quad (1).$$

Пользуясь этим выражением, можно определить абсолютную влажность воздуха, если известно упругость (парциальное давление) паров воды.

Из формулы (1) видно, что при малых значениях  $t$  величина абсолютной влажности  $q$  численно мало отличается от величины упругости водяного пара  $p$ , поэтому принято абсолютной влажностью называть упругость водяного пара и выражать ее в миллиметрах ртутного столба.

Относительная влажность определяется выражением  $r = \frac{p}{P} 100\%$ , (2), где  $P$ - упругость паров, насыщающих пространство при температуре  $t$ . Относительная влажность характеризует, таким образом, степень насыщения воздуха водяным паром.

Определение влажности воздуха производится обычно методом определения точки росы или психрометрический метод.

Метод психрометра -наиболее распространенный метод измерения влажности воздуха. Сущность его состоит в следующем: пусть два

одинаковых термометра находятся в одинаковых потоках воздуха. Показания этих термометров, естественно, должны быть одинаковым. Если же баллончик одного из термометров будет все время смочен, например, обернут мокрым батистом, то показания термометров окажется различным. Благодаря испарению воды с батиста так называемый «мокрый» термометр показывает температуру более низкую, чем сухой термометр. Чем меньше влажность окружающего воздуха, тем интенсивнее будет характеризовать влажность воздуха. При установившемся режиме испарения, тепла  $Q_1$  из вне равен расходу тепла  $Q_2$  на испарение воды с поверхности термометра.

По закону Ньютона за единицу времени имеем  $Q_1 = a(t - t_1)S_1$ , (3), где  $t - t_1$ - наибольшая разность температур ( $t$  – показание сухой термометра а  $t_1$ - показания мокрого термометра),  $S_1$ -поверхность баллончика мокрого термометра,  $a$ - коэффициент пропорциональности.

По закону Дальтона испарение единицу времени определяется выражением  $M = \frac{CS_2(p_n - p)}{H}$ , где  $M$ -масса испарившейся воды,  $S_2$ - площадь испаряющей поверхности,  $H$ - давление воздуха,  $p_n$  - упругость насыщающего водяного пара при температуре испаряющейся жидкости, т.е. температуре  $t_1$ ,  $p$ - упругость водяного пара, находящегося в воздухе,  $C$ -коэффициент пропорциональности, зависящий от скорости потока воздуха.

Количество тепла  $Q_2$  может быть записано в виде  $Q_2 = Mr = \frac{CrS_2(p_n - p)}{H}$ , (4), где  $r$  –удельная теплота испарения воды.

При  $Q_1 = Q_2$  и  $S_1 = S_2$  получаем  $\frac{Cr(p_n - p)}{H} = a(t - t_1)$  откуда  $p = p_n - AH(t - t_1)$ , (5), где  $A/Cr$  –постоянная применяемого прибора. Величина этой постоянной определяется в основном скоростью потока и находится экспериментально.

Устройство применяемого стандартного аспирационного психрометра состоит из двух одинаковых специальных термометра, баллончик один из термометров покрыт батистом. Аспиратор имеет пруженный вентилятор, который заводится ключом.

Путь воздушных потоков -выше баллончиков оба потока соединяются в один. Для устранения нагревания прибора его металлические части никелированы.

Ключом заводят вентилятор и следят за показанием термометра. Когда показания установятся, их записывают; вентилятор при этом должен работать полным ходом.

Абсолютная влажность по стандартному аспирационному психрометру определяется формулой  $p = p_n - 0,000662H(t-t_1)$ , (6).

Величину  $p_n$  берут из таблицы. Барометрическое давление-Н определяют, пользуясь барометром. Относительную влажность воздуха определяют из формуле (2).

### Контрольные вопросы

1. Цель и ход работы.
2. Абсолютные и относительные влажности.
3. Почему мокрый термометр показывают низкий температуры.
4. Испарение, кипение и давление насыщенного пара.
5. Точки росы.

### Определение поверхностного натяжения методом отрыва кольца

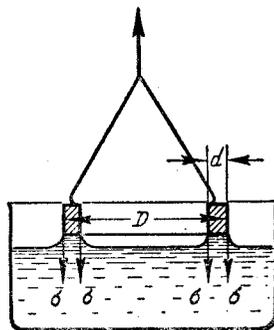
Лаб. раб. № 7

Поверхностное натяжение можно определить путем измерения силы, которую нужно приложить перпендикулярно к поверхности жидкости для отрыва различных твердых тел от этой поверхности. Так как отрываемое тело смачивается жидкостью, то вместе с ним поднимается количество жидкости, т.е. свободная поверхность будет увеличиваться. Вследствие стремления этой поверхности сократиться возникает сила поверхностного натяжения. Если сила, действующая на тело, равна по величине силе поверхностного натяжения, то тело оторвется.

Рассмотрим кольцо с наружным диаметром  $D$  и толщиной  $d$ , касающееся поверхности жидкости. При поднятии кольца над поверхностью жидкости между кольцом и поверхностью воды образуется пленка. Внешняя поверхность этой пленки тянет кольцо вниз с силой  $\sigma \pi D$ , внутренняя поверхность также тянет вниз с силой  $\sigma \pi(D-2d)$ . Результирующая сила, удерживающая кольцо, равна  $\sigma \pi D + \sigma \pi(D-2d) = 2\sigma \pi(D-d)$ , (1).

В момент отрыва  $F = 2\sigma\pi(D-d)$ ,  
откуда  $\sigma = \frac{F}{2\pi(D-d)}$ , (2).

Поскольку диаметр и толщина кольца могут быть измерены штангенциркулем, то определение коэффициента поверхностного натяжения сводится к определению силы отрыва  $F$ . Эта сила может быть измерена, например, с помощью аналитических весов. Воспользуемся в место аналитических весов пружинные весы, по стрелки пружинных весы определим вес  $P$  и вставляем в формулу (2). Повторяем измерение несколько раз и находим абсолютные и относительные ошибки измерения.



### Контрольные вопросы

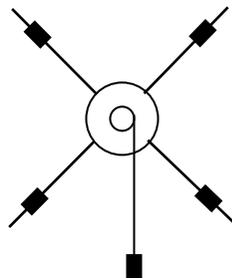
1. Опишите характер теплового движения молекул в жидкостях.
2. Объясните, что значит «ближний порядок».
3. Что называется коэффициентом поверхностного натяжения?
4. Почему при отсутствии внешних сил капля жидкости принимает форму шара?
5. Цель и ход работы.

### Изучение вращательного движения тела

Лаб. раб. № 8

*Принадлежности:* секундомер, разновес, маятник, Обербека, штангенциркуль, миллиметровая линейка.

Цель задачи- экспериментальная проверка основного уравнения вращательного движения – уравнения моментов  $J\varepsilon = \Sigma M$ , (1), где  $J$  – момент инерции тела,  $\varepsilon$  – его угловое ускорение,  $\Sigma M$  – сумма (векторная) момент



сил, приложенных тел.

Маятник Обербека, применяемый в настоящей работе, изображен на рисунке.

Он состоит из четырех стержней и двух шкивов различного радиуса, укрепленных на одной горизонтальной оси. По стержням могут перемещаться и закрепляться в нужном положении четырех (по одному на каждом стержне) груз одинаковой массы. При помощи грузов различной массы, прикрепляемых к концу намотанной на тот или иной шкив нити, маятник может приводиться во вращение. Пренебрегая силами трения, можем написать уравнение вращательного движения маятника  $J\varepsilon = M = RT$ , (2) уравнение поступательного движения груза на нити  $ma = ag - T$ , (3), уравнение, связывающее ускорения движений,  $a = \varepsilon R$ , (4). Здесь R- радиус шкива, T – натяжение нити, a – ускорение движения груза на нити, g – ускорение силы тяжести, m – масса груза.

Эти уравнения дают постоянное во времени значение величины

ускорения  $a = \frac{mR^2}{J + mR^2} g$ , которое может быть найдено из уравнения

$a = \frac{2h}{t^2}$ , (5), где h – расстояние, проходимое грузом за время t. В

условиях задачи h – постоянная величина.

Момент инерции маятника J может быть определен на основании

формуле (1) или  $J = \frac{M}{\varepsilon}$ , (6).

Угловое ускорение  $\varepsilon$  может быть найдено, если измерять высоту h

и время t падения груза,  $\varepsilon = \frac{2h}{t^2 r}$ , (7).

Определим силу, действующую на шкив, равную натяжению шнурка  $F = mg - ma$ , (8). Тогда вращающий момент M равен:

$$M = Fr = m(g - a)r, (8).$$

Если момент инерции крестовины равен  $J_0$ , то момент инерции всего маятника может быть найден как сумма моментов инерции крестовины и грузов. Размеры грузов малы по сравнению с расстоянием R от оси вращения до центров, масс грузов, поэтому  $J = J_0 + 4m_1 R^2$ , (9).

Момент инерции крестовины находится по формуле  $J_o = 2 \frac{1}{12} m \ell_1^2$ , где  $\ell_1$ - длина одного из стержней крестовины, m – его масса.

### Измерения.

Измеряют штангенциркулем длину  $\ell_o$  одного из грузов, укрепленных на крестовине. Располагают грузы на концах стержней и измеряют расстояние  $\ell$  от оси до грузов. Вычисляют расстояние R от оси до центров масс грузов:  $R = \ell + \frac{\ell_o}{2}$ .

Далее измеряют высоту h. Затем отпускают маятник, одновременно пустив секундомер. В момент, когда шнурок полностью разматывается, выключают секундомер и записывают время падения грузов t. Измеряют время падения гири для одинакового расположения грузов и различных шкивов.

По формулам (7), (8) и (6) вычисляют угловые ускорения  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ , моменты сил  $M_1$  и  $M_2$ , моменты инерции  $J_1$  и  $J_2$ . Находят среднее значение  $J_{cp}$  со значением, вычисленным по формуле (9).

Передвигают грузы на 10-15 см к центру и повторяют измерения и вычисления.

### Контрольные вопросы

1. Какой закон положен в основу расчетной формулы?
2. Как определить момент инерции крестовины, не снимая с нее грузов?
3. Как практически определить силу трения при движении маятника?
4. Теорема Штейнера и его определение?
5. Цель и ход работы.

### Измерение сопротивлений с помощью мостика Уитстона

Лаб. раб. № 9

*Принадлежности: реохорд, набор сопротивлений, магазин сопротивлений, гальванометр, источник постоянного тока.*

Мостик Уитстона предназначен для измерения сопротивлений. Он состоит из реохорда АВ, чувствительного гальванометра G и двух

сопротивлений -известного  $R$  и неизвестного  $R_x$ . Реохорд представляет собой укрепленную на линейке однородную проволоку, вдоль которой может перемещаться скользящий контакт  $D$ . Рассмотрим схему без участка  $ED$ . Замкнем ключ  $K$ . тогда по проволоке  $AB$  потечет ток и вдоль нее будет наблюдаться равномерное падение потенциала от величины  $V_A$ (в точки  $A$ ) до величины  $V_B$ (точки  $B$ ). В цепи  $AEB$  пойдет ток  $I_1$  и будет наблюдаться падение потенциала от  $V_A$  до  $V_B$  (на сопротивлении  $R_x$ ) и от  $V_E$  до  $V_B$  (на сопротивлении  $R$ ). Очевидно, в точке  $E$  потенциал имеет промежуточное значение  $V_E$  между значениями  $V_A$  и  $V_B$ . Поэтому на участке  $AB$  всегда можно найти точку  $D$ , потенциал которой  $V_D$  равен потенциалу  $V_E$  в точке  $E$ :  $V_D=V_E$ . Если между точками  $E$  и  $D$  включен гальванометр  $G$ , то в этом случае ток через него не пойдет, так как  $V_E - V_D = 0$ .

Такое положение называется равновесием моста. Покажем, что условие равновесия определяется соотношением:  $\frac{R_x}{R} = \frac{r_{AD}}{r_{DB}}$ , (1).

Действительно, на основании второго закона Кирхгофа для любого замкнутого контура сумма падений напряжений равна сумме электродвижущих сил:  $\sum_{i=1}^n I_i r_i = \sum_{i=1}^m E_i$ , (2). Запишем эти условия для

контуров  $AED$  и  $EBD$  при равновесии моста:

$$I_1 R_x - I_2 r_{AD} = 0, (3),$$

$$I_1 R - I_2 r_{DB} = 0, (4).$$

Откуда получаем условие (1).

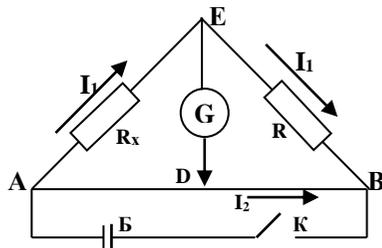
Так как сопротивления участков  $AD$  и  $DB$  пропорциональны их длинам  $l_1$  и  $l_2$  то  $R_x = R \frac{l_1}{l_2}$ .

Если длина реохорда  $l = l_1 + l_2$ , значить  $l_2 = l - l_1$  и  $R_x = R \frac{l_1}{l - l_1}$ , (5).

Так как сопротивление реохорда сравнительно невелико, то мостик

Уитстона описанного типа применяется, как правило, для измерения небольших сопротивлений (от 1 до 1000 Ом).

Таким образом, погрешность будет минимальной, когда при нулевом токе через гальванометр ползунок  $D$  состоит на середине



реохорда ( $\ell_1 = \ell_2$ ). В этом случае выражение (5) принимает вид:  $R_x = R$ . В качестве  $R$  включают магазин сопротивлений.

Приводят измерения для двух сопротивлений  $R_{x_1}$  и  $R_{x_2}$ .

Измеряют сопротивления при последовательном и параллельном соединении  $R_{x_1}$  и  $R_{x_2}$  и проверяют формулы:

$$R_{\text{послед}} = R_{x_1} + R_{x_2}; \quad R_{\text{пар}} = \frac{R_{x_1} R_{x_2}}{R_{x_1} + R_{x_2}}$$

### Контрольные вопросы

1. Правило Кирхгофа .
2. Принцип работы мостик Уитстона.
3. Выведите формулу (5).
4. Закон Ома.
5. Цель и ход работы.

## Градуировка термомпар

Лаб. раб. № 10

*Принадлежности: электрическая печь, термометры, термомпары, милливольтметр.*

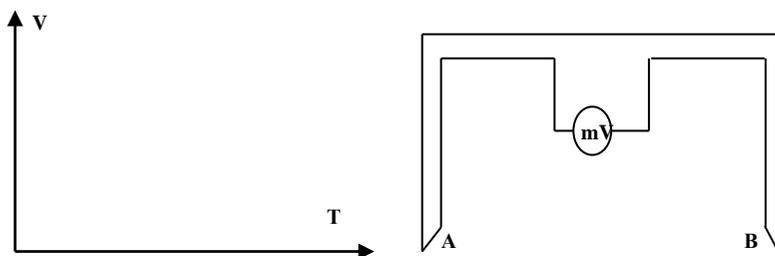
Термомпарой называется замкнутая электрическая цепь, содержащая два спая различных металлических проводников.

Если температура спаев различна, то в цепи идет обусловленный термоэлектродвижущей силой электрический ток. Величина термоэлектродвижущей силе  $E$  пропорциональна разности температур  $t_1 - t_2$ .  $E = C (t_1 - t_2)$ , (1), где  $C$  – постоянная величина, если разность температур не очень велика. Величина  $C$  не превышает нескольких десятков микровольт на градус.

Градуируется термомпара, для этого один конец термомпары вставляется в сосуд с водой, а другой – в другой сосуд с водой. К одной из провода подключается милливольтметр. Температуры воды в обоих сосудов измеряются с термометром. Один из сосудов вставляется в печь. Питание печи производится переменным током, в цепь включается автотрансформатор с ограничителем подаваемого на печь напряжения.

Градуировка термопар осуществляется следующим образом, для этого включают нагрев печи и через каждые 5-10 °С замечают показания термометра воды на печи и показания милливольтметра и записывают. Когда температура достигает 90°С, нагрев печи выключают. Следует воспользоваться падением температуры и вновь произвести отсчет показаний милливольтметра через каждые 5-10 °С.

Полученный экспериментальный материал необходимо представить в виде графиков  $n = f(t_1 - t_2)$ , где  $n$ -показания милливольтметра,  $(t_1 - t_2)$ - разность показаний термометров воды на печи и сосуда с водой. Где  $t_2$ - величина постоянная и равно температуры холодной воды,  $t_1$  – температуры воды на печи, его надо взять через каждый 10 градус и до 70 градусов.



В пределах малых изменений разности температур между горячим и холодным спаями термопары  $t_{гор} - t_{хол} = T$  можно считать термоэлектродвижущую силу  $E$  линейной функцией разности температур  $T$ ,  $E = \epsilon T$ , (2), где  $\epsilon$ - термоэлектродвижущая сила при  $T = 1$  °С – должно быть в этом случае постоянной.

Однако рассмотрение экспериментального графика показывает, что при увеличении разности температур наблюдается систематическое отклонение от линейности.

Экспериментальные результаты показывают что, реальная зависимость имеет вид  $E = \epsilon_0 T + \epsilon T^2$ .

### Контрольные вопросы

1. Что собой представляет термопары.
2. Градуировка термопары.
3. Термоэлектродвижущая сила.
4. Явление Зеебека и Пельтье.

## 5. Цель и ход работы.

### Измерение полезной мощности и к.п.д. аккумулятора в зависимости от нагрузки

Лаб. раб. № 11

*Принадлежности: источник тока, два вольтметра и два амперметр, реостат, ключ.*

Произведение  $P = EI$  дает полную мощность, развиваемую источником тока, а  $P_n = VI$  определяет мощность, расходуемую во внешней части цепи, т.е. полезную мощность.

Так как  $V=IR$ , то выражение для полезной мощности можно записать в виде  $P_n = I^2R$ , (1).

$$\text{Подставляя значение } I = \frac{E}{R + r_o}, \text{ получим } P_n = \frac{E^2 R}{(R + r_o)^2} \quad (2).$$

Здесь величины  $E$  и  $r_o$  – постоянные, таким образом, полезная мощность  $P_n$  является функцией только внешнего сопротивления  $R$ .

Из уравнения (2) видно, что при  $R=0$  и при разомкнутой цепи ( $R=\infty$ )  $P_n=0$ . если же  $R$ -конечная положительная величина, то  $P_n > 0$ . проанализируем, при каких условиях  $P_n=f(R)$  будет имеет максимальное значение  $P_n = P_{\text{макс}}$ . Для этого необходимо отыскать

максимум функции:  $P_n = \frac{E^2 R}{(R + r_o)^2}$  т.е. определить, при каких

$$\text{условиях } \frac{dP_n}{dR} = \frac{E^2 (R + r_o)^2 - E^2 R 2(R + r_o)}{(R + r_o)^4} = 0.$$

Знаменатель здесь не равен бесконечности, значит, максимум имеет место тогда, когда числитель равен нулю, т.е.

$$E^2 (R+r_o)^2 - E^2 R 2 (R+r_o) = E^2 (R+r_o)(R+r_o-2R)=0, \quad (3).$$

Равенство же (3) осуществляется только тогда, когда  $R=r_o$ . таким образом, полезная мощность батареи становится наибольшей, когда внешнее сопротивление цепи равно внутреннему сопротивлению батареи.

Коэффициент полезного действия (к.п.д.) батареи называется отношение полезной мощности  $P_n$  к ее полной мощности  $P$ :

$$\eta = \frac{P_n}{P} = \frac{V}{E}, \quad (3a).$$

К.п.д. можно определить еще и так:

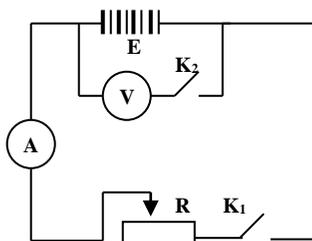
$$\eta = \frac{P_n}{P} = \frac{I^2 R}{I^2 (R + r_o)} = \frac{R}{R + r}.$$

Полезная мощность достигает максимального значения при  $R=r_o$ . в этом случае  $\eta=50\%$ . Наконец, из уравнения (3a) можно написать, что

$$\eta = \frac{V}{E} = \frac{E - I r_o}{E}, \quad (4).$$

При анализе этой формулы видно, что  $\eta=1$ , когда  $I=0$ . Затем при увеличении силы тока величина  $\eta$  уменьшается, спадая до нуля при  $R=0$ , т.е. при коротком замыкании батареи.

Для исследования зависимости полезной мощности и к.п.д. аккумулятора от нагрузки собирают следующую схему.



Величину  $E$  измеряют методом компенсации. Введя все сопротивление реостата  $R$ , замыкают ключ  $K_1$ . Установив с помощью реостата силу тока в  $0,2$  А, записывают показания амперметра  $I$  и вольтметра  $V$ . Затем, увеличивая последовательно силу тока через  $0,2$  А и фиксируя соответствующее значения напряжения  $V$ , доводят ее до максимального значения. Используя полученные значения  $I$  и  $V$ , вычисляют для каждого значения силы тока величины  $P_n$  и  $\eta$ . Строят на одних и тех же осях график зависимости полезной мощности от силы тока и к.п.д. от силы тока, т.е.

$$P_n = f_1(I), \quad \eta = f(I).$$

### Контрольные вопросы

1. Какого условие существования электрического тока?
2. Что такое Э.Д.С.?
3. В чем заключается метод компенсации?
4. Электроизмерительные приборы их принцип действие.
5. Цель и ход работы.

# Определение число Фарадея и заряд электрона

Лаб. раб. № 12

*Принадлежности: электролитическая ванна с раствором медного купороса, источник постоянного тока, амперметр, реостат, секундомер.*

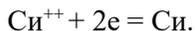
## Прохождение тока через электролиты

Вещества, молекулы которых в растворе или в расплаве распадаются на ионы, называются электролитами. Такой процесс распада называется электролитической диссоциацией. К электролитам относятся водные растворы солей, кислот, щелочей, а также расплавленные соли. Электрический ток в электролитах обусловлен движением ионов под действием внешнего электрического поля. Поэтому проводимость электролитов, в отличие от электронной проводимости в металлах, принято называть ионной. Прохождение постоянного электрического тока через электролиты сопровождается выделением составных частей этих веществ на электродах. Это явление называется электролизом.

Если ввести в электролит два электрода (металлических или угольных), соединенных с полюсами источника постоянного напряжения, и создать постоянное внешнее электрическое поле, то под действием электрических сил ионы в растворе придут в направленное движение. К аноду будут двигаться отрицательные ионы (анионы), к катоду – положительные ионы (катионы).

Достигнув электродов, ионы разряжаются: анионы отдают аноду свои избыточные электроны, катионы восстанавливаются на катоде. Например, молекулы медного купороса  $\text{CuSO}_4$  диссоциируют при растворении на положительный  $\text{SO}_4^{2-}$  ионы  $\text{Cu}^{2+}$  и отрицательные ионы  $\text{SO}_4^{2-}$ . Кроме ионов  $\text{Cu}^{2+}$  и ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  раствор содержит также водородные ( $\text{H}^+$ ) и гидроксильные ( $\text{OH}^-$ ) ионы воды.

Ионы меди  $\text{Cu}^{2+}$  разряжаются легче, чем ионы водорода  $\text{H}^+$ , по этому при прохождении тока на катоде будет происходить выделение меди:

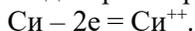


Ионы  $\text{SO}_4^{2-}$  труднее разряжаются, чем ионы  $\text{OH}^-$ . Поэтому при прохождении тока у анода разряжаются ионы гидроксила и выделяется кислород



Ионы  $\text{SO}_4^{2-}$  с ионами  $\text{H}^+$  образуют у анода раствор серной кислоты  $\text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ \leftrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ . Иначе протекает процесс, если анод изготовлен из меди. В этом случае разряд ионов происходит только у катода; у анода же, наоборот, ионы металла переходят в раствор.

Объяснить это можно тем, что атомы меди  $\text{Cu}$  теряют электроны легче, чем ионы  $\text{OH}^-$ , в этом случае вместо выделения кислорода будет происходить переход с анода в раствор ионов  $\text{Cu}^{++}$



Следовательно, электролиз  $\text{CuSO}_4$  при медном аноде сводится к переносу меди с анода на катод. В то же время количество медного купороса в растворе остается неизменным.

### Законы электролиза

Пусть заряд одного иона равен  $Ze$ , где  $e$ -заряд электрона,  $Z$  – валентность иона, т.е. числа электронов, отданных или приобретенных при диссоциации каждом атомом. Заряд, отдаваемый электроду  $n$  ионами, равен:  $q = n Z e$ . (1).

С другой стороны масса  $M$  выделившегося на электроде вещества, равна  $M = n m$ , (2), где  $m$  -масса одного иона. Из формуле (1) и (2) находим:

$$M = \frac{m}{Ze} q, (3).$$

Известно, что в одной грамм-молекуле  $A$  любого вещества (т.е. в массе вещества в граммах, численно равной молекулярному весу) содержится одинаковое число атомов:

$$N = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ (число Авогадро)}.$$

Тогда масса иона (массами двух оторванных от атома электронов пренебрегаем)

$$m = \frac{A}{N}, (4).$$

Подставляя выражение (4) в (3), получим:  $M = \frac{A}{NZe} q$ , (5).

Величина  $-\frac{A}{NZe} = k$ , (6) постоянная для каждого вещества, называется электрохимическим эквивалентом.

Таким образом, масса  $M$  выделившегося на электроде вещества пропорциональна величине заряда  $q$ , прошедшего через электролит (первый закон Фарадея).

Величина заряда  $q$ , прошедшего через электролит, равна произведению силы тока  $I$  на время  $t$  его прохождения:  $q = It$ . Поэтому электрохимический эквивалент  $k$  может быть рассчитан по формуле:

$$k = \frac{M}{It}, \quad (7).$$

Обычно принято  $M$  выражать в миллиграммах,  $I$  в амперах и  $t$  в секундах. Тогда электрохимический эквивалент измеряется в мг/к.

Из формулы (6) находим  $\frac{A}{Z} = Nek$ , (8).

Величина  $\frac{A}{Z}$  называется химическим эквивалентом вещества.

Химический эквивалент – есть безразмерная величина, численно равная массе данного вещества в граммах, которая замещает в химических соединениях 1,0078 г водорода. Число  $\frac{A}{Z}$  граммов вещества составляет грамм-эквивалент этого вещества.

Из уравнения (8) следует, что химические эквиваленты веществ пропорциональны их электрохимическим эквивалентам (второй закон Фарадея).

Постоянная величина  $Ne = F$  называется числом Фарадея. Выражение (5) можно переписать в виде:

$$M = \frac{1}{F} \frac{A}{Z} q, \quad (9).$$

Для того чтобы на электроде выделилось количество вещества, равное одному грамм-эквиваленту, т.е.  $M_1 = \frac{A}{Z}$ , через электролит надо пропустить заряд  $q = F$ .

Следовательно, число Фарадея  $F$  численно равно величине заряда, при прохождении которого через электролит на электроде выделяется один грамм-эквивалент веществ.

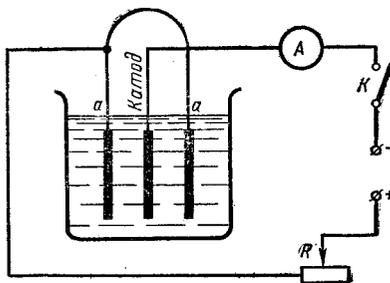
Из выражения (8) следует, что  $F = \frac{A}{Zk}$ , (10).

Заряд одновалентного иона численно равен заряду электрона. Поэтому заряд электрона может быть вычислен по формуле

$$e = \frac{F}{N}, \quad (11).$$

### Измерения

Стеклянный сосуд (см.на рисунке) наполняют раствором  $\text{CuSO}_4$  и помещают в нее медные электроды- катод и анод а. определяют массу катода  $M_1$  на технических весах. Вставляют катод на ванну. Включают электрический ток и устанавливают при помощи реостата  $R$  силу тока в 1,5 а, одновременно пускают секундомер. Пропускают ток 30-40 мин. В течение этого времени поддерживают постоянную силу тока при помощи реостата. Выключают ток, вынимают катод, просушивают и вторично определяют массу  $M_2$ . Разность  $M_2-M_1$  дает приращение массы катода  $M$ . По формуле (7) вычисляют величину электрохимического эквивалента. По формуле (10) находят число Фарадея  $F$ , подставляя значение  $k$  в г/к. В соединении  $\text{CuSO}_4$  медь двухвалентна:  $Z = 2$ . Масса грамм-атом меди  $A = 63,54$  г. Вычисляют заряд электрона по формуле (9) в системе СИ .



### Контрольные вопросы

1. Что называется электрохимическим эквивалентом?
2. Что называется химическим эквивалентом?
3. Расскажите первый и второй закон Фарадея.
4. Виды электропроводности?
5. Цель и ход работы.

## Определение ёмкости конденсаторов с помощью моста Сотти

Лаб. раб. № 13

*Принадлежности: набор конденсаторов, источники постоянного и переменного тока, электронно-оптический индикатор нуля.*

Для определения емкости конденсаторов можно воспользоваться мостовой схемой. Здесь  $C$  известный и  $C_x$  исследуемый конденсаторы, ИН – индикатор нуля. Напряжение 10-20 В подается на реохорд АВ от вторичной обмотки понижающего трансформатора. Принцип измерения основан на нахождении такого положения движка реохорда D, при котором ток через индикатор нуля ИН отсутствует ( $V_A = V_B$ ).

Выведем условие равновесия. Количество электричества, прошедшего за время  $dt$  по ветви DAE, равно  $q = I_1 dt$ ,  $I_1 = \frac{V_D - V_A}{r_1} C$

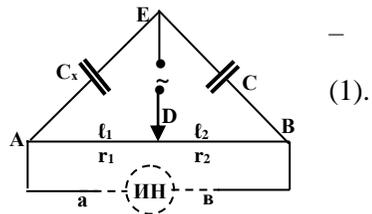
другой стороны, из определения емкости конденсатора, следует, что  $q = C_x (V_A - V_E)$ . Тогда  $\frac{V_D - V_A}{r_1} dt = C_x (V_A - V_E)$ . Аналогично для

ветви DBE  $\frac{V_D - V_B}{r_2} dt = C_x (V_B - V_E)$ .

Из последних двух выражений, учитывая, что  $V_A - V_B$  получим  $C_x = C \frac{r_2}{r_1}$ . Поскольку  $r_1 = \rho \frac{\ell_1}{S}$  и  $r_2 = \rho \frac{\ell_2}{S}$ , где  $\rho$  и  $S$  – удельное

сопротивление и поперечное сечение проволоки реохорда,  $\ell_1 = AD$  и  $\ell_2 = DB$  длины плеча реохорда, то  $C_x = C \frac{\ell_2}{\ell_1}$ ,

В качестве индикатора нуля используется лампа 6Е5С.



### Измерения.

Передвигая ползунок реохорда D, добываются того, чтобы сектор индикатора был максимальным. Записывают значение  $\ell_1$ . зная  $C$  по

формуле (1), вычисляют  $C_{x_1}$ . Повторяют измерения для другого неизвестного конденсатора  $C_{x_2}$ . Измеряют емкость при параллельном и последовательном соединении конденсаторов  $C_{x_1}$  и  $C_{x_2}$  и сравнивают их со значениями, вычисленными по формулам для параллельного и последовательного соединения конденсаторов.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое емкость, в каких единицах она измеряется?
2. Объясните устройство электронно-оптического индикатора.
3. Выведите формулы для параллельного и последовательного соединений конденсаторов.
4. Формулы емкости: шарового, цилиндрического и плоского конденсатора.
5. Цель и ход работы.

### **Изучение работы электронного осциллографа**

Лаб. раб. № 14

Электронный осциллограф, в основном, предназначен для исследования быстропеременных периодических процессов. Например, с помощью осциллографа можно измерять силу тока и напряжение и изменение их во времени, сдвиг фаз между ними, сравнивать частоты и амплитуды различных переменных напряжений. Кроме того, осциллограф при применении соответствующих преобразователей позволяет исследовать неэлектрические процессы, например, измерять малые промежутки времени, кратковременные давления и т.д.

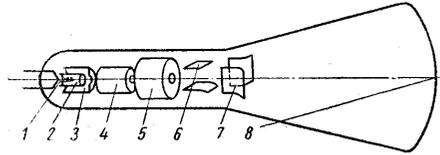
Достоинствами электронно-лучевого осциллографа являются его высокая чувствительность и безинерционность которых порядка  $10^{-6}$ - $10^{-8}$  сек.

### **Электронно-лучевая трубка**

Основной частью осциллографа является электронно-лучевая трубка. Электронно-лучевая трубка состоит из стеклянного баллона, из которого выкачен воздух до давления порядка  $10^{-6}$  мм.рт.ст. Внутрь трубки впаян ряд электродов. Источником электронов служит катод 2,

подогреваемый спиралью 1. Между катодом и первым анодом 4 приложено напряжение порядка 1000 в. Поэтому электроны ускоряются электрическим полем и попадают на флюоресцирующий экран 8, вызывая его свечение. Катод находится внутри цилиндра 3, являющегося управляющим электродом. В основании цилиндра сделано отверстие для пропускания узкого электронного пучка.

Подводя отрицательный потенциал к цилиндру, можно уменьшать количество электронов, проходящее через его отверстие, а, следовательно, и яркость пятна на экране трубки.



(рис.1)

Второй анод 5, потенциал которого выше первого, служит для фокусирования электронного луча. Регулируя потенциал второго анода, можно получить на экране трубки ярко светящуюся точку. Выйдя из второго анода, электронный луч проходит между двумя парами металлических пластин 6 и 7. если на любую пару пластин подать напряжение, то электронный луч отклонится от своего первоначального направления, так как электроны будут притягиваться к пластине, заряженной отрицательно.

Пусть разность потенциалов между катодом и вторым анодом равна  $V$ . Работа, совершаемая силами электрического поля по перемещению электрона между катодом с потенциалом  $V_K$  и анодом с потенциалом  $V_A$  равна  $A = e(V_A - V_K) = eV$ . Эта работа идет на сообщение электрону кинетической энергии  $eV = \frac{mv^2}{2}$ , (1).

Из формулы (1) следует, что электронно-лучевая трубка является практически неинерционным прибором. Действительно, так как величина  $eV = \text{const.} \in 10^{-16}$  Дж., а масса электрона мала ( $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг), то скорость электрона очень велика. Поэтому электроны практически мгновенно достигают экрана.

Пусть под действием приложенного напряжения  $V_x$  след электронного луча смещается на величину  $x$  в горизонтальном направлении, а под действием  $V_y$  – на величину  $y$  в вертикальном направлении.

Величины  $j_x = \frac{x}{V_x}$ , (2),  $j_y = \frac{y}{V_y}$ , (3), называется

чувствительностями трубки к напряжению соответственно в направлениях осей X и y. чувствительность к напряжению показывает величину отклонения электронного луча на экране при разности потенциалов на пластинках в 1 В.

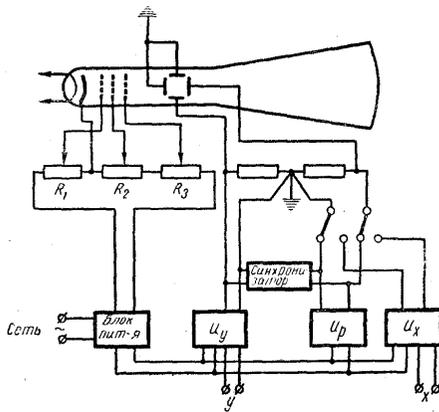
При постоянном анодном напряжении V величины  $J_x$  и  $J_y$  для данной электронной лучевой трубки постоянны.

Кроме трубок с электростатическим отклонением луча, существуют электронно-лучевые трубки с магнитным отклонением луча.

### Генератор развертки

Если исследуемое переменное напряжение  $V_y = V_0 \sin \omega t$  (4), подать на вертикально отклоняющие пластины, то световое пятно на экране будет совершать колебания. Вследствие световой инерции экрана и способности нашего глаза сохранять некоторое время, полученное световое восприятие, на экране будет видна неподвижная вертикальная линия. Пусть одновременно напряжение на

горизонтально отклоняющих пластинах возрастет по линейному закону  $V_x = kt$ , (5). Под действием этого напряжения пятно на экране осциллографа будет равномерно перемещаться слева направо. Результирующая траектория луча представляет зависимость исследуемого напряжения от времени. Действительно, из формул (2), (3), (4) и (5) следует, что  $x = V_x J_x = j_x kt$ ,  $y = V_y J_y = J_y$



(рис.2)

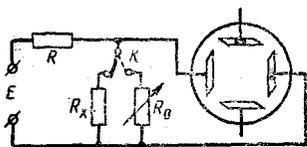
$V_0 \sin \omega t$ .

При постоянных  $J_x$  и  $J_y$  величин  $j_x kt$  и  $V_y J_y$  постоянны, поэтому  $y = y(x)$  является синусоидой, вычерченной электронным лучом на экране трубки в определенном масштабе. Если по истечении времени, равного периоду исследуемого колебания, напряжение на горизонтально отклоняющих пластинах  $V_x$  скачком падает до нуля, то

световое пятно скачком возвращается в исходное положение. Если  $V_x$  снова возрастает по Ому же закону, то на экране трубки вновь воспроизводится синусоида. Таким образом, для получения развертки исследуемого напряжения во времени на горизонтально отклоняющие пластины необходимо подать «пилообразное» напряжение, причем пилообразного и исследуемого напряжения должны совпадать. Если период развертывающего пилообразного напряжения кратен периоду исследуемого, например, больше его, то на экране получится изображение нескольких полных колебаний. При неравенстве и не кратности периодов кривая на экране будет двигаться. Источником пилообразного напряжения является релаксационный генератор, называемый генератором развертки. Принцип действия релаксационного генератора можете найти другой литературы. Частота генератора пилообразного напряжения в осциллографах можно изменять в широких пределах. При ручной регулировке поддерживать строгое равенство частот напряжений  $V_x$  и  $V_y$  трудно, поэтому осциллографы снабжаются автоматическим устройством для синхронизации пилообразного напряжения с исследуемым.

### Блок-схема осциллографа

Основными узлами осциллографа является электронно-лучевая трубка, блок питания, усилитель напряжения  $V_x$ , усилитель напряжения  $V_y$ , генератор пилообразного напряжения  $V_p$  и синхронизирующее устройство. Регулировка яркости электронного луча и его фокусировка осуществляется при помощи делителя напряжения, состоящего из сопротивлений  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$ , к которым подводится высокое напряжение постоянного тока от блока питания.



(рис.3)

Исследуемое напряжение  $V_y$  подается непосредственно, либо через усилитель на вертикально отклоняющие пластины. На вторую пару пластин подается напряжение от какого-либо постороннего источника или пилообразное напряжение от генератора развертки. На лицевой панели осциллографа расположены все органы управления его с соответствующими надписями.

## **Измерение напряжений, токов и сопротивлений с помощью осциллографа.**

С помощью осциллографа можно измерять величину переменного напряжения. Преимущество осциллографа перед вольтметром заключается в том, что осциллограф позволяет измерять переменное напряжение различных частот, в то время как каждый вольтметр переменного тока дает возможность производить измерения только в определенном интервале частот.

### **1. Измерение напряжений**

Подключают к клеммам «х» на задней панели осциллографа источник исследуемого синусоидального напряжения – звуковой генератор ЗГ-1. Устанавливают рукоятку звукового генератора «амплитуда» в положение 20, 40, 60, 80, 100 и определяют подаваемое напряжение по формуле  $V = \frac{L}{2j_x}$ , (6), для определенной частоты (по указанию преподавателя). Так как определение чувствительности трубки производится по вольтметру, показывающему эффективное значение напряжения, то и измеренное напряжение также будет являться эффективным. Для измерения при определении чувствительности следует пользоваться источником постоянного тока.

#### **1. Измерение сопротивлений.**

При отсутствии специальных приборов (омметра, мост и др.) измерение сопротивлений с достаточной точностью может быть произведено с помощью осциллографа. Для этой цели можно воспользоваться специальной схемой. К выход осциллографа подается напряжение, снимаемое либо с измеряемого сопротивления, либо с эталонного. Регулировкой сопротивления  $R_0$  добиваются равенства этих напряжений (отклонение луча в обоих случаях будет одинаковым). Очевидно при  $R_x = R_0$ . зная чувствительность осциллографа  $j_x$ , определяют по формуле (6) значение напряжения и по закону Ома вычисляют силу протекающего по цепи тока  $I = \frac{V}{R_0}$ , (7).

Если измерение производится на переменном токе, то магазин сопротивлений  $R_0$  должен быть безреактивным, т.е. не должен обладать индуктивным и емкостным сопротивлениями.

### Контрольные вопросы.

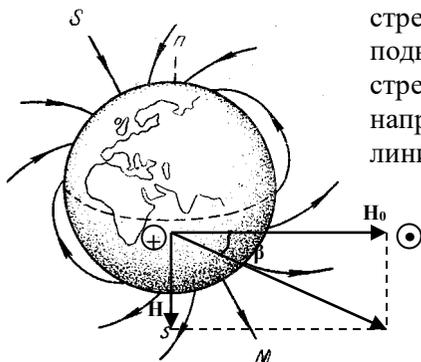
1. Что называется чувствительностью трубки по напряжению?
2. Какого назначения генератора развертки?
3. Каким образом с помощью осциллографа можно измерить  $I$ ,  $V$  и  $R$ .
4. Как получить на экране форму любого периодического напряжения.
5. Цель и ход работы.

### Определение горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли

Лаб. раб. №15

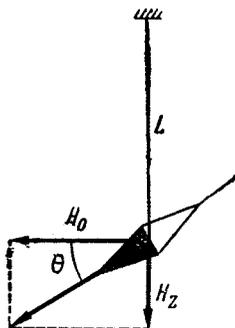
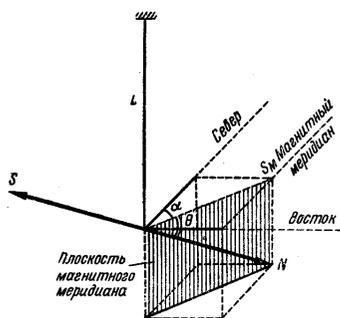
*Принадлежности: тангенс-гальванометр, миллиамперметр, реостат, источник постоянного тока.*

**Элементы земного магнетизма.** Земля в целом представляет собой огромный шаровой магнит. В любой точке пространства, окружающего Землю, и на ее поверхности обнаруживается действие магнитных сил. Иными словами, в пространстве, окружающем Землю, создается магнитное поле, силовые линии которого изображены на рисунке. Северный магнитный полюс **N** находится на южном географическом полюсе **S** и наоборот. Существование магнитного поля в любой точке Земли можно установить с помощью магнитной



стрелки. Если повесить магнитную стрелку **N S** на нити **L** так, чтобы точки подвеса совпадала с центром тяжести стрелки, то стрелка установится по направлению касательной к силовой линии магнитного поля Земли. В северном полушарии- южный конец будет наклонен к Земле и стрелка составит с горизонтом угол наклона  $\theta$  (на магнитном экваторе наклонение  $\theta$  равно  $0$ ).

Вертикальная плоскость, в которой расположится стрелка, называется плоскостью магнитного меридиана. Все плоскости магнитных меридианов пересекаются по прямой **NS**, а следы магнитных меридианов на поверхности Земли сходятся в магнитных полюсах **N** и **S**. Так как магнитные полюса не совпадают с географическими полюсами, то стрелка будет отклонена от географического меридиана. Угол, который образует вертикальная плоскость, проходящая через стрелку (т.е. магнитный меридиан) с географическим меридианом, называется магнитным склонением  $\alpha$ . Вектор **H** полной напряженности магнитного поля Земли можно разложить на две составляющие: горизонтальную **H<sub>0</sub>** и вертикальную **H<sub>z</sub>**. значения углов склонения и наклонения а также горизонтальной составляющей **H<sub>0</sub>** даст возможность определить величину и направление полной напряженности магнитного поля Земли в данной точке. Если магнитная стрелка может свободно вращаться лишь вокруг вертикальной оси, то она будет устанавливаться под действием горизонтальной составляющей магнитного поля Земли в плоскости



магнитного меридиана. Горизонтальная составляющая **H<sub>0</sub>**, магнитное

склонение  $\alpha$  и наклонение  $\theta$  называется элементами земного магнетизма. Все элементы земного магнетизма изменяются с течением времени. Существующие в настоящее время теории земного магнетизма можно разбить на две группы:

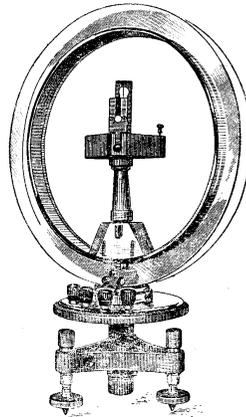
1. Теории, объясняющие наличие магнитного поля электрическими токами, циркулирующими на больших глубинах в жидком ядре Земли.

2. Теории, основанные на предположении, что земная кора содержит в разных своих участках различное количество магнитных пород.

Однако происхождение магнитного поля Земли в настоящее время еще не выяснено.

### Тангенс-гальванометр

Рассмотрим круговой проводник из  $n$  витков, прилегающих достаточно плотно друг к другу, расположенных вертикально в плоскости магнитного меридиана. В центре проводника поместим магнитную стрелку, вращающуюся вокруг вертикальной оси. Если по катушке пропустить ток  $I$ , то возникает магнитное поле с напряженностью, направленное перпендикулярно к плоскости катушки. Таким образом, на стрелку будут действовать два взаимно перпендикулярных магнитных поля: магнитное поле Земли и магнитное поле тока. На рисунке изображено сечение катушки горизонтальной плоскостью. Здесь  $H$  – вектор напряженности поля, созданного круговым током.  $H_0$  – горизонтальная составляющая магнитного поля Земли. Стрелка установится по направлению равнодействующей  $H_1$ , т.е. по диагонали параллелограмма, сторонами которого будут вектор напряженности магнитного поля кругового тока  $H$  и  $H_0$ .



Из рассмотрения рисунка получим  $H = H_0 \operatorname{tg} \beta$ . С другой стороны, напряженность магнитного поля в центре катушки тангенс- гальванометра равна

$H = \frac{nI}{2r}$ . Тогда  $\frac{nI}{2r} = H_0 \operatorname{tg} \beta$ , откуда

$$H_0 = \frac{n}{2r} \frac{I}{\operatorname{tg} \beta}.$$

Для данного места Земли и для данного прибора величина  $\frac{I}{\operatorname{tg} \beta} = C$ , (1), является постоянной и называется постоянной тангенс-

гальванометра. Тогда  $H_0 = \frac{n}{2r} C$ , (2). Формулу (1) можно переписать

в виде  $I = C \operatorname{tg} \beta$ , (3).

Отсюда следует, что постоянная  $C$  численно равна тому току, который протекает по виткам, когда угол отклонения стрелки равен  $45^\circ$ .

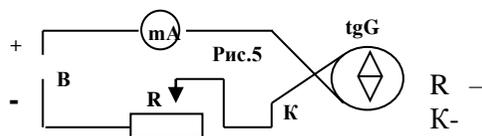
Таким образом, круговой проводник с магнитной стрелкой в центре может быть использован для измерения силы тока, текущего по цепи. Для этого должно выполняться следующее условие: магнитную стрелку следует брать очень малых размеров по сравнению с радиусами витков, так как формула (2) пригодна только для точки, находящейся в центре окружности.

Прибор, основанный на вышеописанном принципе, носит название тангенс- гальванометра. Общий вид тангенс- гальванометра приведен на рис.4.

Тангенс –гальванометр, используемый в данной задаче, состоит из катушки, укрепленной на вращающейся подставке. В центре катушки укреплена на вертикальной оси стрелка, на которой сверху наклеен легкий алюминиевый круг (лимб) с делениями. Стрелка под кругом расположена так, что один ее конец направлен в точку лимба, отмеченную буквой  $C$ , другой – в точку, отмеченную буквой  $Ю$ . Стрелка с лимбом может свободно вращаться внутри круглой коробки с прозрачной крышкой. С одной стороны коробки прикреплена призма полного отражения и лупа, через которые можно наблюдать деления лимба. На диаметрально противоположной стороне укреплена стойка с тонкой нитью, которую наблюдатель также видит в окуляре- лупу. Отсчет по прибору - это то деление шкалы (лимба), которое совпадает в окуляре с нитью.

Тангенс- гальванометр изготовлен таким образом, чтобы плоскость витков катушки была перпендикулярна направлению цель- визирная нить. Если визирную нить установить против  $270^\circ$  (что соответствует направлению визира запад –восток), то плоскость витков катушки совпадает с направлением север –юг. Этого можно добиться, поворачивая подставку катушки.

Электрическая схема установки изображена на рис.5. Здесь  $B$ - источник тока,  $R$  – реостат,  $mA$  – миллиамперметр, переключатель, меняющий направление тока, проходящего по тангенс- гальванометру.



## Измерения

Собирают схему рис.5. Поворачивая подставку тангенс-гальванометра, устанавливают витки его катушки в плоскости магнитного меридиана (визирная нить должна совпадать с делением  $270^\circ$ ). Включают катушку на  $n=100$  витков и, двигая ползунок реостата, добиваются поворота лимба на  $\beta_1=45^\circ$ . Записывают значение силы тока  $I_1$  по миллиамперметру. С помощью переключателя К изменяют направление подводимого тока и снова добиваются отклонения  $\beta_2=45^\circ$ . Записывают  $I_2$  и вычисляют среднее значение силы тока  $I_{\text{ср}}$  в амперах. Записывают значение  $C_1=I_{\text{ср}}$ . По формуле (2) вычисляют значение  $H_0^1$  (в эрстедах). Проверяют нулевую установку прибора и повторяют измерения для  $n_2=75$  и  $n_3=50$  витков. Вычисляют  $H_0^{11}$  и  $H_0^{111}$ . Находят среднее значение  $H_0$  и погрешность  $\Delta H_0$  как отклонение от среднего.

## Контрольные вопросы

1. Определите элементы земного магнетизма.
2. Как устанавливается магнитная стрелка в магнитном поле?
3. Сформулируйте закон Био - Савара - Лапласа?
4. Объясните устройство и принцип действия тангенс-гальванометра.
5. Цель и ход работы.

## Определение длины стоячей электромагнитной волны.

### Лаб. раб. № 16

Краткая теория. Согласно теории Максвелла, переменное электромагнитное поле представляет собой совокупность переменных взаимно перпендикулярных электрических и магнитных полей, перемещающихся в пространстве со скоростью:  $v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \epsilon \mu_0 \mu}}$ , где  $\epsilon$

и  $\mu$  – относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости среды. Распространение электромагнитного поля сопровождается переносом электромагнитной энергии. Источниками электромагнитного излучения служат всевозможные переменные токи. Системой, эквивалентной переменному току, является электрический диполь, с гармонически изменяющимся моментом «Р». В начальный

момент заряды  $+q$  и  $-q$  такого диполя совмещены друг с другом и потому  $P=0$ , (рис. 1). Через четверть периода расходятся на минимальное расстояние и момент диполя достигает максимального

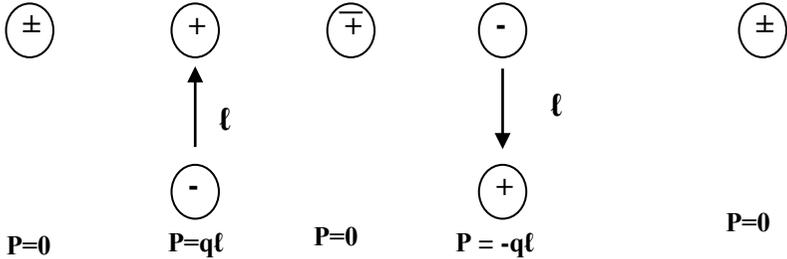


Рис.1

значения  $P=q\ell$ . Через полпериода заряды вновь сходятся  $(P=0)$ , а затем через три четверти периода расходятся в противоположные стороны на расстояние  $\ell$ , в связи с чем момент диполя опять становится максимальным, но имеющим противоположное направление  $(P=-q\ell)$ . Затем этот процесс периодически повторяется. Электромагнитное поле распространяется в виде поперечной электромагнитной волны /рис. 2/, состоящей из двух совпадающих по фазе волн – электрической и магнитной. Период электромагнитной волны равен периоду колебания излучающего диполя. Длина- $\lambda$ , период- $T$ , частота- $\nu$  и скорость- $V$  распространение электромагнитной волны связаны между собой соотношением:

Переменные токи высокой частоты (порядка миллиона герц) называются электрическими колебаниями. В качестве генератора электрических колебаний и источника электромагнитных волн высокой частоты применяется тое называемый колебательный контур.

Рис.2

Колебания в контуре является затухающими, т.к. энергия расходуется на джоулево тепло, на излучение электромагнитных волн. Если пренебречь этими потерями энергии, можно записать, что энергия электрического поля равна энергии магнитного поля.

$$\frac{CU^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2}, (2).$$

Для получения незатухающих высокочастотных колебаний используется ламповый генератор /рис. 3/

Задачей лампового генератора является преобразование энергии источника постоянного тока в энергию переменного тока высокой частоты. Энергия колебательного контура пополняется за счет энергии

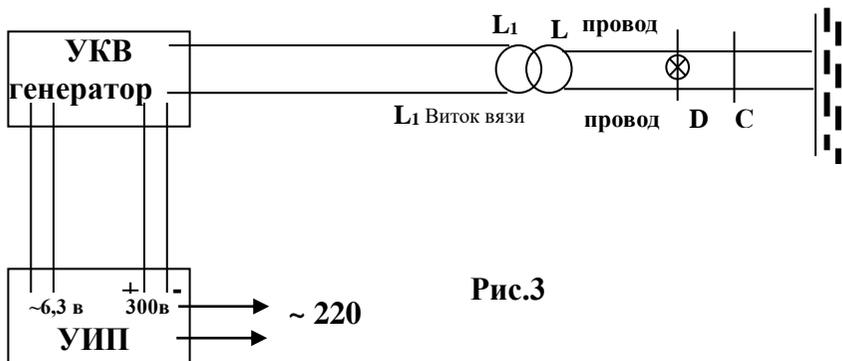


Рис.3

батареи. Электрическая лампа  $L$  служит регулятором и обеспечивает поступление энергии в контур в такт происходящим колебаниям. Электромагнитная катушка обратной связи  $L_1$ , индуктивно связанная с катушкой контура  $L$ , осуществляет необходимую связь между лампой и электромагнитным контуром.

Колебательный контур, в котором индуктивность  $L$  сосредоточена в катушке, а ёмкость  $C$  в конденсаторе, называется системой с сосредоточенными постоянными. Однако любой проводник обладает некоторой индуктивностью и емкостью, т.е. может быть использован в качестве колебательного контура. Контур, в котором индуктивность и емкость рассредоточены вдоль всей цепи, называется системой с распределенными постоянными. Система, состоящая из двух параллельных проводов, связанных с одной стороны с генератором высокочастотных колебаний называется системой Лехера. С помощью системы Лехера удобно изучать стоячие электромагнитные волны. при выключении синусоидального источника Э.Д.С. с частотой колебаний  $\nu$  в бесконечно длинную двухпроводную линию вдоль этой линии распространяется со скоростью  $V$  электромагнитная волна с длиной волны  $\lambda = V/\nu$ . Бегущая электромагнитная волна несет с собой волну тока и напряжения в проводах.

### Экспериментальная установка и измерения

Длина электромагнитной волны  $\lambda$  и частота  $\nu$  изменяется с помощью система Лехера, индуктивно связанной с генератором

незатухающих колебаний(Рис.3). эта система состоит из двух проводов, расположенных параллельно друг к другу на близком расстоянии. На одном конце системы имеется виток связи  $L_1$ . Вдоль проводов распространяются волны, излучаемые генератором, которые индуцируют в проводах, меняющиеся от точки к точке. Скорость распространения волн  $C = 3 \cdot 10^8$  м/сек. Электромагнитные волны, доходя до конца проводов, образующих лехерову систему, отражаются назад и взаимодействуют с прямыми волнами, идущими от генератора. Образуются стоячие волны. перемещая мостик «С» из прямолинейного короткого провода, с включенными в него индикатором (лампочкой) можно отметить узлы и пучности напряжения. В местах узлов гаснут. Измеряя расстояние  $\ell$  между соседними пучностями, определяют частоту

$$\nu = \frac{C_0}{\lambda} \quad \text{или} \quad \nu = \frac{C_0}{2\ell}.$$

Процесс выполнения работы сводится к следующему:

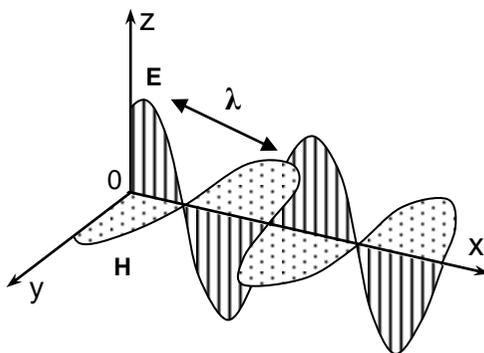
1. Включить в сеть УИП (универсальный источник питания). Необходимо чтобы регулятор напряжения УИП а был в крайнем левом положения.

2. По истечении 2-3 минут регулятором напряжения на УИП е подают на генератор напряжения порядка 250- 300в, режим генератора устанавливается и в проводах лехеровой системы образуются стоячие волны.

3. Перемещая мостик с лампочкой (Д) вдоль проводов, отмечают положение 2-3-х пучностей и затем, замеряя с помощью масштабной линейке расстояние между отмеченными точками, находят  $\ell = \lambda/2$  отсюда  $\lambda = 2\ell$ .

4. Продельывают пять измерений и находят среднее значение  $\lambda_{\text{ср}}$ .

5. Зная  $\lambda_{\text{ср}}$ , находят частоту  $\nu$ . Полученные данные записывают в таблицу.



№п/п	$\ell$	$\lambda$	$\lambda_{\text{ср}}$	$\nu = \frac{C_0}{\lambda}$	%, ошибки
1					
2					
3					
4					
5					

После окончания работы необходимо регулятор напряжения повернуть влево до отказа, затем выключить источник питания и вынуть вилку из розетки.

### **Контрольные вопросы**

1. Как образуется электромагнитная волна?
2. Что такое закрытый колебательный контур? Как он работает?
3. Как перейти от закрытого колебательного контура к открытому?
4. Что такое стоячая волна, когда она возникает?
5. Что такое узел и пучность стоячей волны?
6. Как можно получить затухающие электромагнитные колебания?
7. Выведите формулу Томсона.
8. Как работает замкнутая и разомкнутая система Лехера?

### **Снятие петли гистерезиса**

Лаб. раб. № 17

Краткая теория: Магнитные свойства вещества широко и всесторонне используются в современном производстве. Достаточно оказать, что действие всех электрических генераторов и электродвигателей, радио, телефона, радиоприёмников и телевизоров основано на использование магнитных свойств вещества. Поэтому изучение их представляет определённый интерес.

### **Классификация магнетиков и их свойства.**

Магнитные поля можно характеризовать величиной напряженности  $H$  или индукции  $B$  между которыми существует

простое соотношение.  $B = \mu_0 \mu H$ , (1), где  $\mu_0$  - магнитная постоянная,  $\mu$  - относительная магнитная проницаемость среды (вещества). Все вещества испытывают определённое воздействие со стороны магнитного поля. Магнитные свойства вещества характеризуются магнитной проницаемостью  $\mu$ , магнитной восприимчивостью  $\chi$  и намагничённостью  $P$  определяющим магнитный момент единицы объема вещества. Вне слишком сильных полей зависимость намагничённости  $P$  от напряжённости магнитного поля  $H$  можно считать практически линейной.  $P = \chi H$ , (2).

Коэффициент  $\chi = P/H$  носит название магнитной восприимчивости вещества. Она характеризует способность тел к намагничиванию. Напомним, что  $B = \mu_0(H+P)$ , (3). Принимая во внимание равенство (1) и (2), видим, что относительная магнитная проницаемость и магнитная восприимчивость  $\mu$  связаны (в системе СИ) простым соотношением:  $\mu = 1 + \chi$ , (4). По их отношению к магнитному полю вещества можно разделить на 3 группы:

1. Диамагнитные вещества (диамагнетики). Диамагнетиками называются вещества, у которых атомы в отсутствие внешнего магнитного поля не обладают магнитным моментом. К ним относятся газы (гелий, аргон и т.д.) углерод, азот, медь и др. Диамагнетики испытывают относительно слабые воздействия со стороны магнитного поля, причём они выталкиваются из областей сильного магнитного поля, отталкиваются от магнитных полюсов. Диамагнетизм, есть свойство, присущее всем телам, т.к. оно обусловлено действием внешнего магнитного поля, на электронные орбиты в атомах и молекулах. Упрощенно можно считать, что внешнее магнитное поле изменяет скорость движения электронов по орбитам. Изменение скорости электронов сопровождается появлением магнитного поля, направленного против внешнего поля и ослабляющего его (по закону Ленца, для индукционных токов). Диамагнитный эффект не зависит от температуры. Для диамагнетиков  $\mu < 1$  и  $\chi < 0$  (намагничённость  $P$  против поля  $H$ ).

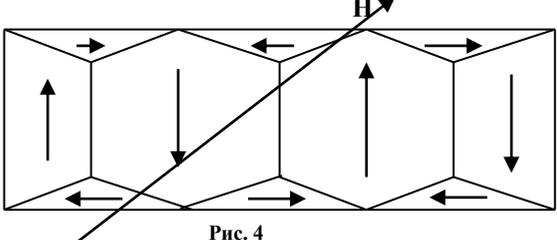
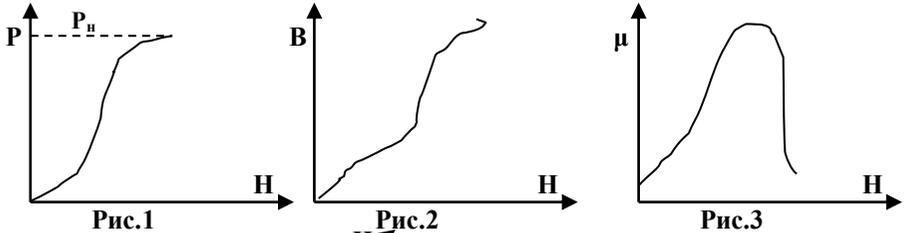
2. Парамагнитные вещества (парамагнетики). Парамагнетиками называются вещества, у которых атомы или молекулы в отсутствие внешнего поля имеют некоторый магнитный момент  $\vec{P}$ . К ним относятся: литий, магний, алюминий, кислород и др. Парамагнетики так же испытывают относительно слабые (но перекрывающие диамагнитный эффект) воздействия со стороны магнитного поля. Но в отличие от диамагнетиков парамагнетики втягиваются в область более

сильного поля, притягиваются к магнитным полюсам. В намагниченном веществе магнитные моменты беспорядочно ориентированы вследствие хаотического теплового движения. Поэтому магнитные поля их, полагаясь одно на другое, в среднем взаимно компенсируются, так что микроскопически наблюдаемая напряженность магнитного поля оказывается равной нулю. Процесс намагничивания сводится к тому, что ориентируется по полю вопреки тепловому движению. Если напряженность поля столь велика, что оси магнитных моментов почти полностью устанавливаются в его направлении, то говорят, что имеет место магнитное насыщение. Насыщение парамагнетиков легче достигается при низких температурах, когда дезориентирующие действие теплового движения весьма слабое. Для парамагнетиков  $\mu > 1$  и  $\chi > 0$  (намагниченность  $P$  по полю  $H$ ). Величина восприимчивости парамагнитных веществ очень мала ( $10^{-3} \div 10^{-6}$ ), причём у диамагнитных веществ она отрицательна ( $\chi < 0$ ).

3. Ферромагнитные вещества (ферромагнетики). Особый класс магнетиков образуют вещества, которые могут подвергаться сильному воздействию внешнего магнитного поля и способны обладать намагничением даже в отсутствии последнего. Они называются ферромагнетиками. К их числу принадлежат условно, никель, кобальт, их сплавы и соединения. В последнее время большую роль стали играть ферромагнитные полупроводники, называемые ферритами. Ферромагнетики являются сильномагнитными веществами - их намагничение в огромное число раз (до  $10^{10}$ ) превосходит намагничение диа и парамагнетиков, принадлежит к категории слабомагнитных веществ изменяется с напряженностью поля  $H$  линейно. Намагничение ферромагнетиков  $P$  зависит от  $H$  сложным образом. Уже в полях порядка несколько сот А/м намагничение  $P$  достигает насыщения  $P_n$ . Ход кривой намагничения  $P=f(H)$  ферромагнетиков приведён на рис. 1. На рис. 2,3 показаны соответственно зависимости  $B=f(H)$  и  $\mu=f(H)$  для ферромагнетиков. Нелинейная зависимость между  $H$  и  $B$  обусловлена тем, что магнитная проницаемость ферромагнетиков  $\mu$  зависит от напряженности магнитного поля  $H$  (рис.3). Для некоторых веществ  $\mu$  может достигать значения  $10^5$  и более. Вначале с увеличением  $H$  растёт  $\mu$ , достигает максимума и затем падает, приближаясь к значению  $\mu=1$  при больших полях. Теория ферромагнетизма была создана Я.И. Френкелем и В. Гейзенбергом в 1928 г. Опыты показали, что ответственные за магнитные свойства ферромагнетиков являются

собственные (спиновые) магнитные моменты электронов. При определённых условиях в кристаллах могут возникать силы, которые заставляют магнитные моменты электронов

При определённых условиях в кристаллах могут возникать силы, которые заставляют магнитные моменты электронов выстраиваться



параллельно друг другу. Эти, так называемые «обменные силы» (их объяснение даётся только квантовой механикой) образуют большие группы атомов с одинаково

ориентированными спинами, местоположение каждой такой группы представляет собой область самопроизвольного (или спонтанного) намагничивания. По современным представлениям, весь ферромагнетик образует как бы мозаику составленную из таких отдельных микроскопических областей /«доменов»/. В пределах каждой такой области спиновые магнитные моменты ориентированы одинаково, т.е. домены намагничены всегда до насыщения. Однако при отсутствии внешнего магнитного поля весь ферромагнетик может и не обнаруживать намагниченности вследствие того, что области спонтанного намагничивания противоположенного направления чередуются друг с другом (рис.4). Такое расположение соответствует минимум свободной энергии кристалла, т.е. состоянию устойчивого равновесия. Внешнее поле ориентирует не отдельные молекулы, а области самопроизвольного намагничивания- домена и, таким образом, может вызвать сильное намагничение ферромагнетика вплоть до насыщения.

Опыт показывает, что ферромагнитные свойства зависят от температуры. Для всякого ферромагнетика существует такая температура. Для всякого ферромагнетика существует такая температура  $T=0$ , при которой его ферромагнитные свойства пропадают. При этой температуре энергия теплового движения атомов и молекул становится достаточной для разрушения областей самопроизвольной намагниченности. Эта температура называется точкой Кюри. При  $T>0$ , ферромагнетика ведёт себя как обычное парамагнитное вещество. Так например, для железа точка Кюри лежит около  $750^{\circ}\text{C}$  для никеля  $350^{\circ}\text{C}$ , для кобальта  $1150^{\circ}\text{C}$ . Описанный механизм намагничивания и перемагничивания ферромагнетиков приводит к явлению гистерезиса. Гистерезисом называется явление отставания магнитного состояния ( $B$ ) ферромагнетиков от намагничивающего поля ( $H$ ).

Если после получения основной кривой намагничивания (участок 0-1, рис.5) уменьшить постепенно значение магнитного поля, то кривая намагниченности (участок 1-2) не будет совпадать с основной кривой. Поэтому для одних и тех же значений напряженности магнитного  $H$  получаются различные значения вектора магнитной индукции  $B$ .

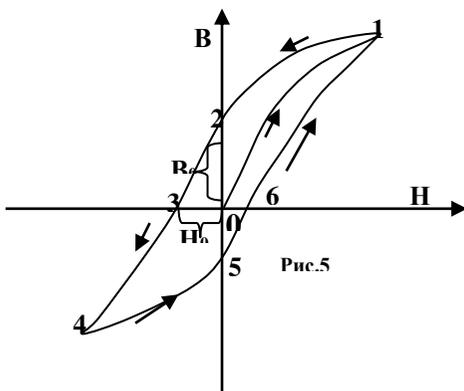


Рис.5

В следствии гистерезиса даже при сведении к нулю напряженности намагничивающего поля  $H$ , намагничение не исчезает. Величина  $B_0$  (отрезок 0-2) на графике намагничения- называется остаточным магнетизмом. Исходя с этого момента опыта, увеличивать поле, но уже в другом направлении, то величина намагниченности будет уменьшаться, и при некотором значении поля  $H$  (отрезок 0-3) она будет равна нулю. Значение напряженности магнитного поля  $H$  называется коэрцитивной (удерживающей) силой. Дальнейшее увеличение напряженности обратного поля увеличивает индукцию  $B$  (участок 3-4).Пройдя полный цикл изменения индукции от  $+B_m$  до  $-B_m$  и обратно, т.е. перемагничивая образец, мы получим замкнутую кривую (1-2-3-4-5-6-1), которая называется петлей гистерезиса. Если

перемагничивать образец, не доводя его до насыщения, можно получить семейство петель гистерезиса. Такое перемагничивание связано с переориентацией магнитных моментов, доменов и приводит к усилению теплового движения.

Это значит, что часть работы, затрачиваемой на переориентацию доменов, превращается в теплоту, вследствие чего при перемагничивании наблюдается нагревание вещества. Эта работа совершается силами магнитного поля за счёт его энергии. Опыт показывает, что количество тепла, выделяющего при перемагничивании за полный цикл, измеряется площадью петли гистерезиса. Различные ферромагнитные вещества дают различные

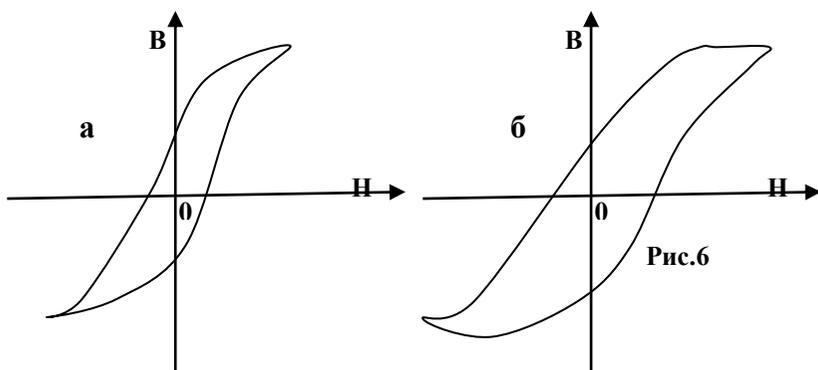


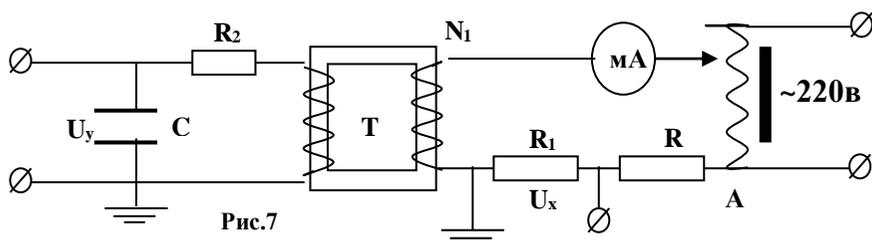
Рис.6

кривые гистерезиса. Для технических применений требуются различный тип гистерезиса. Принято различать «мягкие» магнитные материалы, характеризуемые малой коэрцитивной силой и «жесткие», характеризуемые большой коэрцитивной силой. К числу первых принадлежит чистое железо, кремниевая сталь, сплавы железа с никелем, (особенно сплав «пермаллой», содержащий 78% Ni); такого рода материалы употребляются, например, для изготовления сердечников трансформатора. К числу «жестких» магнитных материалов относятся углеродистые и специальные стали (например, сплав «магнико»). «Жесткие» материалы употребляются для изготовления постоянных магнитов. На рис.6 приведены типичные кривые гистерезиса для «мягкого» (а) и «жесткого» (б) материала

## Экспериментальная установка и измерения

Петлю гистерезиса нетрудно получить на экране осциллографа, если ферромагнетик поместить в магнитное поле, создаваемое переменным током. На горизонтально отклоняющие пластины (вход X) подают напряжение  $U_x$  - пропорциональное  $H$ , и на вертикально отклоняющие (вход Y)  $U_y$ , пропорциональное  $B$ .

Принципиальная схема установки проведена на рис.7. Исследуемые ферромагнетиками является сердечник тороида  $T$ . Первичная обмотка тороида питается переменным током  $I_1$  от лабораторного автотрансформатора (латра)  $A$ . Напряженность магнитного поля внутри полого тороида равна  $H=n_1U$ , (5), где  $n_1$ -число витков на единицу длины (1м). Тогда напряжение на горизонтально отклоняющих пластинах  $U_x = I_1 R_1 = \frac{R_1}{n_1} H$ , (6) т.е.



пропорционально  $H$ .

Во вторичной обмотке тороида источником тока  $I$  является Э.Д.С. индукции  $E$ ,  $E = -\frac{d\phi}{dt}$ , (7), где  $\phi$ - полный магнитный поток, сцепленный со вторичной обмоткой.

Если  $S$  - площадь, схватываемая одним витком, а  $N_2$ - число витков, тогда  $\phi=BSN_2$ , (8),  $E=-SN_2 \frac{dB}{dt}$ , (9).

Напиши закон Ома для вторичной цепи, пренебрегая самоиндукцией вторичной обмотки  $E=U_c+IR_2$ , (10), где  $U_c$ -

напряжение конденсатора, равное  $U_c = U_y = \frac{q}{c} = \frac{1}{c} \int Idt$ , (11), где  $c$ -

ёмкость,  $q$ - заряд конденсатора. Если  $R_2$  велико ( $R_2=10^3$  ом), то первым

членом справа в формуле (10) можно пренебречь поскольку  $U_c \ll IR_2$ .

$$E = IR_2 = -SN_2 \frac{dB}{dt}, \quad (12) \text{ откуда } I = \frac{N_2 S}{R_2} \frac{dB}{dt}, \quad (13).$$

Подставляя значение  $I$  в выражение (I D), получим:  $U_c = \frac{1}{C} \int \frac{N_2 S}{R_2} \frac{dB}{dt} dT = -\frac{N_2 S}{R_2 C} \int dB = -\frac{N_2 SB}{R_2 C}$ , (14), т.е.

напряжение подаваемое на вертикально отклоняющие пластины осциллографа, пропорционально  $B$ . В результате на одни пластины подаётся напряжение, пропорциональное  $H$ , а на другое пропорциональное  $B$ . На экране получается петля гистерезиса  $B=f(H)$ . За один период синусоидального изменения тока луч на экране опишет полную петлю гистерезиса, а за каждый последующий период в точности её повторит. Поэтому на экране будет видна неподвижная петля гистерезиса. Увеличивая автотрансформатор напряжение  $U_x$ , мы будем увеличивать амплитуду колебаний  $H$  и получать на экране последовательно ряд различных по своей площади петель гистерезиса. Верхняя точка петли гистерезиса находится на кривой намагничивания.

### ЗАДАНИЕ

Упражнение 1. Наблюдатель на экране осциллографа семейство петель гистерезиса.

Упражнение 2. Снять кривую намагничивания сердечника тороида.

Упражнение 3. Оценить порядок величины коэрцитивной силы  $H$  материала сердечника.

### Порядок выполнения работы.

#### Упражнение I.

1. Включить тумблер «сеть» осциллографа и дать ему, прогреться 2-3 мин.

2. Поставить ручку ЛАТР а в крайне левое положение.

3. Включить тумблер «сеть» на панели

4. Медленно вращая ручку ЛАТР а, увеличивать ток в первичной обмотке не допуская закаливания стрелки миллиамперметра. Одновременно наблюдать петлю гистерезиса и её изменение на экране осциллографа.

5. Зарисовать на кальку с экрана петлю гистерезиса (с максимальной площадью).

#### Примечание.

Размер петли гистерезиса на экране можно отрегулировать руками осциллографа «Усиление по вертикали» и «усиление по горизонтали».

6. Поставить ручку ЛАТР а в крайнее левое положение.

### Упражнение II.

1. Приложить к экрану осциллографа кусочек кальки и написать по горизонтальной оси буква «X» и по вертикальной оси буква «У».

2. Прodelать упражнение I, отмечая точками положение верхней точки петель гистерезиса.

3. Полученные точки соединить плавной кривой.

### Упражнение III.

Для измерения переменного тока I, используется миллиамперметр постоянного тока с диодом. Намагничивающее поле Н/в каждом направлении определяется амплитудой  $I_{01}$  переменного тока.

В нашем случае  $I_{01} = 15 I$ , (15), где I- показание прибора.

1. Получить на экране возможно большую/ допускаемую шкалой миллиамперметра (петлю гистерезиса).

2. По сетке на экране определить число делений  $K_1$ , занимаемых отрезком 0-6 петли (рис.5). Отрезок 0-6 – это коэрцитивная сила  $H_0$ , которая создаётся током  $I_k$ .

3. Определить число делений  $K_2$ , занимаемых проекцией на ось X отрезка 0-1 (рис.5). Проекция отрезка 0-1 соответствует ток  $I_{01}$ .

Тогда  $\frac{I_k}{I_{01}} = \frac{K_1}{K_2}$  и  $I_k = I_{01} \frac{K_1}{K_2}$ , (16).

4. УчИтывая равенство (15) определить ток  $I_k = 15 \frac{K_1}{K_2} I$ , (17).

УчИтывая, что  $n_1 = \frac{N_1}{\pi D}$  и равенство (17), получим

$H_0 = 15 \frac{K_1}{K_2} I \frac{N_1}{\pi D}$ , (19), где  $n_1$ - число витков на единицу длины

первичной обмотки тороида,  $N_1$ -общее число витков первичной обмотки. D- средний диаметр тороида.

Применение: Тороид имеет следующие данные:

1. Общее число витков первичной обмотки,  $N_1=100$ .

2. Общее число витков вторичной обмотки,  $N_2=350$ .

3. Средний диаметр тороида D=45мм.

Представить преподавателю график петли гистерезиса ,кривой намагничивания и вычисленное значение коэрцитивной силы  $H_0$ .

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Дайте характеристику диа, пара и ферромагнетиков
2. Отличие ферромагнетиков от диа и парамагнетиков. Точка Кюри
3. Что такое гистерезис, остаточный магнетизм и коэрцитивная сила?
4. Что характеризует собой площадь петли гистерезиса?
5. Что такое магнитомягкие и магнито жесткие материалы?
6. Объясните принцип получения петли гистерезиса на экране осциллографа
7. Начертите схему установки.

### Определение частоты колебаний с помощью фигур Лиссажу осциллографическим методом.

Лаб. раб. №18

#### Краткая теория.

Рассмотрим результат сложения двух гармонических колебаний одинаковой частоты  $\omega$ , происходящих вдоль осей  $x$  и  $y$ . Для простоты начало отсчета выберем так, чтобы начальная фаза первого колебания была равна нулю:

$$x = A \cos \omega t,$$

$y = B \cos (\omega t + \varphi)$ . (1). Разность фаз обоих колебаний равна  $\varphi$ ,  $A$  и  $B$  - Амплитуды складываемых колебаний.

Уравнение траектории результирующего колебания находится исключением из выражений (1) параметра  $t$ . Записывая складываемые колебания в виде  $x/A = \cos \omega t$ ;  $y/B = \cos (\omega t + \varphi) = \cos \omega t \cos \varphi - \sin \omega t \sin \varphi$  и заменяя во втором уравнении  $\cos \omega t$  на  $x/A$  и  $\sin \omega t$  на  $\sqrt{1 - (x/A)^2}$ , получим после несложных преобразований уравнение эллипса, оси которого ориентированы относительно координатных осей

произвольно:  $\frac{x^2}{A^2} - \frac{2xy}{AB} \cos \varphi + \frac{y^2}{B^2} = \sin^2 \varphi$ , (2). Так как траектория

результирующего колебания имеет форму эллипса, то такие колебания называются эллиптически поляризованными.

Ориентация осей эллипса и его размеры зависят от амплитуд складываемых колебаний и разности фаз  $\varphi$ . При других отношениях частоты и разности фаз получаем геометрические фигуры разного вида.

В общем случае в результате сложения получается кривые сложной формы, называемые фигуры Лиссажу, по общему виду которых можно определить частоту исследуемого напряжения.

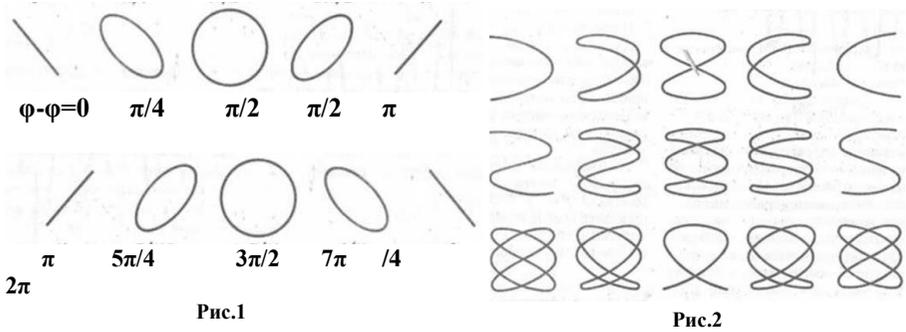


Рис.1

Рис.2

Для определения частоты неизвестного гармонического колебания часто используется метод фигур Лиссажу, который заключается следующим. Исследуемое колебание складывается в взаимно перпендикулярным ему колебанием известной частоты.

Траектории движения точки, получающийся в результате сложения двух взаимно перпендикулярных колебаний одинакового периода и одинаковой амплитуды ( $A_1=A_2$ ) при различных разностях фаз, представлены на рис. 1. При сложении двух взаимно перпендикулярных колебаний с разными периодами получают траектории более сложного вида, которые носят название фигур Лиссажу (рис. 2)

Фигуры Лиссажу при отношении частот 1:1, 1:2, 2:3, изображены через  $45^\circ$  сдвига фаз.

### Экспериментальная установка и измерения.

Универсальный электронный прибор; на экране которого можно получить графики (осциллограммы) взаимной зависимости различных величин и процессов, а также производить разного рода измерения называется электронным осциллографом.

Работа электронного осциллографа основана на использовании электронно-лучевой трубки

Если частота одного из колебаний известна, то по виду фигур Лиссажу можно определить частоту другого. Такое сравнение частот можно проделать осциллографическим методом, подавая на горизонтально отклоняющиеся пластины напряжение с известной частотой  $\nu_0 = 50$  гц а на вертикально - отклоняющие пластинки исследуемое напряжение с частотой  $\nu_x$ . Соответствует следующее правило для нахождения частот. Проводят через данную фигуру две произвольны взаимно перпендикулярные прямые АВ и СД, параллельные осям Х и У (рис. 3).

Подсчитывают число точек пересечения кривой с прямой и прямой АВ( $\nu_x$ ) и с прямой CD( $\nu_y$ ). Если известна частота  $\nu$ . В данной случае

$$\nu_x=3 \text{ и } \nu_y=1, \text{ т.е. } \frac{\nu_y}{\nu_x} = \frac{3}{1}.$$

В случае, когда прямая проходит через точку пересечения ветвей кривой, при подсчета ее считают дважды(такая точка соответствует кратным корням).

### Измерения.

Задача заключается в градуировке звукового генератора по фигурам Лиссажу.

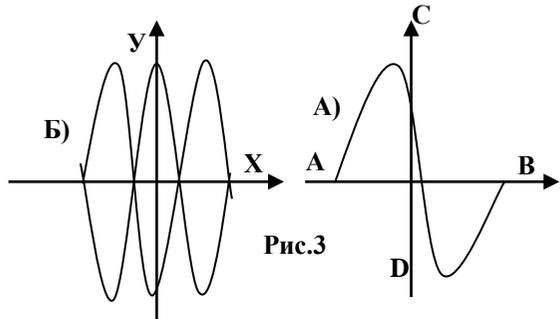


Рис.3

1. Сабмируют схему в соответствии рис.4.

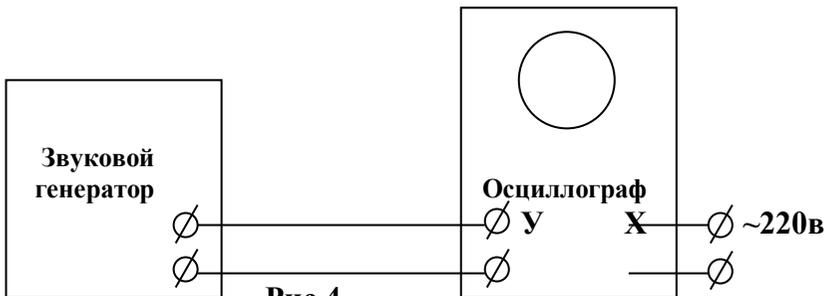


Рис.4

2. Выключает генератор развертки осциллографа (рукоятка «диапазон чисто» в положение выкл.) и устанавливают рукоятки усиления по осям  $x$  и  $y$  на нуль. Рукоятка звукового генератора «амплитуда» также устанавливается на «0».

3. Включают в сеть звуковой генератор, осциллограф и трансформатор координатной сетки.

4. Вращая рукоятку «усиление по оси  $x$ », добиваются горизонтальной полоски на экране в  $\frac{1}{2}$  шкалы.

5. Вращением рукоятки звукового генератора «амплитуда» добиваются появления на экране фигур Лиссажу.

6. Вращая регулятор частоты звукового генератора, добиваются появления устойчивой фигуры.

7. Определяют число точек пересечения кривой с осями  $x$  ( $v_x$ ) и ( $v_y$ ) и по формуле  $v_y = \frac{n_x}{n_y} v_x$  вычисляют частоту  $v_{1y}$  при данном

делении шкалы  $N_1$  регулятора частоты ( $v_x=50$  гц.).

8. Изменяя частоту звукового генератора, добиваются новой устойчивой фигуры и находят  $v_{2y}$ . Фиксируют деление шкалы. Измерения продолжают для восьми фигур Лиссажу в соответствии с рис.4.

9. По полученным данным строят график зависимости  $v_y = f(N)$ .

В работе используется электронный осциллограф и звуковой генератор, который представляет собой источник электрических синусоидальных колебаний звуковой частоты от 20 до 20.000 гц.

### Контрольные вопросы

1. Каково название электронного осциллографа?
2. Объяснить принцип действия и устройства электроннолучевой трубки.
3. Каково назначение генератора развертки?
4. Какие фигуры возникают в результате сложение двух взаимно перпендикулярных колебаний с одинаковыми частотами?
5. В чем состоит метод фигур Лиссажу, применяемый для определения частоты колебаний?

## Определение фокусной расстояния линзы

Лаб. Раб. № 19

*Приборы и принадлежности: оптическая скамья(рельс), двояковыпуклой линза, осветитель и линейка.*

Установки работы состоит из источника света, линзы и рельс. В коробке установлена лампочки она освещает стрелки. Источник света, стрелка-предмет, линза и экран устанавливается на рельс одинаковой высоты, т.е. на одной оптической ось.

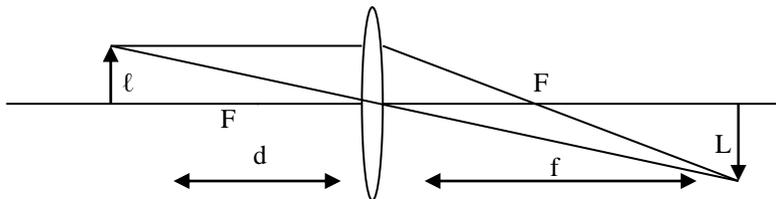
Расстояние между деталями установки измеряется по шкале находящейся под рельсом. Определим фокусной расстояние двояковыпуклой линзы.

**Упражнение-1.** Определение фокусное расстояние линзы по измерениям расстояние от линзы до предмета и от линзы до изображения.

Обозначим расстояние от линзы до предмета через-  $d$ , а расстояние от линзы до изображения-  $f$  и фокусное расстояние линзы через-  $F$ . Тогда, фокусное расстояние линзы определяется по формуле:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}, \quad (1) \quad \text{и} \quad F = \frac{df}{d + f}, \quad (2).$$

Одну сторону оптической скамье устанавливаем, экран с известной масштаб, а в другую сторону стрелки- предмет, между



ними устанавливаем линзы. Чтобы получить чёткого изображения предмета-стрелки на экране необходимо продвигает линзы по рельсу. После получение четкого изображения предмета на экране, запишем значениям расстояний  $d$  и  $f$ . Вставляя значения  $d$  и  $f$  в формуле (2) определим фокусное расстояние линзы. Опыт несколько раз повторяется, и находят средние значения.

**Упражнение -2.** Определение фокусной расстояние линзы по измерения расстояние от предмета до линзы( $d$ ) и от линзы до его изображения( $f$ )и по отношение линейных размеров предмета ( $\ell$ ) и изображения ( $L$ ).

Обозначим размер предмета-  $\ell$ , величина изображения-  $L$  и расстояние от линзы до предмета  $d$ . Их взаимосвязь даётся на следующей формуле:

$$\frac{d}{f} = \frac{\ell}{L} \quad \text{отсюда} \quad d = f \frac{\ell}{L}.$$

Подставляя значение  $d$  в формуле (1) получим следующую формулу для определения фокусное расстояние линзы:

$$F = f \frac{\ell}{\ell + L} \quad (3)$$

Устанавливаем линзы между предметом и экран, продвигая линзы по рельсу, получим на экране увеличенное изображение предмета. Измерим с помощью линейке высота предмета и изображении. Расстояние между линзой и его изображением можно измерять с помощью линейки. Полученные значение подставляем в формуле (3) и получим фокусное расстояние линзы.

Опыт повторяется не менее 3-х раз, и получают среднее значение.

**Упражнение-3.** Определение фокусное расстояния линзы по ее двух положениям.

Если расстояние между линзой и ее изображениям превышает более четырёх раза его фокусное расстояние, т.е.  $4F$ , то мы получим в одном положение линзы на экране увеличенное(I) изображение предмета, а в другом положение уменьшенное(II) изображении(1-рис.).

Для первого положение линзы пишем

$$F = \frac{(A-l-x)(x+l)}{A} \quad \text{для} \quad \text{второго} \quad \text{положение} \quad \text{получим}$$

$$F = \frac{(A-x)x}{A}. \quad \text{Приравняв правую сторону формуле, пишем} \quad x = \frac{A-l}{2},$$

здесь,  $x$  расстояние от уменьшенного изображения до линзы. значение

$x$  запишем через  $A-l-x$  и получим,  $A-l-x = \frac{A-l}{2}$ . Таким образом, в

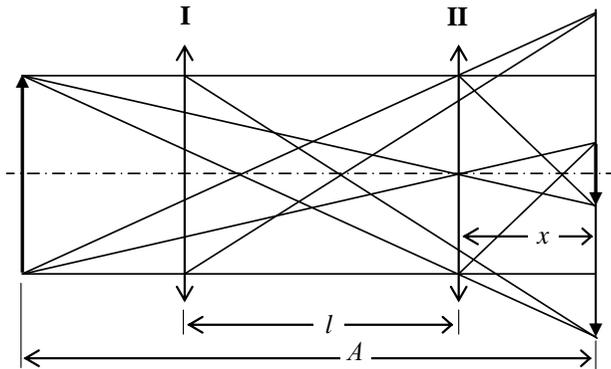
обоих положениях линзы т.е. расстояние от предмета до линзы и от

изображения до линзы одинаковы. Положение линзы относительно центра будет симметричным.

Рассмотрим методики определения фокусного расстояния линзы, для чего измерим расстояние от предмета до линзы для данного положения и она равно  $d = \frac{A-l}{2}$ , а расстояние от линзы до

изображение  $f = \frac{A+l}{2}$ . Подставляя значение  $d$  и  $f$

получим  $F = \frac{A^2 - l^2}{4A}$ , (4).



1-рasm.

Пусть предмет и экран находится на расстоянии  $A > 4F$ , между предметом и экран устанавливается линза. Сдвигая линзу, получаем на экране увеличенное изображение предмета при этом фиксируется положение линзы, далее таким же способом получает уменьшенное изображение предмета, измеряют расстояние между двух состоянии линзы(на рисунке-). Подставляя полученное значение, получим  $F$ . Опыт повторяется несколько раз.

### Контрольные вопросы.

1. Формуле тонкой линзы (преломление сферической поверхности)
2. Недостатки линзы.
3. Построение изображение в линзе.
4. Ход и цель работы.
5. Вывод формуле (4).

# Изучение законов освещенности с помощью фотоэлемента

Лаб. раб. № 20

*Приборы и принадлежности: прибор для изучения законов освещенности, источник света, линзы и гальванометр.*

## Теоретическая часть

Фотометрией называется отдел физики, занимающейся измерением светового потока и количественными характеристиками других световых величин.

Источниками лучистой энергии могут служить накаливаемые тела, флюоресцирующие вещества или разряженные газы в электрическом поле. В зависимости от характера поставленной задачи на практике выбирается, если размеры источника света малы по сравнению с расстоянием, на котором наблюдается его действие. В этом случае источник посылает световой поток равномерно во все стороны, и поверхность распространяющейся от него волны можно считать сферической.

Источник света, удовлетворяющий указанным требованиям, называется точечным.

Для характеристики видимого излучения в фотометрии вводятся понятия светового потока, сила света, освещенности, светимости и яркости.

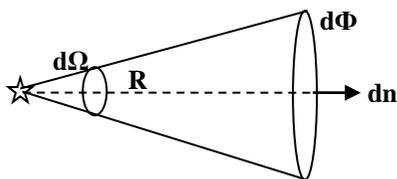
Количество энергии, излучаемой каким-либо источником света в единицу времени и по всем направлениям, называется полным

световым потоком источника –  $\Phi$ ,  $\Phi = \frac{W}{t}$  (люмен).

Для более полной характеристики источника света недостаточно знать только величину полного светового потока, испускаемого этим источником по всем направлениям. Нужно знать также величину светового потока по выбранному направлению. Для этого в фотометрии вводятся сила света. За физическую величину, называемую силой света, принимается величина, численно равная световому потоку, приходящемуся на единицу телесного угла в данном направлении.

$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$ , люмен/стерадиан  
(кандела).

Сила света точечного источника  $I = \frac{d\Phi}{4}$ , так как



полный телесный угол равен 4 стерадианам.

Для объективной оценки освещения в фотометрии введена величина освещенности. Освещенностью называется величина светового потока, приходящегося на единицу площади освещенной поверхности.  $E = \frac{d\Phi}{dS}$ ,  $\frac{\text{люмен}}{\text{м}^2}$  (люкс), где  $dS$ - площадь элемента освещаемой поверхности.

Следовательно,  $E = \frac{Id\Omega}{dS}$ . Если нормаль к поверхности составляет с осью конуса угла  $\alpha$ , а расстояние от источника до площадки –  $R$ , то  $d\Omega = \frac{dS \cos \alpha}{R^2}$ . Тогда:  $E = \frac{I \sin \alpha}{R^2}$ .

Используемые на практике источники света обычно являются протяженным. В этом случае излучение света разными участками поверхности источника может быть различным. Для подобных источников необходимо знать не только силу света по определенным направлениям, но и количество световой энергии, излучаемой с различных участков светящейся поверхности. Чтобы охарактеризовать это свойство источника, пользуется понятием яркости и светимости. Под светимостью понимают физическую величину, численно равную световому потоку, испускаемому единицей поверхности данного источника по всем направлениям. Для равномерно светящейся поверхности  $R = \frac{\Phi}{S^1}$ , где  $S^1$  – площадь равномерно излучаемой поверхности.

Размерность светимости будет совпадать с размерностью освещенности. Различаются эти величины тем, что освещенность характеризует световой поток, падающий от какого-то источника на единицу площади, а светимость определяет световой поток испускаемой с единицы площади поверхности источника света.

Поверхностная яркость есть величина, характеризующая излучение светящейся поверхности по данному направлению. В общем случае для раскаленных твердых тел, яркость выражается следующей формуле:  $V = \frac{R}{\pi}$ , где R-светимость, V-яркость.

Связь между яркостью и освещенности для поверхности, светящейся за счёт падающего на нее излучения, дается следующим образом:  $V = \frac{\kappa E}{\pi}$ , где, V – яркость, E-освещенности и  $\kappa$ - коэффициент рассеивания для данной поверхности. Единицы яркости- **нит** и **стильб**. **Нит** = кандел / см<sup>2</sup>; **стильб** = кандел / м<sup>2</sup>.

### Порядок выполнения работы

1. Собрать установку, клемма гальванометра соединить с клеммами фотоэлемента. Подключить источник света к аккумулятору. Ввести лампочку внутрь прибора, поставить ее на такое расстояние от фотоэлемента, чтобы стрелка гальванометра отклонялось на всю шкалу.

2. Подготовить таблицу 1 записи результатом измерений и, перемещая лампочку вдоль шкалы, отмечать показания гальванометра через каждые 3 см.

Таблица 1

Расстояние	$r_0 = 3$ см.	$r_0 + 3$ см	$r_0 + 6$ см	$r_0 + 9$ см
Показания гальванометра (пропорциональные - E)				

Показать, что

$$E_1 = E_0 = E_1 = E_2 = \dots = \frac{I}{r_0^2} = \frac{I}{(r_0 + 3)^2} = \frac{I}{(r_0 + 6)^2} = \frac{I}{(r_0 + 9)^2} .$$

3. Подготовить таблицу 2.

№	Показания	Показания	$E=E_0 \cos \alpha$
Изме-я	угломера	микроамперметра, $i$	
1.			
2.			
3.			
4.			

4. Определить зависимость освещенности от угла падения лучей. Для этого ставят указатель угломера против нулевого положения и замечают начальное положение гальванометра. Затем, вращая указатель, устанавливают его последовательно на деление  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $75^\circ$  и  $90^\circ$ , и заносят в таблицу соответствующие показания гальванометра. Построить график зависимости  $E=f(\alpha)$  в полярных координатах.

### Контрольные вопросы

1. Цель и ход работы.
2. Фотометрические единицы измерения.
3. Законы освещенности.
4. Явление фотоэлектрический эффект.
5. Формула Эйнштейна для фотоэффекта.

### Определение длины световой волны при помощи дифракционной решетки

Лаб. Раб. № 21

*Приборы и принадлежности: оптическая скамья, дифракционная решетка, электрическая лампочка, набор светофильтров, щель и экран.*

### Теоретическая часть

Известно, что условие света, прошедшего дифракционную решетку, определяется формулой  $d \sin \varphi = k\lambda$  (1), где

$n=0,1,2,3,\dots$ , порядок спектра или линий дифракционной картины,  $d=a+b$  - постоянная или период решетки ( $a$ - ширина препятствие  $b$ - ширина отверстие),  $\lambda$ - длина световой волны и  $\varphi$ - угол между нормалью к дифракционной решетке и направлением луча света, прошедшего через решетку т.е. угол дифракции.

Если смотреть на источник света (щель на экране) сквозь дифракционную решетку, то будем наблюдать кроме светлой щели еще и спектры, или в случае применения светофильтров цветные линия, расположенные примерно на равных расстояниях от щели по обе стороны.

Тангенс угла  $\varphi$ , под которой рассматривается  $i$ - ая цветная линия, определяется по формуле  $tg \varphi_i = \frac{h_i}{\ell}$ , где  $h_i$ - расстояние от щели до первой, второй и т.д. цветной линии,  $n$ - порядковой номер спектра, номер дифракционного максимума, а  $\ell$ - расстояние от экрана до дифракционной решетки.

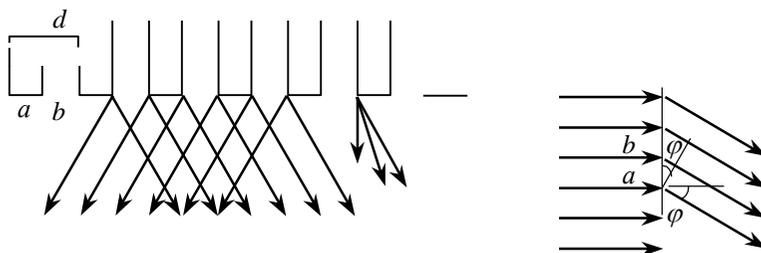


Рис.1

Так как углы малые,  $tg \varphi = \sin \varphi$  и формула (1) имеет вид  $\lambda = \frac{hd}{n\ell}$  (2).

### Порядок выполнения работы

Поместить дифракционную решетку 1 в конце(на нулевом делении) оптической скамье. При этом плоскость дифракционной решетки должна быть направлена перпендикулярно к оптической скамье. На противоположном конце оптической скамьи установить поперек ее экран с щелью и горизонтальной шкалой. На пути лучей построить светофильтр. Позади щель разместить электрической лампы. Лампа, щель и решетка должны находиться на одинаковой уровни, т.е. на одной оптической оси.

Наблюдая сквозь дифракционную решетку, незначительным поворотом последней вокруг вертикальной оси добиться расположения боковых линий дифракционной картины примерно на равных расстояниях от щели. Если цветные линии по отношению к шкале наклонены, то штрихи дифракционной решетки не вертикальны. Поворотом последней на некоторый угол около горизонтальной оси устранить перекося.

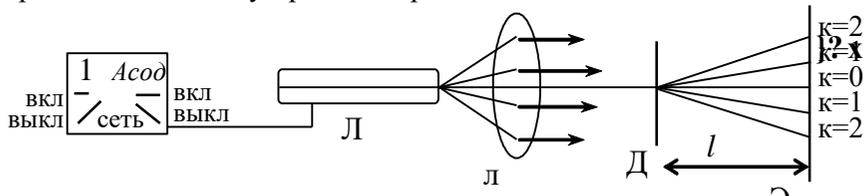


Рис.2

Заметить по шкале расстояние сначала первых линий от щели, а затем и следующих пар линий, обозначив их  $h_n$  по одну сторону от щели, и  $h_n^1$  по другую сторону.

Измерить также расстояние  $\ell$  - от экрана до дифракционной решетки. Аналогичные измерения произвести для других светофильтров. Результаты измерения записать в следующую таблицу:

№ опыта	Порядок спектра, $k$	Постоянная решетки, $d$	Расстояния			
			$h_n$	$h_n^1$	$h$	$\ell$

### Обработка результатов измерений

1. По средним значениям  $h$  для каждого порядка спектра найти длины волн и по ним среднее значение длины волны.
2. Вычислить относительной и абсолютной погрешности и подставить окончательный результат длины волны в метровой единице.

## Контрольные вопросы

1. Дифракция света и ее объяснение волновой природы света.
2. Дифракционная решетка и ее постоянная.
3. Спектральный анализ и ее применение.
4. Дисперсия света. Прохождение света трёхгранной призмы.
5. Цель и ход работы.

## Определение глубины резкости линзы

Лаб. раб. № 22

*Принадлежности:* Источник света, щель, диафрагма металлическая пластинка с отверстиями, линза, экран.

Принцип, положенный в основу данной работы, можно понять из рисунка 1. С помощью линзы  $L$  в точках  $B$  и  $B'$  создаются изображения точек  $A$  и  $A'$ . Рабочая поверхность линзы ограничена диафрагмой диаметра  $d=2r$ . Установив экран на расстоянии  $B$  от  $L$ , получим на нём максимально резкие изображения точек. Если же сместить экран влево на расстояние  $\Delta b_1$ , или вправо на расстояние  $\Delta b_2$ , изображения начнут сливаться. Величины  $\Delta b_1$  и  $\Delta b_2$ , характеризующие глубину резкости, находятся следующим образом:

$$\operatorname{tg}\varphi_1 = \frac{r+q}{b} ; \quad \operatorname{tg}\varphi_2 = \frac{r-q}{b} \quad (1)$$

откуда

$$\Delta b_1 = \frac{q}{\operatorname{tg}\varphi_1} = \frac{qb}{r+q} ; \quad \Delta b_2 = \frac{qb}{r-q} \quad (2)$$

В частности,  $a \rightarrow \infty$  и  $v \rightarrow F$ , получим:

$$\Delta b_1 \approx \Delta b_2 = \frac{qF}{r} \quad (3)$$

Следует, однако, отметить, что при указанных положениях экрана наблюдаемая там картина представляет собой два светлых пятна с

максимумами, расположенными на прямых  $AB$  и  $A'B'$  и тёмным провалом между ними. Согласно критерию Релея, точки на экране будут неразличимы если провал между пиками будет составлять 20% их интенсивности. В общем случае, задача нахождения таких положений экрана, при котором изображения предметов неразличимы, решается достаточно сложно. Если вместо точечных источников используются щели (штрихи), имеющие кометную протяжённость, хорошее согласие экспериментам дают соотношения:

$$\Delta b_1 = \frac{qb}{\alpha r + q}; \quad \Delta b_2 = \frac{qb}{\alpha r - q} \quad (4)$$

где  $\alpha \approx 0,5$ .

Оптическая схема работы приведена на рис. 2.

Осветитель создаёт параллельный пучок света, который проходит через щели пластинки (**щ**).

С помощью линзы **Л** на экране создаётся действительное изображение щелей. Перед **Л** помещается диафрагма **Д**. Оптимальное расположение элементов: осветитель и пластинка со щелями на скамье, который, в свою очередь, отодвинут от большого на расстояние  $\approx 15$  см; расстояния  $a$  и  $b$  одинаковы и равны  $2F_2$  (при этом  $r = q$ ); диафрагма максимально приближена к **Л**.

Работа выполняется в следующем порядке. Пластинка со щелями устанавливается так, что центр диафрагмы попадает блик от пары наиболее близко расположенных щелей. Диафрагма раскрывается на максимум. Кран фиксируется на таком расстоянии **В** от линзы, при котором наблюдается максимально резкое изображение щелей. Измеряется и записывается расстояние  $b$ . Затем кран приближают к **Л** до полного слияния изображения – определяется расстояние  $\Delta b_1$ . Аналогично находится расстояние  $\Delta b_2$ .

Данный опыт повторяется при максимально закрытой диафрагме. Затем диафрагма **Д** заменяется металлической пластикой с отверстиям- **О**. Те же измерения проводятся с четырьмя наиболее крупными отверстиями, диаметры которых считаются известными.

При использовании пластинки **O** размер изображения на расстояниях  $\Delta b_1$ , становится столь малым, что его следует рассматривать через лупу. Строятся зависимости  $\Delta b_1$  и  $\Delta b_2$  от  $r$  и сопоставляются с расчётами по формуле (2) и (4).

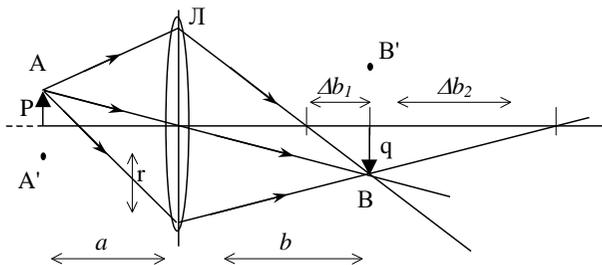


рис. 1

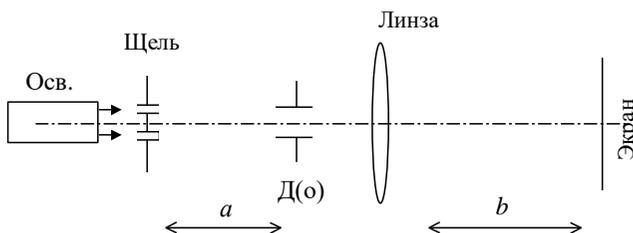


рис. 2.

### Контрольные вопросы

1. Цель и ход работы.
2. Законы распространения света.
3. Вывод формулы линзы.
4. Понятия глубина резкости.
5. Построения изображения в линзах.
6. Построение изображения в зеркалах.

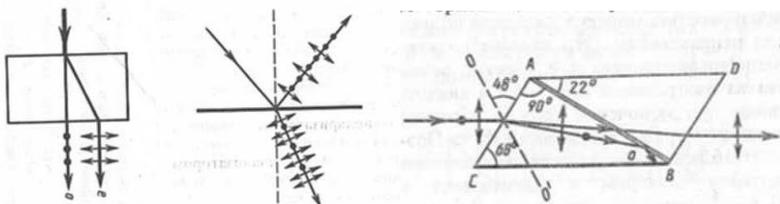
### Определение показателя преломления вещества призмы по углу Брюстера

Лаб. раб. № 23

Принадлежности: Источник света, поляризатор во вращающейся

оправе, призмы, гониометрический столик, диафрагма, экран.

Если естественный свет падает на границу раздела двух диэлектриков (например, воздух и стекла), то часть его отражается, а часть преломляется и распространяется во второй среде. Устанавливая на пути отраженного и преломленного лучей анализатор (например, турмалин), убеждаемся в том, что отраженный и преломленный лучи частично поляризованы: при поворачивании анализатора вокруг лучей интенсивность света периодически усиливается и ослабевает (полного гашения не наблюдается!). дальнейшие исследования показали, что отраженном луче преобладают колебания, перпендикулярные плоскости падения, в преломленном луче преобладают колебания, параллельные плоскости падения. Ниже показано прохождение естественного луча через пластинку турмалин, следующем рисунке показано прохождения света через границе двух диэлектриков(угол Брюстера), а в следующем рисунке прохождение света через призму Никол.

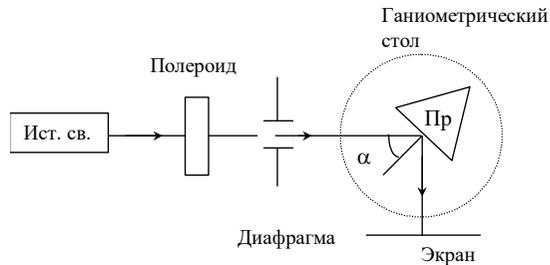


Степень поляризации (степень выделения световых волн с определенной ориентацией электрического (и магнитного) вектора)зависит от угла падения лучей и показателя преломления. Д. Брюстер установил закон, согласно которому при угле падения  $i_B$  (угол Брюстера), определяемого соотношением  $\text{tg } i_B = n_{21}$  ( $n_{21}$ -показатель преломления второй среды относительно первой), отраженный луч является плоскополяризованным. Преломленный же луч при угле падения  $i_B$  поляризуется максимально, но не полностью.

Если свет падает на призму под углом Брюстера, и его, плоскость поляризации совпадает с плоскостью падения, то, как следует из формул Френеля, интенсивность отражённого света должна быть равна нулю. В данной работе плоскость падения является горизонтальной (совпадает с плоскостью рисунка). Первое упражнение состоит в ориентировании плоскости пропускания

поляризатора горизонтально.

Для этого первоначально блик, отражённый от передней грани призмы совмещается с отверстием диафрагмы, и отсчитывается показанию гониометра  $\varphi_1$ . Затем для увеличения светового потока диафрагма открывается на максимум. Далее необходимо повернуть ГС на угол  $\approx 60^\circ$  (относительно  $\varphi_1$ ) и наблюдать на экране блик, отражаемый от передней грани призмы. Освещённость будет наименьшей если падающий луч поляризован в плоскости падения, т.е. горизонтально. Вращая поляризатор, нужно добиться наибольшего поглощения луча на экране.



Выставив горизонтально плоскость пропускания поляроида, необходимо поворотом ГС добиться наименьшей освещённости на экране. Регистрируется угол поворота ГС  $\varphi_2$ . Измерения проводятся несколько раз, результат усредняется. Угол Брюстера будет равен:

$$\varphi_B = (\varphi_2 - \varphi_1) \quad (1)$$

Далее по формуле:  $\text{tg } \varphi_B = n$  (2)

Определяется показатель преломления вещества призмы.

### Контрольные вопросы

1. Цель и ход работы.
2. Вывод формулы  $\text{tg } \varphi_B = n$
3. Естественный и поляризованный свет.
4. Четвертьволновая плёнка и её характеристика.

## 5. Поляризация света на призмы Никол.

### Проверка закона Малюса

Лаб. раб. № 24

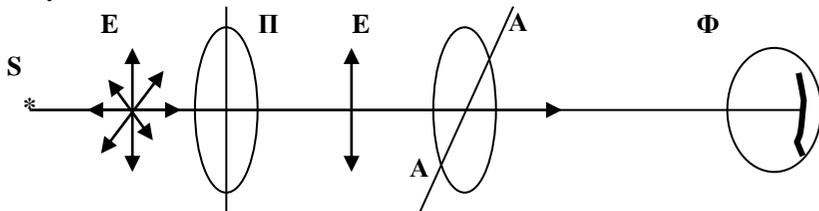
*Принадлежности: поляроиды, источник света, фотоэлемент и гальванометр.*

С помощью специальных поляризационных приспособлений (призма Николя, поляроидов и т.д.) естественный свет может быть превращен в линейно поляризованный. Основное свойство таких приспособлений заключается в том, что они могут пропускать световые волны, электрический вектор напряженности которых колеблется лишь в строго определённых направлениях. Это направление называется главным направлением.

В настоящей работе для получения и исследования линейно поляризованного света применяется поляроиды. Они изготавливаются из очень мелких кристаллов турмалина или геропатита, нанесённых на целлулоидную пленку. Оптические оси всех кристалликов специальным способом ориентируют в одном направлении. Кристаллы геропатита почти полностью поглощают обыкновенный луч.

Таким образом, падающий естественный свет, проходя сквозь поляроид, становится плоско поляризованным.

Рассмотрим установку, состоящую из источника света  $S$ , двух поляроидов  $\Pi$  и  $A$  и фотоэлемента. Пройдя сквозь первый поляроид (поляризатор), свет становится плоско поляризованным. Второй поляроид  $A$  (анализатор) может пропускать только те колебания, которые совпадают с его главным направлением  $AA$ . Если главные направления поляризатора совпадают, то интенсивность проходящего света будет максимальной.



Если же анализатор повернут таким образом, что его главное направление составляет угол  $90^0$  с главным направлением

поляризатора, то интенсивность проходящего света будет равна нулю. Такое положение поляроидов составляют между собой некоторый угол  $\varphi$ , интенсивность проходящего света будет принимать промежуточные значения. Найдем зависимость между интенсивностью  $J$  и углом  $\varphi$ .

Пусть  $E_{\Pi}$  – амплитуда вектора напряженности колебания, пропускаемого поляризатором;  $AA$  – главное направление анализатора. Амплитуду  $E_{\Pi}$  можно разложить на две составляющие  $E_A$  и  $E$ , одна из которых совпадает с главным направлением анализатора. Колебания, перпендикулярные направлению  $AA$ , не проходят через анализатор.

Из следующего рисунка видно, что амплитуда выходящего из анализатора света равна:  $E_A = E_{\Pi} \cos \varphi$ .

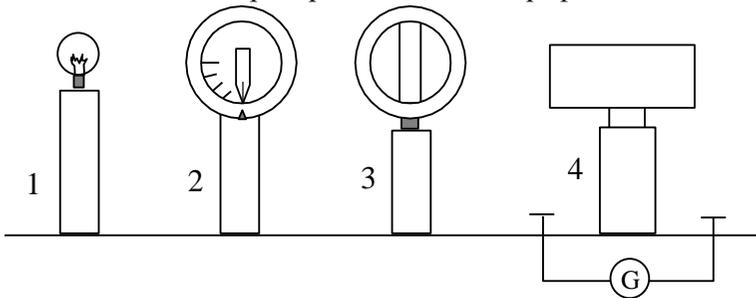
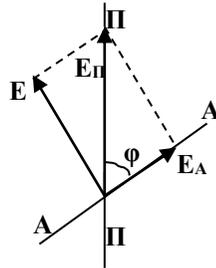
Так как интенсивность пропорциональна квадрату амплитуды, то

$J = J_0 \cos^2 \varphi$  – закон Малюса, где  $J_0$  – интенсивность падающего света.

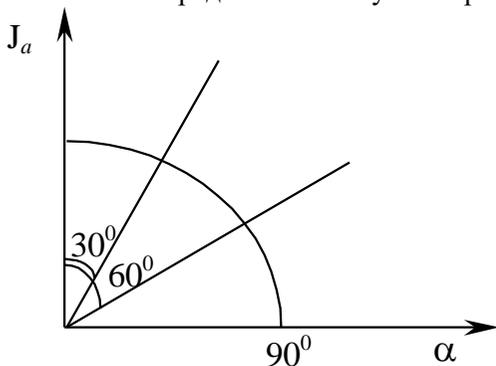
Если  $\cos \varphi = 1$ , то  $J = J_0$ , т.е.  $J_0$  есть интенсивность света в случае совпадения главных направлений поляризатора и анализатора.

Цель работы – проверка закона Малюса.

Рабочая установка приведена на следующем рисунке. 1 – источник света, 2 – поляризатор, 3 – анализатор и 4 – комплект приборов, где находятся для преобразования свет на электрический ток – фотоэлемент, амперметр для снятия ток в цепи. В данной установки, поляризатор вращается вокруг горизонтальной оси, а анализатор находится в стационарном состоянии. Вращая поляризатор по  $15^\circ$  снимает показания амперметр и наносят ее в график.



Если, анализатор приводить во вращения а сигнал от фотоэлемента подавать на вертикально отклоняющие пластины осциллографа, то на экране можно непосредственно получить кривую  $J=J_0\cos^2\varphi$ .



#### Контрольные вопросы

1. Какой свет называется плоско поляризованным?
2. В чём состоит явление двойного лучепреломления?
3. Что такое оптическая ось?
4. Какой свет называется естественным?
5. Цель и ход работы.

### **Изучение вольтамперной характеристики транзистора.**

#### Лаб. раб. № 25

Вещества, по электрической свойств делятся на три группы: проводники, полупроводники и диэлектрики(непроводники).

Известно современные радиотехнике в место электронных ламп используются в основном полупроводниковые диоды и транзисторы. Появление полупроводники дала возможности для уменьшит размеры радиотехнических аппаратур и появление электронно-вычислительных машин.

Полупроводниковые диоды и транзисторы изготавливают на основе химических элементов: кремния, германия, мышьяка и т.д. полупроводники по проводимости делятся на две группы: собственной проводимости и примесний проводимости.

Если в проводимости участвуют электроны, то их называют, электронной, донор или n проводимости, в случае проводимости участвуют положительные «дырки» то такую проводимость называют акцептор или p проводимости.

На рисунках показано **np** полупроводник: при соединении по схеме а) ток не проходит, а при соединении б) ток проходит. Таким образом такой проводник имеет односторонней проводимости.

Попробуем изготавливать проводник из материала из **np** проводимости.

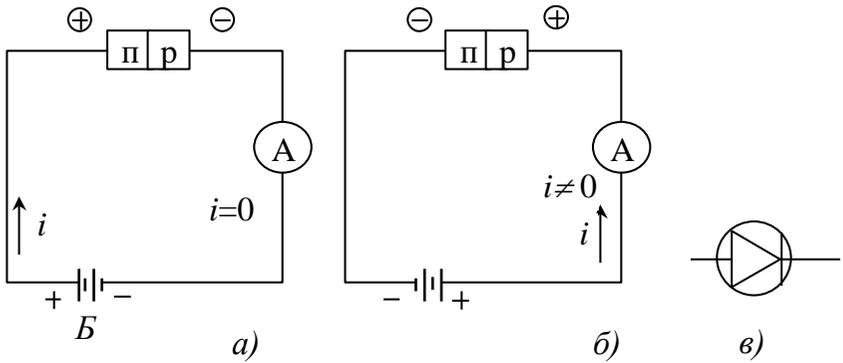


Рис.1

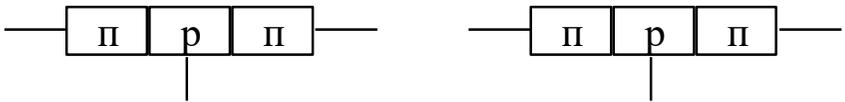


Рис.2

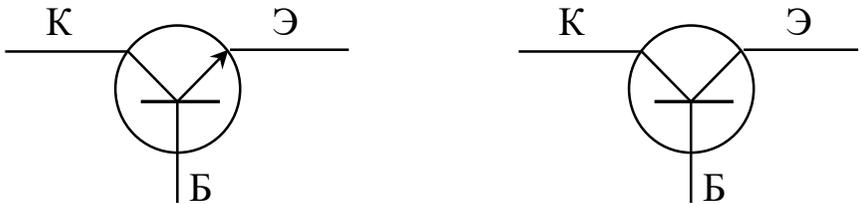


Рис.3

На рисунке 2 и 3 показано электрической схемы соединения транзистора. Стрелки показывают направления электрического тока. Здесь, Э - эмиттер, К - коллектор и Б - база.

Полупроводниковые транзисторы имеет три клеммы подобно трёх электродной электронной лампы: эмиттер, коллектор и база. Эмиттер выполняет функции катода, коллектор функции анода а база функции сетки. На практике диод используется в качестве выпрямителя, а транзисторы используются для управления и распределении электрических сигналов. Механизм действия работы полупроводниковых приборов дана в специальной литературы.

Данной работы, вы построите вольт- амперной характеристики транзистора.

### Принцип действие установки.

Установка состоит из двух вольтметра (0-6 в), микроамперметра (0-50 мк.а), миллиамперметра (0-100 м.а), две реостата, тумблера, источник тока и транзистора.

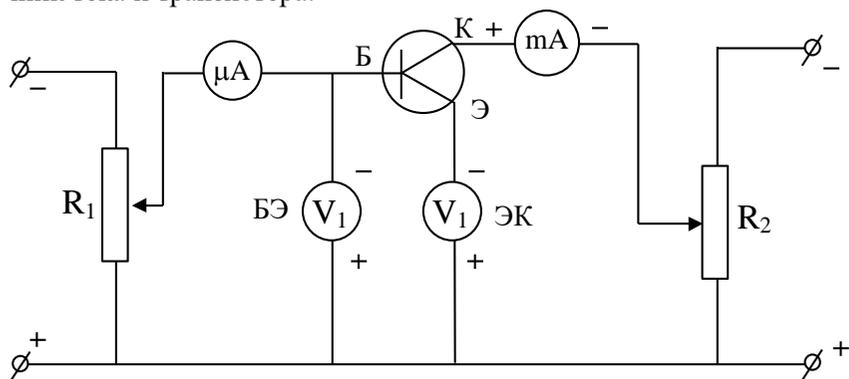


Рис.4

В рис.4 дана электронная схема установки, а в рис.5 дана общий вид установки. Для снятия вольт- амперной характеристики транзистора, при разных значениях сопротивления  $R_1$  напишем напряжения по показанию вольтметра  $V_2$  и величина тока по микроамперметра  $\mu A$  и построим график.

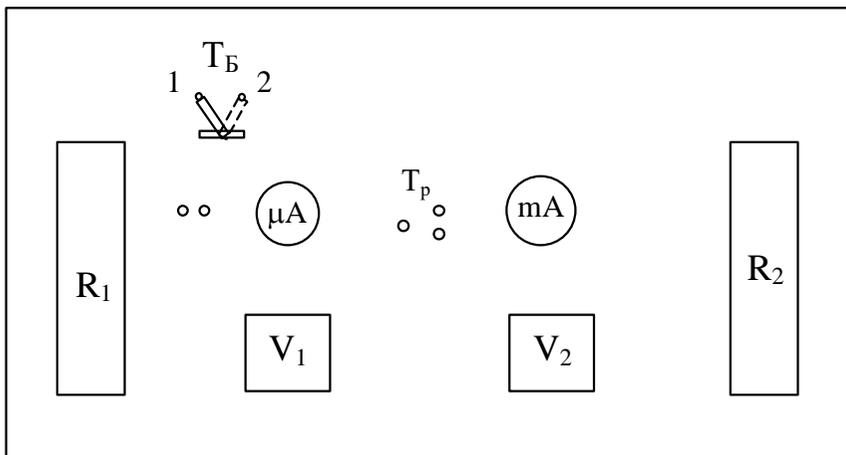
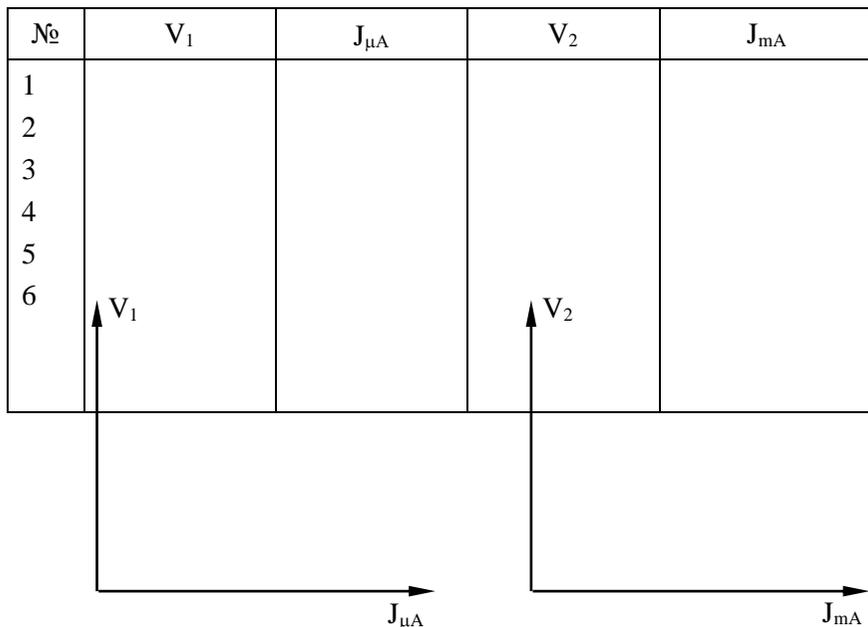


Рис.5

На схеме  $T_p$  - транзистор,  $T_б$  -тумблер, переключив тумблер с положения 1 к положению 2 мы можем изменит направления тока.

При разных значениях сопротивления  $R_2$  запишем показания вольтметра  $V_2$  и амперметра  $mA$ , и построим график зависимости показаний  $V_2$  от показаний  $mA$ .



Пусть,  $R_2$  остаётся постоянном запишем значение параметров  $V_1$ ,  $J_1$ ,  $V_2$ ,  $J_2$  при разных значениях  $R_1$ . Тогда, можно определит коэффициент усиление транзистора, зная отношения  $I_2$  и  $V_2$  к  $I_1$  и  $V_1$ .

### Контрольные вопросы.

1. Принцип работы полупроводники.
2. Диффузионный ток и собственной проводимости полупроводников.
3. Принцип действия полупроводниковые диоды и триоды.
4. Вольт-амперная характеристики. Коэффициент усиления.
5. Цель и ход работы.

## Определение дисперсии спектрокопа

Лаб. раб. № 26

*Принадлежности:* Источник света, щель, треугольной призмы, гониометрический столик, экран, линзы.

Для реализации этой работы требуется, чтобы размеры лабораторного стола были не менее чем 100x50 см. Сборка спектрокопа производится следующим образом. На большой рельс устанавливаются гониометрический столик с призмой и экран, так, чтобы расстояние от призмы до экрана составляло  $\approx 80$  см. Затем в 80-90 см от призмы помещается осветитель. Световой пучок должен составлять с осью большого рельса угол  $135^\circ$ . Смотрите рис. 2. При правильной установке

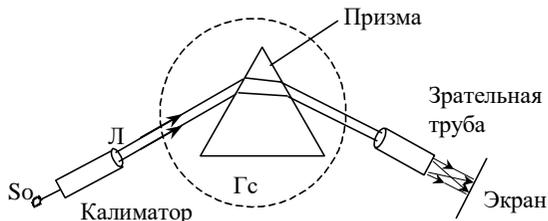


Рис. 1.

в центре экрана должно появиться светлое, окрашенное по краям пятно. Далее между осветителем и призмой возможно ближе к большому рельсу помещается малый рельс (ещё один рельс) на который устанавливается щель **S**. Передвижением лампы в осветителе необходимо добиться фокусировки изображения нити накала в плоскости щели. На расстоянии  $f$  от щели выпуклой поверхностью к ней устанавливается линза  $\mathbf{Л}_2$ . Проконтролировать параллельность падающего на призму светового пучка можно по отражённому от  $\mathbf{Л}_2$  блику. Система других линз, служит для фокусировки и увеличения спектральной картины на экран. Для того чтобы изображение было резким необходимо соблюдение условия:

$$-\frac{1}{f_3 - \Delta} + \frac{1}{l} = -\frac{1}{|f_4|} \quad (1)$$

Здесь  $|f_4|=14$  см – фокусное расстояние линзы  $\mathbf{Л}_4$ , взятое по модулю:  $f_3 = 26$  см, смысл  $\Delta$  и  $l$  если из рисунка 2. В частности, удобен вариант  $\Delta = 19$ ,  $\chi = 45$  см. Фокусное расстояние системы  $\mathbf{Л}_3$  и  $\mathbf{Л}_4$  определяется формулой:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_3} - \frac{1}{|f_4|} + \frac{\Delta}{f_3|f_4|} \quad (2)$$

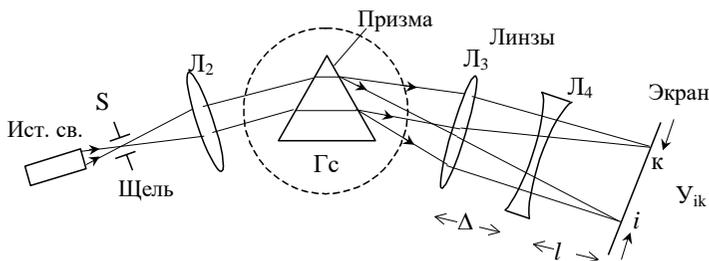


рис. 2.

Градуировка спектрографа проводится с помощью интерференционных фильтров. Помещая их последовательно перед

входной щелью прибора, можно зафиксировать положение нескольких спектральных линий с известной длиной волны. Кроме того, устанавливая вместо осветителя лазер, получим на экране ещё одну линию с известной  $\lambda$ . В рисунке 1, изображена спектроскоп, где К – коллиматор состоящей из

**S** и **Л<sub>2</sub>**, а **З** – зрительная труба состоящей из **Л<sub>3</sub>**, **Л<sub>4</sub>** и экрана. Работа выполняется на спектроскопе.

Зависимость показателя преломления стекла от  $\lambda$  может быть описано приближённой формулой:

$$n = n_0 + C_0/\lambda \quad (3)$$

где  $n_0$  и  $C_0$  – некоторые константы. По аналогии, для положения  $i$ -й спектральной линии на экране (координаты  $Y$ ) можно записать:

$$Y_i = Y_0 + C/\lambda \quad (4)$$

Выражение (4) позволяет находить константы  $C$  и  $Y_0$  по положению двух линий известной длины волны и, таким образом, градуировать экран в единицах  $\lambda$ . Более точно зависимость  $n$  от  $\lambda$  описывается соотношением:

$$n = n_0 + C_0/(\lambda - \lambda_0) \quad (5)$$

Градуировка спектроскопа с применением (5) более трудоёмка и может быть предложена студентам в качестве отдельного задания.

Дисперсия спектроскопа зависит от дисперсии призмы, а дисперсия призмы зависит от угла падения светового пучка на преломляющую грань призмы. Наиболее простой случай соответствует симметричному прохождению луча в призме. При этом (рис. 3).

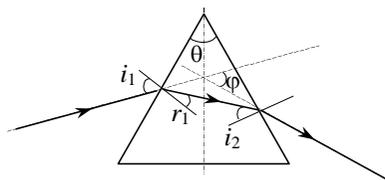


Рис. 3.

Величина  $D$  определяется экспериментально по положению линий интерференционного светофильтров  $D = \frac{(\varphi_i - \varphi_k)}{(\lambda_i - \lambda_k)}$  (6)

Разница  $(\varphi_i - \varphi_k)$  находится через расстояние между линиями в спектре  $Y_{ik}$  и фокусе системы  $F$

$$D = \frac{Y_{ik}}{(\lambda_i - \lambda_k)}$$

где,  $\lambda_i$  и  $\lambda_k$  – соответственно длины волн  $i$  и  $k$  спектральной линии,  $F$  – фокусное расстояние системы,  $Y_{ik}$  – расстояние между  $i$  и  $k$  – спектральной линии на экране.

### Контрольные вопросы.

1. Цель и ход работы.
2. Спектральный анализ.
3. Ход лучей в спектроскопе.
4. Линейной и угловой дисперсии.
5. Нормальной и аномальной дисперсии

## Определения постоянная Планка

Лаб. раб. № 27

### Теоретическая часть

В данной работе, рассматриваются задача экспериментальная проверка уравнения Эйнштейна для внешнего фотоэффекта и определение постоянной Планка.

Фотоэффект относится к числу физических явлений, в которых

проявляются корпускулярные свойства света. В результате взаимодействия с фотон, электроны могут быть выбиты с поверхности вещества. Это явление получило название внешнего фотоэффекта. Закон сохранения энергий для рассматриваемого процесса выражается уравнением Эйнштейна

$$h\nu = \frac{mv^2}{2} + A \quad (1)$$

где,  $h$  – постоянная Планка,  $\nu$  - частота света,

$$\frac{mv^2}{2}$$

- максимальная кинетическая энергия выбиваемого электрона,  $A$  – работа выхода электрона из вещества (фото катода),  $m$  – масса электрона,  $v$  - максимальная скорость фотоэлектрона.

Для исследования внешнего фотоэффекта обычно используются вакуумные фотоэлементы типа СЦВ или ФЭ, спектральная чувствительность которых находится в видимой части спектра.

Схема включения фотоэлемента дана на рис. 1. Фотоэлемент ФЭ состоит из стеклянной колбы, на поверхности которой нанесён тонкий слой металла (фотокатод **К**), и собирающего электрода (анод **А**)

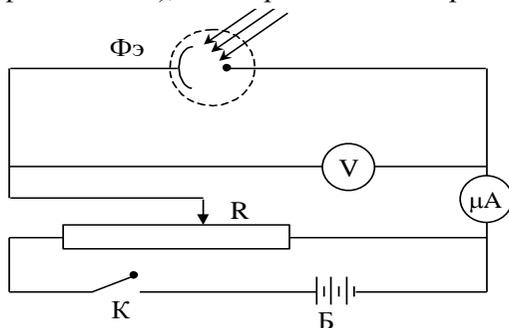


Рис. 1

Типичная зависимость фототока фотоэлемента от приложенного к электродам напряжения – вольтамперная характеристика – показана на рис. 2.

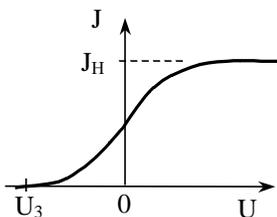


Рис. 2.

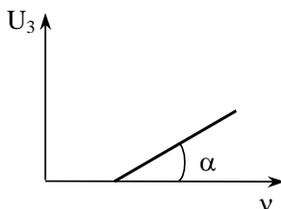


Рис. 3.

Особый интерес представляет напряжение  $U_3$ , называемое задерживающим потенциалом при котором фототок обращается в нуль. По величине  $U_3$  может быть определена максимальная энергия фотоэлементов:

$$\frac{mv^2}{2} = eU_3 \quad (2)$$

где,  $e$  – заряд электрона. Используя соотношение (2), уравнение (1) можно переписать в виде

$$U_3 = \frac{h}{e} \nu - \frac{A}{e} \quad (3)$$

Из уравнения (3) следует, что величина задерживающего потенциала  $U_3$ , линейно зависит от частоты света  $\nu$  (рис. 3.), а постоянную Планка  $h$  можно определить из углового коэффициента линейной зависимости (3):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta U_3}{\Delta \nu} = \frac{h}{e} \quad (4)$$

### Экспериментальная часть.

Принадлежности: Фотоэлемент, ламповый вольтметр. Источник питания, источник света, набор светофильтров.

Для измерения величины задерживающего потенциала  $U$ , в работе применяется ламповый вольтметр ЛВ, входное сопротивление

которого практически можно считать бесконечно большим. Он служит индикатором отсутствия фототока в цепи фотоэлемента, когда на анод подаётся запирающий потенциал  $U_3$ . Схема установки дана на рис. 4.

Фотоэмиссии электронов достигается при облучении фотокатода световым монохроматическим пучком от ртутной лампы. Выделение светового пучка узкой спектральной ширины осуществляется при помощи набора интерференционных узкополосных светофильтров.

Измерение задерживающего потенциала и расчёт постоянной Планка.

1. Собрать схему установки согласно рис. 4. Включить источник света и установить светофильтры, соответствующие частоты облучения  $\nu$ .

2. Замкнув однополюсный ключ 1 и двух полюсный ключ к 2 в положение II, установить на фотокатод потенциал, численно равной  $U_3$ , добиваясь отсутствия тока в цепи фотоэлемента. В качестве индикатора тока используется ламповый вольтметр.

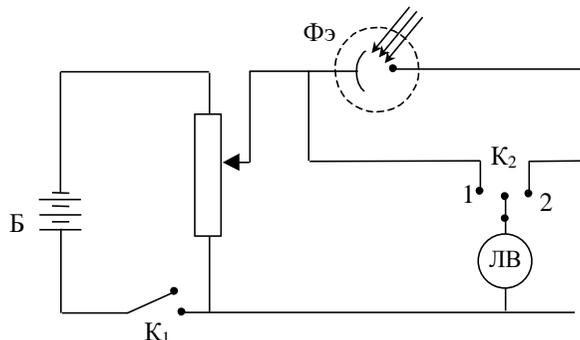


Рис. 4

3. Измерить соответствующее значение задерживающегося потенциала ламповым вольтметром ЛВ, переключив двух полюсный ключ в положение I.

4. Повторить п.1-3 других значений потенциала, изменяя частоты облучения  $\nu$ .

5. По полученным данным построить график зависимости  $U_3$  от частоты облучения  $\nu$ .

6. Используя полученный график, вычислить по формуле (4) постоянную Планка  $h$  и оценить погрешность измерений.

7. Используя график зависимости  $U_a(\nu)$ , найти работу выхода электронов из фото катода по величине отрезка, отсекаемого экспериментальной прямой на оси ординат  $U_3(0)=A/e$ .

### Контрольные вопросы.

1. Цель и ход работы.
2. Фотоэлектрический эффект.
3. Фотоэлементы и фотоумножители.
4. Вольтамперная характеристика.
5. Вывод формулы (4).

## Определение увеличения микроскопа

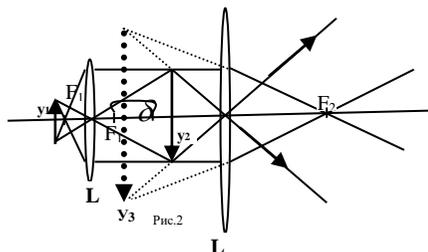
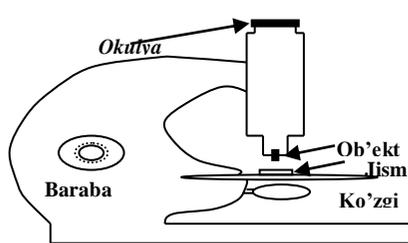
Лаб. раб. № 28

*Приборы и принадлежности: Микроскоп, объект микрометр и окуляр микрометр.*

### Описание прибора

Общей вид простого микроскопа изображен на рис.1. Он состоит из трубки Т, называемой тубусом, на концах которой находится окуляр ОК и объектив ОБ. Рассматриваемый предмет помещается на предметном столике. Установка на отчетливое видение производится перемещения тубуса в вертикальном положении винтом В.

Освещение прозрачных объектов осуществляется при помощи зеркальца З, направляющего свет через отверстие в предметном столике

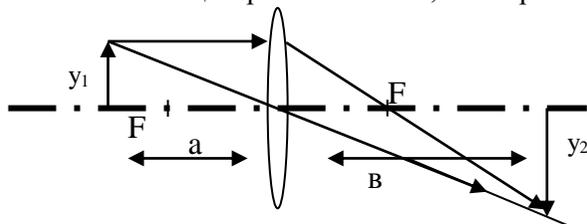


на рассматриваемый предмет и в объектив микроскопа. Ход лучей в оптической системе микроскопа изображен на рис.2.

Предмет  $y_1$  помещается за фокусом объектива.  $y_2$ -изображение, даваемое объективом (обратное, действительное). Это изображение рассматривается в окуляре, как в лупе. Для этого окуляр должен быть расположен так, чтобы изображение, даваемое объективом, поместилось между окуляром и фокусом окуляра. Глазу, расположенному перед окуляром, представляется дважды увеличенное изображение  $y_2$  предмета. Таким образом, увеличение микроскопа  $V_{\text{мик}}$  представляет себя произведение увеличения  $V_{\text{об}}$  объектива на увеличения  $V_{\text{ок}}$  окуляра.  $V_{\text{мик}} = V_{\text{об}} \cdot V_{\text{ок}}$ .

### Увеличение объектива

Ход лучей в объективе изображен на рис.2. Обозначаем через  $F$  фокусное расстояние объектива,  $a$ - расстояние от предмета до оптического центра объектива,  $b$ - расстояние от объектива до изображения предмета.



Увеличением будем называть отношение линейных размеров изображения к линейным размерам предмета, т.е.  $V_{\text{об}} = \frac{y_2}{y_1}$

либо  $V_{\text{об}} = \frac{b}{a}$ . Чтобы достигнуть большего увеличения, нужно

поместить предмет  $y_1$  ближе к главному фокусу объектива, т.е.  $F=a$ . Это изображение должно попасть между окуляром и главным фокусом окуляра.

Обычно объектив короткофокусная линза, поэтому можно считать, что приблизительно выполняется равенство:  $V_{\text{об}} = \frac{\delta}{F}$ , где  $\delta$ - длина тубуса(расстоянии между окуляром и объективом),  $F$ -фокус объектива и увеличение объектива  $V_{\text{об}}$ .

### Увеличение окуляра

Увеличение окуляра рассматриваем, как увеличение, даваемое лупой. Ход лучей в окуляре изображен на рис.3. Из подобия

треугольника  $ABC$  и  $A_1B_1C_1$  запишем пропорцию  $\frac{A_1B_1}{AB} = \frac{OL_1}{OL}$ .

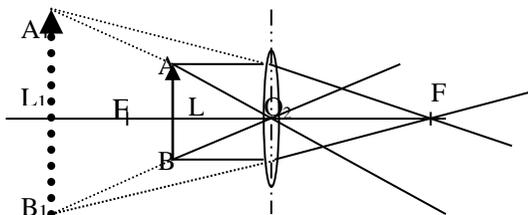
Можно положить  $OL=F$ , где  $F$  – фокусное расстояние окуляра. Расстояние  $OL_1$  приблизительно равно расстоянию наилучшего зрения (для нормального глаза составляет примерно 25 см.). Таким

образом, для увеличения окуляра получим выражение:  $V_{ок} = \frac{OL_1}{F}$ .

Теперь общее увеличение микроскопа запишется в виде формулы:

$$V_{мик} = \frac{\delta \Delta}{F_{ок} F_{об}}, \text{ где } \delta - \text{длина тубуса, расстояние между оптическими}$$

центрами объектива и окуляра,  $\Delta$ -расстояние наилучшего видения,  $F_{ок}$ ,  $F_{об}$ - фокусные расстояния окуляра и объектива.



### Порядок выполнения работы

1. Практически увеличение микроскопа определяется путем сравнения изображения основного объекта, видимого в микроскоп, с вспомогательным объектом, рассматриваемым невооруженным глазом.

2. В качестве основного объекта на предметный столик микроскопа помещается предмет с известными размерами, чаще всего участок стандартной прозрачной шкалы с мм. деление.

3. В качестве вспомогательного предмета используется линейка с двумя поперечными ползунками, располагаемая позади микроскопа на подставке на уровне плоскости изображаемого предмета в микроскопе.

4. Действуя винтом, перемещающим тубус микроскопа в вертикальном направлении достигают отчетливого видения основного объекта (увеличение риски мм шкалы).

5. Переведя глаз с изображения основного объекта на вспомогательный объект, устанавливают его ползунки в такое положение, чтобы их середины соответствовали средине линиям рисок видимых в микроскоп (т.е. при неоднократном переводе глаза с микроскопа на вспомогательный объект ее середины ползунки казались продолжением рисок в микроскопе).

6. Поскольку расстояния между серединами рисок в мм шкале равно 1 мм, поэтому расстояние между серединами ползунков, измеренное по мм шкале будет равно увеличению микроскопа.

### **Контрольные вопросы**

- Цель и ход работы
- Ход лучей в микроскопе
- Законы преломление и отражения света
- Линзы. Формула тонкой линзы
- Электронный микроскоп.

### **Градирование шкалы спектроскопа**

Лаб.раб. № 29

*Приборы и принадлежности: спектроскоп, источник света, линзы и горелка с натриевым пламенем.*

### **Теоретическая часть**

Наряду с количественной характеристикой света, которой является сила света, большое значение имеет также и качественная характеристика света - его спектральный состав.

В излучении накаливаемых тел, находящихся в конденсированном состоянии (твердых, жидких, плотных газов), благодаря значительному взаимодействию между атомами вещества, присутствуют световые колебания самых различных частот, образующих сплошной спектр (независимо от химического состава тел). Для получения линейчатого спектра, характерного для каждого химического элемента, вещество должно находиться в таком состоянии, чтобы взаимодействие между атомами было чрезвычайно малым. Этому условию удовлетворяют разраженные газы.

Источником света, дающим линейчатый спектр, может служить, спектральная трубка, наполненная тем или иным разраженным газом,

имеющая на концах электроды к которым подводится напряжение для возбуждения газа, и сужение в центральной части в виде капилляра, где разряд приобретает особенно высокую яркость. Простейшим спектральным прибором, предназначенным для визуального наблюдения линейчатого спектра, является спектроскоп.

Спектроскоп состоит из двух трубы: зрительной и коллиматора с узкой раздвижной щелью. В центре столика спектроскопа устанавливается трехгранная призма, закрываемая при наблюдениях кожухом.

Ход лучей в спектроскопе предельно прост. От источника света лучи проходят в щель коллиматора и, выходя из нее параллельным пучком, падают на плоскую грань трехгранной призмы, где происходит их преломление и разложение в спектр. После призмы лучи собираются оптической системой зрительной трубы, глядя в которую можно видеть спектр данного газа в виде отдельных узких цветных линий на темном фоне. Для точного определения каждой линии спектра предусмотрена возможность перемещения зрительной трубы относительно отсчетного приспособления М, укрепленного на столике прибора.

Отсчет  $n$  производят по двум шкалам: первая шкала (на неподвижной рейке) дает целые миллиметры, вторая шкала (на вращающемся барабане) добавляют к показаниям первой шкалы сотые доли миллиметра.

Задача градуировки спектроскопа состоит в построении графика зависимости шкал спектроскопа от длины волны.

Имея хотя бы одну спектральную трубку с известным газом можно по таблицам найти значения длин волн наиболее характерных линий данного газа. Затем, поворачивая зрительную трубу, наводя последовательно ее волосок на каждую линию и одновременно фиксируя показания шкал, можно определить какие длины волн соответствуют этим показаниям.

### **Порядок выполнения работы**

1. Установить источник света (спектральную трубку с известным газом) так, чтобы ее центральная часть находилась точно напротив щели коллиматора.
2. Установить зрительную трубу спектроскопа на резкость.

3. Составить таблицу и ввести в нее название цвета и длины волн наиболее характерных линий данного вещества.

4. Вращением винта барабана установить нить трубки на крайнюю линию спектра. Ввиду того, что каждая спектральная линия является достаточно широкой, эта установки нити на линии производится дважды: один раз на ее левый край, другой раз – правый. Оба отсчет записывает в соответствующие графы таблице, и находят среднее положение нити(n).

5. Постепенно смещая трубку, навести нить на другие линии и, аналогично, зафиксировать в таблице значение отсчетов по шкалам спектроскопа.

6. Построить график зависимости  $n=f(\lambda)$ .

7. Заменяя источник света или спектральную трубку другой трубкой с неизвестным газом, определить положение линий этого газа и по ранее построенной градуировочной кривой найти соответствующие им длины волн.

Название газа	Цвета линий	Отчеты		Среднее положение нити	Длины волн данного цвета (микронметрах)
		Левый	Правый		

### Контрольные вопросы

1. Дисперсия света, прохождение света трехгранную призму.
2. Функции коллиматора и зрительной трубы.
3. Основы спектрального анализа.
4. Ход лучей спектроскопа.
5. Цель и ход работы.

# Снятие счетной характеристики счетчика по космическому излучению

Лаб. раб. № 30

## Теоретическая часть

Атом имеет положительно заряженное ядро и отрицательно заряженную электронную оболочку.

Атомное ядро состоит из нейтронов и протонов. Нейтрон не имеет заряда; он электрически нейтрален. Протон обладает единичным положительным зарядом, равным по величине заряду электрона. В нормальном состоянии атома число электронов в его оболочке равно числу протонов в его ядре.

Число положительных зарядов ядра, равное числу протонов, входящих в его состав называется атомным номером элемента  $Z$ . Суммарное число протонов и нейтронов в атомном ядре называют массовым числом элемента -  $A$ . так как число протонов в ядре равно  $Z$ , то число нейтронов равно  $A-Z=N$ . Массовое число равно ближайшему целому числу, выражающему атомный вес элемента.

Атомы, имеющие один и тот же атомный номер, но разные массовые числа, называют изотопами. Химически они тождественны и представляют собой разновидности одного и того же химического элемента.

Изотопы каждого химического элемента разделяются на стабильные и устойчивые. Ядро неустойчивых изотопов претерпевают самопроизвольный распад, превращаясь при этом в ядра атомов других элементов. Большинство из них не встречается в природе вследствие его неустойчивости и краткости периода полураспада по сравнению с возрастом Земли, и получаются лишь искусственным путем.

В процессе распада ядра атомов испускают радиоактивное излучение трех типов:  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ -излучение.

$\alpha$ -излучение представляет поток ядер гелия  $He_2^4$ ,  $\beta$ -излучение поток электронов или позитронов  $\beta_{-1}^0; \beta_{+1}^0$ ;  $\gamma$ -излучение-электромагнитное излучение с очень короткой длиной волны, аналогичное жестким рентгеновским лучам.

Все радиоактивные изотопы обладают одной общей закономерностью, заключающейся в том, что количество атомов

данного радиоактивного изотопа, распадающихся средним за единицу времени, всегда составляет определенную, характерную для данного изотопа часть от полного числа еще не распавшихся атомов. Математически это записывается так:  $dN = -\lambda N dt$ , (1), где,  $N$ -первоначальное число атомов,  $dN$ -число атомов, распавшихся за малый промежуток времени  $dt$ ;  $\lambda$  – величина постоянная полураспада, характерный для данного радиоактивного изотопа.

В интегральной форме закон радиоактивного распада имеет вид:  $N = N_0 e^{-\lambda t}$ , (2), где  $N_0$ –число атомов в начальный момент времени  $t_0$ ;  $N$ -число атомов, оставшихся к моменту времени  $t$ .

Обычно для характеристики скорости радиоактивного распада пользуются понятием: период полураспада.

Период полураспада  $T$ -это время, в течение которого данное количество радиоактивного вещества уменьшается наполовину. Из формулы (2) находим:  $\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} = \frac{1}{2}$ , (3), откуда  $T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$  (4).

Важной характеристикой радиоактивного препарата является его активность.

Активность  $V$  радиоактивного изотопа,  $V$ -это число атомов, распадающихся единицу времени:  $V = -\frac{\Delta N}{\Delta t}$ , (5).

В качестве единицы активности принят **кюри**.

**Кюри**- это такое количество радиоактивного вещества, которое дает,  $3,7 \cdot 10^{10}$  распадов за 1 сек. Часто употребляется производные единицы Милли кюри и микро кюри.

1 мкюри= $3,7 \cdot 10^7$  распадов за секунда; 1 мккюри= $3,7 \cdot 10^4$  распадов за сек.

## Выполнение работы

Приборы и принадлежности: радиометр типа Б-2, секундомер и счётчик Гейгера.

Для измерения  $\beta$  и  $\gamma$  излучения используют радиометр типа Б-2, предназначенный для измерения радиоактивности. Он состоит из счетчика частиц Гейгера и пересчетного устройства с электромеханическим счетчиком импульсов.

В счетную часть установки Б-2 входят; счетчик, высоковольтный выпрямитель для питания счетчика, усилитель импульсов вместе с пересчетным блоком и электромеханический счетчик импульсов.

Счетчик Гейгера типа МС-4 представляют собой проводящий цилиндр(катод) с натянутой вдоль оси цилиндра тонкой металлической нитью(анод), изолированной от катода.

Пространство между электродами заполнено газом при пониженном давлении. Между анодом и катодом создается высокая разность потенциалов порядка 300-1500 в. Нить через сопротивление соединяется с землей.

Электроны, пройдя сквозь цилиндр счетчика, попадают в пространство между электродами счетчика и вызывают ионизацию газа. Образовавшиеся в газе между электродами ионы будут притягиваться полем к электродам.

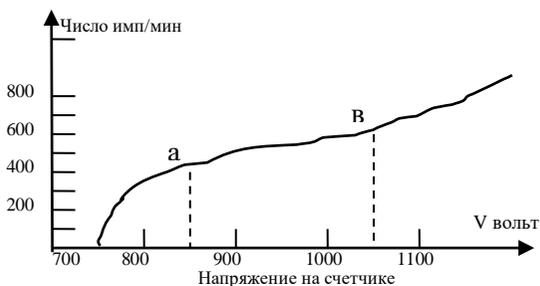
Так как поле неоднородно и сильно возрастает вблизи нити, то движущийся к нити электрон на длине своего свободного пробега приобретает кинетическую энергию, достаточную для ударной ионизации. Возникающий лавинный процесс ионизации имеет последствием попадание на нить значительного числа электронов, что и является причиной изменения потенциала нити, фиксируемого счетным механизмом, как единичный разрядный импульс.

Появившийся благодаря этому импульс тока регистрируется специальной электрической схемой. Образованный счетчиком импульс напряжения через пересчетный блок, т.е. радиотехническое устройство, позволяющее увеличить допустимую скорость счета, фиксируются электромеханическим счетчиком импульсов.

Если менять напряжение на электродах, то будет меняться режим работы счетчика и, следовательно, его свойства как регистрирующего прибора.

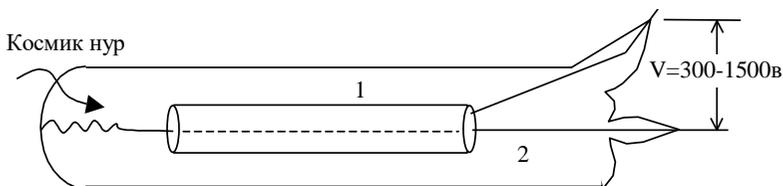
На рисунке изображена зависимость скорости счета от разности потенциалов между электродами при неизменной интенсивности облучения.

Зависимость число импульсов  $N$ , даваемых счетчиком в минуту, от приложенного к нему



напряжения  $U$  при постоянном источнике радиоактивного излучения, т.е.  $f=f(U)$ , называется счетной характеристикой счетчика. Как видно, из рисунка, при напряжениях ниже  $U_3$  счетчик ничего не регистрирует (импульсы настолько малы, что не регистрируются счетной установкой).

Напряжение  $U_3$ , при котором счетчик начинает считать, называется потенциалом зажигания. Для данного счетчика потенциал зажигания равен 780 В.



Выше точки  $U_3$  (от **в** до **а**) скорость счета быстро увеличивается ростом напряжения. В этой области счетная установка регистрирует не все попадающие в счетчик частицы, так как разрядные импульсы имеют разную величину.

В области **ав** счет почти не меняется при возрастании напряжения. На участке **ав**, называемом «плато», счетчик фиксирует все частицы, попавшие в его объем.

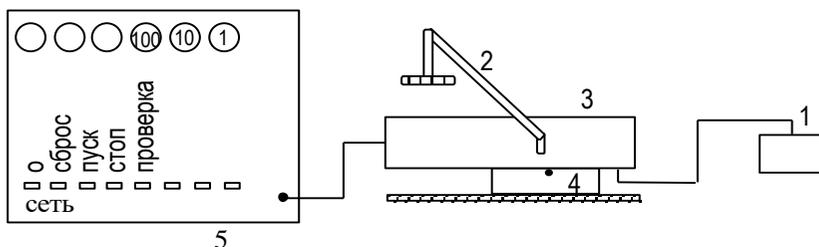
При напряжениях выше точки **в** скорость счета быстро увеличивается в связи с ростом числа самопроизвольных разрядов. Чем больше плато и меньше его наклон, тем счетчик лучше.

## Измерения и обработка результатов измерений

I. Ознакомиться с деталям управлению радиометра Б-2. На ее лицевой панели счетной установки Б-2 расположены:

1. тумблер включения сети.
2. сигнальная лампочка.
3. электромеханический счетчик с двумя ручками установки нуля.
4. тумблер пуска пересчетного устройства
5. переключатель коэффициента пересчета, позволяющий фиксировать каждый 1-ий, 4-ий, 16-ий или 64 –ий импульс
6. вольтметр, контролирующий выходное напряжение выпрямителя.
7. кнопка замыкания высокого напряжения.

8. ручка регулятора высокого напряжения.



II. Подготовить радиометра Б-2 к работе. Для этого необходимо сделать следующее.

1. Проверить и привести в соответствие с напряжением сети переменного тока положение переключателя напряжения.
2. Вывести ручку регулятора высокого напряжения в крайнее левое положение.
3. Тумблер включения в сеть поставить в положение «выключено».
4. Проверить подключения заземления на задней панели прибора.

III. Снятие счетной характеристики

1. Включить тумблер «сеть». При этом должна загореться сигнальная лампочка. Прибору необходимо дать прогреться в течение 1-2 мин.
2. Регулятором высокого напряжения установить напряжение, равное 0,5 кв.
3. Тумблер «пуск» выключить.
4. Нажать кнопку «сброс».
5. Установить на нуль шкалы электромеханического счетчика.
6. Установить ручкой необходимый коэффициент пересчета (лучше 1х64).
7. Включить тумблер «пуск» одновременно с включением секундомера и определить число импульсов фона за 3-5 мин. (радиоактивные препараты должны быть удалены). По полученным данным вычислить число импульсов фона в минуту-  $N_{\text{ф}}$ .

Число зарегистрированных импульсов равно показанию счетчика, умноженному на коэффициент пересчета, плюс сумма чисел, стоящих у горящих неоновых лампочек.

Каждый счетчик обладает фоном, т.е. при отсутствии облучения в нем все же возникают разрядные импульсы. Это разрядные импульсы могут быть названы космическими лучами, радиоактивными примесями в материалах, из которых изготовлен счетчик, и самопроизвольными разрядами. Это даёт поправку на фон  $N_{\text{ф}}$ .

8. Аналогичные измерения произвести для значений  $U=100, 150, 200$  и т.д., каждый раз записывая  $N$  (значения  $U$  дается преподавателем).

9. По полученным данным строят график  $N=f(U)$ , откладывая по оси абсцисс напряжение  $U$ , а по оси ординат- число импульсов в минуту  $N$ .

10. Из графика определяют рабочий участок (плато) счетчика.

### **Контрольные вопросы**

1. Цель и ход работы.
2. Понятие радиоактивность.
3. Природы  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  лучей.
4. Методы регистрация  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  лучей.
5. Счетчик Гейгера и ее принцип работы.
6. Методы ускорения заряженных частиц.

## Системы единицы измерения физических величин.

С 1 января 1963 г. введена Международная система единиц, сокращенно обозначаемая символом СИ.

Основными единицами этой системы являются:

1. Единица длины – метр (м).
2. Единицы массы – килограмм (кг).
3. Единицы времени – секунда (сек).
4. Единицы количество вещество – молекула (моль).
5. Единицы силы электрического тока – ампер (а).
6. Единицы термодинамической температуры – градус Кельвин ( $^{\circ}\text{K}$ ).
7. Единицы сила света – кандела (кд).

Определим основные единицы системы.

2. **Метр** – Впервые 1 м. был определен как один сорокамиллионная часть парижского меридиана в 1891 г. на основе измерений части дуги меридиана.

В 1788 г. был изготовлен эталон метра в виде платиновой концевой меры, с точностью 0,1 МК. Никакое усовершенствование эталона не дает возможности повысить его точность. С другой стороны, если в качестве естественного эталона выбрать длину волны излучении атома, то можно получить точность на два порядка большую.

Поэтому за новый эталон метра принимается длина, равная 1 650 763,73 длинам волн оранжевого излучения изотопа криптона в вакууме при температуре жидкого азота.

2. **Килограмм** – масса, равная массе международного прототипа килограмма (платиноиридиевого цилиндра, хранящегося в Международном бюро мер и весов в Севре, близ Парижа).

3. **Секунда** – время, равное 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонким уровнями основного состояния атома цезия-133.

4. **Ампер** – сила постоянного тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого поперечного сечения, расположенными силу, равную  $2 \cdot 10^{-7}$  Н на каждый метр длины.

5. **Кельвин** –  $1/273,16$  часть термодинамической температуры тройной точки воды.

6. **Моль** – количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько атомов содержится в нуклиде  $^{12}\text{C}$  массой  $0,012$  кг.

7. **Кандела** – сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой  $540 \cdot 10^{12}$  Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет  $1/683$  Вт/ср.

## Литература

1. А.В.Кортнев, Ю.В.Рублев, А.Н.Куценко, Практикум по физике, Высшая школа, М., 1963.
2. Т.И.Трофимова, Курс физики, Высшая школа, М., 1990.
3. Физический практикум под ред. проф. В.И.Ивероновой, М. 1967.
4. Лабораторный практикум по физике, Высшая школа, М., 1963.
5. И.В.Савельев, «Курс физики», 1 т., М. 1989.
6. А.А.Детлаф, Б.М.Яворский «Курс физики», М. 1989. й.
7. А.С.Сафаров « Умный физика курси», Т. «Ўқитувчи», 1992 й.
8. О.И.Ахмаджонов «Физика курси» 1,2,3 -қисм, Т. «Ўқитувчи», 1988 й.
9. Internet, [www.aldebaran.ru](http://www.aldebaran.ru), [www.bilim.uz](http://www.bilim.uz), [www.rambler.ru](http://www.rambler.ru), [www.yandex.ru](http://www.yandex.ru), [www.port.ru](http://www.port.ru), [www.stars.ru](http://www.stars.ru).
10. Майсова В.В. Практикум по курсу общей физики, М., 1995 г.
11. Нурматов Э.М., Оптика ва атом физика, СамГАСИ, 2004
12. Малов Н.Н. Курс электротехники и радиотехники, М., Гостехиздат 1959.
13. Геворкян Р.Г. Шепель В.В. Курс общей физики, изд. «Высшая школа», 1972.

## Приложения

Таблица № 1

### Давление и плотность насыщающего водяного пара при разных температурах

<b>t, °C</b>	<b>p, мм.рт.ст.</b>	<b>m, масса 1м<sup>2</sup> пара, в граммах</b>	<b>t, °C</b>	<b>p, мм.рт.ст.</b>	<b>m, масса 1м<sup>2</sup> пара, в граммах</b>
0	4,58	4,84	21	18,65	18,3
1	4,93	5,22	22	19,83	19,4
2	5,29	5,60	23	21,07	20,6
3	5,60	5,98	24	22,38	21,8
4	6,10	6,40	25	23,76	23,0
5	6,54	6,84	26	25,21	24,4
6	7,01	7,3	27	26,74	25,8
7	7,51	7,8	28	28,35	27,2
8	8,05	8,3	29	30,04	28,7
9	8,61	8,8	30	31,82	30,3
10	9,21	9,4	31	33,70	32,1
11	9,84	10,0	32	35,66	33,9
12	10,52	10,7	33	37,73	35,7
13	11,23	11,4	34	39,90	37,6
14	11,99	12,1	35	42,18	39,6
15	12,79	12,8	36	44,56	41,8
16	13,63	13,6	37	47,07	44,0
17	14,53	14,5	38	49,69	46,3
18	15,48	15,4	39	52,44	48,7
19	16,48	16,3	40	55,32	51,2
20	17,54	17,3	41	71,88	65,4

Таблица № 2

**Некоторые тепловые постоянные твердых тел**

Наименование металла	Коэффициент расширения $\alpha, 10^4$	Теплоёмкость $18^\circ, \text{ кал/г}$	Теплопроводность $\text{Кал/град.см.сек}$	Точка плавления, $^\circ\text{C}$	Теплота плавления, $\text{кал/град}$
Алюминий	0,238	0,214	0,48	658,7	76,8
Бронза	0,171-0,212	0,104	0,14	-	-
Висмут	0,135	0,031	0,019	271	12,64
Вольфрам	0,045	0,037	0,38	33380	-
Воск	7,1-15,2	-	-	63	42,3
Вуда сплав	-	0,04	0,3	65,5	8,4
Золото	0,145	0,032	0,70	1063	15,9
Железо	0,121	0,119	0,14	1530	23-33
Цинк	0,291	0,093	0,265	419,4	28,1
Сталь	0,106	0,12	0,11	-	-
Чугун	0,114	-	0,12	-	-
Латунь	0,188-0,193	0,0917	0,26	около 900	-
Медь	0,167	0,094	0,92	1083	42
Свинец	0,293	0,03	0,083	327	5,36
Серебро	0,197	0,16	0,0016	-	-
Фарфор	0,04	-	0,0025	-	-

Таблица № 3

**Некоторые тепловые постоянные твердых тел**

	Коэффициент расширения $\alpha, 10^4$	Теплоёмкость $18^\circ, \text{ кал/г}$	Теплопроводность $\text{Кал/град.см.сек}$	Точка плавления, $^\circ\text{C}$	Теплота плавления, $\text{кал/град}$
Алюминий	0,238	0,214	0,48	658,7	76,8
Бронза	0,171-0,212	0,104	0,14	-	-
Висмут	0,135	0,031	0,019	271	12,64
Вольфрам	0,045	0,037	0,38	33380	-
Воск	7,1-15,2	-	-	63	42,3
Вуда сплав	-	0,04	0,3	65,5	8,4
Золото	0,145	0,032	0,70	1063	15,9
Железо	0,121	0,119	0,14	1530	23-33

Цинк	0,291	0,093	0,265	419,4	28,1
Сталь	0,106	0,12	0,11	-	-
Чугун	0,114	-	0,12	-	-
Латунь	0,188-0,193	0,0917	0,26	около 900	-
Медь	0,167	0,094	0,92	1083	42
Свинец	0,293	0,03	0,083	327	5,36
Серебро	0,197	0,16	0,0016	-	-
Фарфор	0,04	-	0,0025	-	-

**Таблица 4**

**Постоянные некоторых полупроводников**

Полупроводник	$10^{-3}\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$E_o$ , эВ
Алмаз	3,51	5,40
Фосфор (черный)	2,69	0,33
Селен	4,80	2,85
Кремний	2,33	1,15
Германий	5,32	0,74

**Таблица 5**

**Э.д.с. термопары железо- константан**

T, K	373	473	573	673	773	873	973	1073
Э.д.с., мВ	5	11	16	22	27	33	39	45

## Оглавление

Задачи физического практикума .....	4
Основы теории погрешностей .....	5
Определение момента инерции махового колеса и силы трения в опоре .....	11
Определение коэффициента вязкости жидкости методом Стокса .....	12
Определение ускорения силы тяжести с помощью математического маятника .....	14
Определение моментов инерции различных тел методом крутильных колебаний .....	15
Определение среднего коэффициента линейного расширения	18
Определение влажности воздуха .....	20
Определение поверхностного натяжения методом отрыва кольца .....	22
Изучение вращательного движения тела .....	23
Измерение сопротивлений с помощью мостика Уитстона ...	25
Градуировка термомпар.....	27
Измерение полезной мощности и к.п.д. аккумулятора в зависимости от нагрузки .....	29
Определение число Фарадея и заряд электрона .....	31
Определение ёмкости конденсаторов с помощью моста Сотти	35
Изучение работы электронного осциллографа.....	36
Определение горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли .....	41
Определение длины стоячей электромагнитной волны. ....	45
Снятие петли гистерезиса .....	49
Определение частоты колебаний с помощью фигур Лиссажу осциллографическим методом. ....	58
Определение фокусной расстояние линзы .....	62
Изучение законов освещенности с помощью фотоэлемента	65
Определение длины световой волны при помощи дифракционной решетки.....	68
Определение глубины резкости линзы .....	71
Определение показателя преломления вещества призмы по углу Брюстера.....	73
Проверка закона Малюса .....	76
Изучение вольтамперной характеристики транзистора. ....	78

Определение дисперсии спектроскопа .....	82
Определения постоянная Планка.....	85
Определение увеличения микроскопа .....	89
Градирование шкалы спектроскопа .....	92
Снятие счетной характеристики счетчика по космическому излучению.....	95
Системы единицы измерения физических величин .....	101
Литература .....	103
Приложения.....	104

**Umumiy fizika o'quv kursidan** laboratoriya ishlari uchun praktikum(rus tilida), o'quv qo'llanma, **Nurmatov Eshmurza Muxitdinovich**, fizika-matematika fanlar nomzodi, dotsent.

**Лабораторный практикум по физике**  
Samarqand, SamDAQI, 2008

Muharrir	A.T.Abduqodirov
Texnik muharrir va kompyuter grafikasi.	Nargiza Xodieva

Bosishga ruxsat etildi: 30 yanvar 2008 yil (B. 5)

---

Buyurtma №	Hajmi <b>7,4</b> b.t.	Adadi <b>50</b> nusxa
------------	-----------------------	-----------------------

---

Institut bosmaxonasi, Samarqand sh., Lolazor ko'chasi 70-uy.