

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Саратовский государственный аграрный университет
имени Н.И.Вавилова**

Физика

Методические указания по выполнению лабораторных работ

Направления подготовки

19.03.01 Биотехнология, 19.03.02 Продукты питания из растительного сырья,
36.03.02 Зоотехния, 27.03.02 Управление качеством, 35.03.07 Технология производства
и переработки сельскохозяйственной продукции;

Специальность

36.05.01 Ветеринария

Профиль подготовки

«Биотехнология», «Технология хлеба, кондитерских и макаронных изделий»,
«Управление качеством в производственно-технологических системах», Технология
пищевых производств в АПК;

Квалификация

Ветеринарный врач

Саратов
2018

Физика: метод. указания по выполнению лабораторных работ для направлений подготовки 19.03.01 Биотехнология, 19.03.02 Продукты питания из растительного сырья, 36.03.02 Зоотехния, 27.03.02 Управление качеством, 35.03.07 Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции, специальность 36.05.01 Ветеринария, / Сост.: З.И. Иванова // ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2018. – 117 с.

Методические указания по выполнению лабораторных работ составлены в соответствии с программой дисциплины и предназначены для студентов направлений подготовки 19.03.01 Биотехнология, 19.03.02 Продукты питания из растительного сырья, 36.03.02 Зоотехния, 27.03.02 Управление качеством, 35.03.07 Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции, специальности 36.05.01 Ветеринария; содержат краткое описание лабораторных методов изучения физических явлений. Направлены на формирование у студентов навыков применения физических знаний для решения профессиональных задач. Материал ориентирован на вопросы профессиональной компетенции будущих специалистов сельского хозяйства.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с учебным планом каждый студент должен выполнить определенное число лабораторных работ. Для того чтобы приступить к выполнению лабораторной работы каждый студент должен самостоятельно изучить теоретический материал по данной теме, используя конспект лекции и рекомендуемую литературу, разобраться в методике опыта и изучить экспериментальную установку. Кроме этого необходимо подготовить форму отчета по данной работе и окончательно оформить отчет по предыдущему занятию. Время, которое студент проводит в лаборатории физического практикума необходимо для теоретического отчета по данной работе, проведения эксперимента, обработки результатов измерений и окончательного отчета по данной работе, то есть, прежде чем приступить к экспериментальной части работы, необходимо получить ДОПУСК (разрешение) к работе по теории эксперимента, а также по устройству экспериментальной установки.

Во время лабораторных занятий студент обязан аккуратно заносить в отчет результаты измерений и производить необходимые вычисления. После проведения эксперимента отчет представляется на подпись преподавателю. При защите лабораторной работы студент должен показывать полное понимание теории эксперимента, а также умение выполнить и оформить работу правильно и аккуратно. Все отчеты по выполненным работам должны быть подписаны преподавателем и предъявлены при зачете в конце семестра. Подготовка к каждому двухчасовому лабораторному занятию рассчитана в среднем на 1,5 часа самостоятельной работы.

При подготовке к лабораторным занятиям рекомендуется использовать следующую литературу: а) основная литература (библиотека СГАУ):

1. Грабовский, Р.И. Курс физики [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2012. — 608 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/3178>
2. Никеров, В.А. Физика для вузов: Механика и молекулярная физика / Никеров В.А. - М.: Дашков и К, 2017. - 136 с.: ISBN 978-5-394-00691-3. – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/415061>
3. Крамаров, С.О. Физика. Теория и практика: Учебное пособие / Под ред. проф. С.О. Крамарова. - 2-е изд., доп. и перераб. - М.: ИЦ РИОР, НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 380 с.: 60х90 1/16. - (Высшее образование) (Переплёт 7БЦ) ISBN 978-5-369-01522-3. — Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/522108>

б) дополнительная литература

1. Дмитриева, В. Ф. Физика : программа, метод. указ. и контрольные задания для студ.-заочников инженерно-технических и технологических спец. вузов / В. Д. Дмитриева, В. А. Рябов, В. М. Гладской. - 4-е изд., стер. - М.: Высш. шк., 2007. - 126 с. - ISBN 5-06-004352-5
2. Основы физики и биофизики: Учеб. пособие : учебное пособие / ред. : А. И. Журавлев. - М. : Мир, 2005. - 383 с. : ил. - (Учеб. и учеб. пособия для студ. высш. учеб. заведений).
3. Пронин, В. П. / Краткий курс физики : учебное пособие / В. П. Пронин. - Саратов : ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ", 2009. - 296 с. - ISBN 978-5-7011-0533-9
4. Трофимова, Т. И. / Физика. 500 основных законов и формул : справочник / Т. И. Трофимова. - 6-е изд., стер. - М. : Высш. шк., 2007. - 63 с. - ISBN 978-5-06-003741-8 :

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОШИБКИ ЭКСПЕРИМЕНТА И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерение – это операция, в результате которой мы узнаем, во сколько раз измеряемая величина больше или меньше соответствующей величины, принятой за единицу. Сам процесс измерения состоит из двух составных частей – наблюдения и отчета. Главная задача наблюдения состоит в том, чтобы зафиксировать какое-либо физическое явление, например, момент падения шарика при определении ускорения свободного падения тела g , а затем, когда этот факт установлен, произвести отсчет времени по шкале секундомера.

Некоторые физические величины можно измерить непосредственно, например, длину стола можно измерить линейкой, время процесса – часами и т. д. Такие измерения получили название прямых измерений. Очень часто для получения искомой физической величины необходимо измерить несколько разных величин, которые определенным образом связаны друг с другом. Так, например, для определения плотности тела необходимо определить массу m и объем v , а плотность рассчитывается по формуле:

$$\rho = m/V$$

Такой метод определения физической величины получил название косвенного.

При любых, даже самых точных измерениях, при строжайшем соблюдении всех правил обращения с приборами полученная величина не является абсолютно точной, а содержит некоторую ошибку или погрешность измерения. В задачу измерения входит не только нахождение самой величины, но также и оценка допущенной при измерении погрешности.

Все ошибки делятся на две большие группы: систематические и случайные ошибки. Ошибки, обусловленные точностью измерительного прибора или методики эксперимента называются систематическими. Они сохраняют свою величину и знак от опыта к опыту.

Случайными называются ошибки, обусловленные экспериментатором или условиями, в которых проводится эксперимент. Эти ошибки непредсказуемым образом изменяют свою величину и знак от опыта к опыту.

Поясним это на примерах. Пусть измеряем время процесса секундомером, который «спешит» или «отстает» на определенное время t .

Тогда эта ошибка будет всегда присутствовать при измерениях, и ее можно учесть простым способом – прибавить или вычесть из полученного результата. Это – систематическая ошибка. Она занижает полученный результат, или завышает его.

Другой пример. Пусть мы записываем биопотенциалы сердца самописцем. При записи очень слабых токов (а биопотенциалы имеют очень малую величину) необходимо строго следить за режимом работы электронной аппаратуры. При включении или выключении посторонних приборов они будут давать наводки на получаемую на ленте картину биопотенциалов. Эти процессы носят случайный характер и будут давать нам случайную ошибку при измерении. К случайным следует также отнести погрешности, не зависящие от экспериментатора, например, колебание температуры в комнате в процессе измерения, изменение давления, колебание сетевого напряжения и т. п.

Случайные и систематические ошибки всегда присутствуют при любом виде измерений. Одной из главных задач эксперимента является умение оценить вклад каждой из ошибок в результат измерения и свести их к минимуму. Влияние случайных

ошибок на результат измерений может быть существенно уменьшено при многократном повторении опыта, так как завышенные и заниженные значения будут встречаться одинаково часто и должны скомпенсировать друг друга.

Другое дело – систематические ошибки. Путем простого увеличения числа опытов вклад их уменьшить нельзя, так как она постоянно присутствует с одним и тем же знаком. Для их уменьшения необходимо усовершенствовать прибор, используемые для измерений, или изменить методику эксперимента.

Источников ошибок при любом виде измерений может быть много. Это ошибки любого, даже самого точного прибора, ошибки измерений, ошибки вычислений, то есть ошибки в процессе математической обработки результатов измерений, включая ошибки округления. Особое место в классификации ошибок занимают промахи или грубые ошибки. Это результаты опыта, которые резко отличаются от остальных измерений. Они возникают из-за невнимания экспериментатора, допустившего, например, неправильное считывание результатов со шкалы измерительного прибора, из-за нарушения нормальной работы измерительной аппаратуры, из-за неправильной записи результатов и т. п. Такие данные следует исключить при обработке результатов или повторить опыт, если это возможно.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ.

Пусть некоторая физическая величина измерена n раз и имеет значения $x_1, x_2, \dots, x_n$ и предположим, что все погрешности в измеряемой величине обусловлены только случайными ошибками. Тогда, если учесть, что случайные погрешности измерений с равной степенью вероятности могут давать отклонения от измеряемой величины как в большую, так и в меньшую сторону, то при большом числе измерений они могут скомпенсировать друг друга.

Из курсов высшей математики известно, что наиболее близким к истинному значению измеряемой величины будет среднее арифметическое всех измерений этой величины.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

где $\bar{x}$ – среднее арифметическое измерений,

$x_1, x_2, \dots, x_n$ – результаты отдельных измерений.

Среднее арифметическое всех измерений отличается от значения, полученного в каждом 1-ом измерении на некоторую величину, т.е.

$$\Delta x_i = x_i - \bar{x}.$$

Величина Δx_i получила название абсолютной величины погрешности отдельного измерения и измеряется в тех же единицах, что и измеряемая величина. Зная абсолютные величины погрешностей всех отдельных измерений, можно подсчитать среднюю абсолютную погрешность в виде:

$$\Delta \bar{X} = \frac{\Delta X_1 + \Delta X_2 + \dots + \Delta X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta X_i}{n},$$

где $|\Delta X_i|$ – абсолютные значения величины погрешностей отдельных измерений, т. е. взятые с положительным знаком.

Тогда истинное значение измеряемой величины представляется так:

$$X = \bar{X} \pm \Delta \bar{X},$$

Т. е. истинное значение величины X будет заключено между двумя значениями

$\bar{X} - \Delta \bar{X}$ и $\bar{X} + \Delta \bar{X}$ и, чем меньше средняя абсолютная погрешность, тем точнее мы знаем истинное значение искомой величины.

В ряде случаев при измерении какого-либо параметра получается одна и та же величина. Это значит, что точность прибора, которым производились измерения, недостаточна для определения этой величины. Например, цилиндр измеряется штангенциркулем с точностью 0,1 мм три раза. В результате измерений получается, что диаметр равен 16,2; 16,2; 16,2 мм. В этом случае делать многократные измерения бесполезно. Необходимо для контроля измерить предмет два раза и результат измерений записать в виде:

$$\bar{X} = \bar{X} \pm X_{\text{пр}}$$

где $\bar{X}$ – среднее арифметическое из двух измерений, соответствующих соседним делениям шкалы прибора, между которыми заключено значение измеряемой величины; $X_{\text{пр}}$ – предельная погрешность прибора, равная половине цены деления шкалы прибора.

Часто при выполнении лабораторной работы приходится иметь дело с величинами, которые в работе не определяются, а даются как некоторые постоянные. Тогда абсолютную погрешность такой величины принимают равной половине единицы наименьшего разряда в числе, измеряющем эту величину. Например, известно, что масса маятника равна $M = 268,3 \text{ г}$, тогда абсолютную ошибку массы можно принять равной 0,05 г и записать $M \pm \Delta M = (268,3 \pm 0,05)$

Характеризуя измеряемую физическую величину абсолютной ошибкой измерения, мы, однако, ничего не можем сказать о точности измерения. Пусть, например, сила тока I равна $I_1 = (10,0 \pm 0,1) \text{ А}$, а в другом случае $I_2 = (0,5 \pm 0,1) \text{ А}$. Несмотря на то, что абсолютная погрешность в обоих случаях одинакова, ясно, что первое измерение сделано точнее.

Для характеристики точности измерений вводится относительная погрешность, показывающая, какую долю измеренной величины составляет абсолютная погрешность измерений. Она определяется как отношение абсолютной погрешности измерения к полученному результату искомой величины:

$$E = \frac{\Delta \bar{X}}{\bar{X}}$$

Обычно относительную погрешность представляют в процентах. Так, в примерах, рассмотренных выше, относительная ошибка будет

$$E_1 = \frac{0,1}{10,0} 100\% = 1\% \quad \text{и} \quad E_2 = \frac{0,1}{0,5} 100\% = 20\%$$

Т.е. точность измерений силы тока во втором случае меньше в 20 раз, хотя абсолютные ошибки измерений одинаковы.

Если известна относительная ошибка измерений, то абсолютная погрешность может быть вычислена как

$$\Delta \bar{X} = E \cdot \bar{X}$$

Многократные измерения полученных величин необходимо аккуратно заносить в таблицу. В ней должно быть предусмотрено место и для абсолютных ошибок измерений, а также среднего значения величины.

В качестве примера в таблице 1 приведены значения напряжений, измеренных на добавочном сопротивлении.

Таблица 1

Измерение напряжений на добавочном сопротивлении

N / N	U_x , В	ΔU_x , В
1	8,3	0,0
2	8,2	0,1
3	8,4	0,1
4	8,1	0,2
5	8,3	0,0
6	8,4	0,1
7	8,3	0,0
8	6,2	промах
9	8,4	0,1
10	8,2	0,1
средн.:	8,3	0,1

Из таблицы видно, восьмой результат неверен, т. е. допущен промах, и этот результат не следует учитывать при расчете среднего значения.

Тогда для остальных значений напряжений имеем:

$$U_{cp} = \frac{8,3 + 8,2 + 8,4 + 8,1 + 8,3 + 8,4 + 8,3 + 8,4 + 8,2}{9} = 8,3В$$

$$\Delta U_{cp} = \frac{0,0 + 0,1 + 0,1 + 0,2 + 0,0 + 0,1 + 0,0 + 0,1 + 0,1}{9} = 0,1В$$

Относительная погрешность при этом будет равна:

$$E = \frac{0,1}{8,3} 100\% = 1,2\%$$

Окончательный ответ для средней величины можно записать в виде

$$\bar{U}_x = (8,3 \pm 0,1)В \text{ или } \bar{U}_x = 8,3 \pm 1,2\%.$$

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИ КОСВЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ.

Многие физические величины определяются расчетным путем по соответствующим формулам, связывающим ряд других величин. Так для определения ускорения свободного падения математическим маятником, необходимо измерить длину маятника и определить период его колебаний, затем подставить эти величины в формулу:

$$g = \frac{4\pi^2 \ell}{T^2}$$

Для вычисления работы электрического тока по формуле $A = I U t$, необходимо определить силу тока I , напряжение U и время t .

Очевидно, что каждая физическая величина, непосредственно измеряемая в опыте, определяется с некоторой погрешностью. Чтобы вычислить погрешность в определении искомой величины (в данном случае g или A), необходимо знать погрешности непосредственно, измеряемых, величин, функцией которых она является.

Систематические ошибки, если они выявлены, как правило, легко учитываются, так как их величина постоянная и имеет определенный знак. Так, если начало отсчета микрометра не совпадает с нулем и в нулевом положении

измерительный барабан микрометра показывает два деления, то это означает, что все полученные результаты будут завышены на 0,02 мм и эта систематическая ошибка будет отрицательной. Например, диаметр стержня, определенный с помощью такого микрометра, равен 15,82 мм, тогда истинный диаметр с учетом поправки будет равен $15,82 - 0,02 = 15,80$ мм.

Для оценки случайных ошибок необходимо в общем случае воспользоваться элементами теории вероятностей, из выводов которой следует, что чем больше проведено измерений искомой величины, тем точнее, надежнее результат. Однако увеличивать число измерений до разумного предела, так как повышение точности эксперимента при увеличении числа измерений может быть кажущимся.

Ранее отмечалось, что случайные ошибки могут быть разных знаков, и при вычислении суммарной погрешности они могут друг друга компенсировать. Чтобы не допустить преувеличенного представления о точности в определении искомой величины, необходимо, все погрешности, рассматривать в самом невыгодном для погрешности варианте, т.е. когда погрешность будет максимальной.

Рассмотрим примеры нахождения погрешностей при косвенных измерениях в наиболее простых случаях.

1. Пусть имеем неизвестную величину N , которая является функцией двух других величин a и b . Последние величины мы непосредственно измеряем на опыте. Необходимо определить, как влияют ошибки величин a и b на погрешность вычисления величины N .

1) Пусть $N = a + b$.

Величины a и b имеют свою погрешность Δa и Δb . Тогда:

$$N \pm \Delta N = (a \pm \Delta a) + (b \pm \Delta b).$$

При вычислении суммы двух величин a и b наибольшую ошибку мы получим, если ошибки измерения величин a и b будут одинакового знака, а при разности – разного знака. В обоих случаях погрешность измерений ΔN величины N равна сумме абсолютных ошибок a и b , т.е. $\pm \Delta N = \pm (\Delta a + \Delta b)$.

Относительные ошибки измерений будут:

$$E = \frac{\Delta N}{N} = \frac{\Delta a + \Delta b}{a + b} \quad \text{для суммы} \qquad E = \frac{\Delta N}{N} = \frac{\Delta a + \Delta b}{a - b} \quad \text{для разности}$$

Отсюда видно, что, если искомая величина равна разности двух величин, то относительная ошибка измерения тем больше, чем меньше разность измеряемых величин a и b .

2) Пусть $N = a * b$. Тогда

$$N \pm \Delta N = (a \pm \Delta a) * (b \pm \Delta b) = a * b \pm a * \Delta b \pm b * \Delta a \pm \Delta a * \Delta b$$

Произведением $\Delta a * \Delta b$ можно пренебречь, так как оно представляет произведение двух малых величин. Тогда

$$\Delta N = a * \Delta b + b * \Delta a$$

Относительная ошибка произведение равна:

$$E = \frac{\Delta N}{N} = \frac{a * \Delta b + b * \Delta a}{ab} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}$$

3) Пусть $N = a/b$. Тогда

$$N \pm \Delta N = \frac{a + \Delta a}{b + \Delta b} = \frac{(a + \Delta a) * (b + \Delta b)}{b^2 - (\Delta b)^2} = \frac{a * b \pm \Delta a * b + \Delta b * a}{b^2 - (\Delta b)^2}$$

Опять, пренебрегая произведением малых величин, получим:

$$\Delta N = \frac{b * \Delta a + a * \Delta b}{b^2}$$

Относительная ошибка частного будет равна:

$$E = \frac{\Delta N}{N} = \frac{b(b * \Delta a + a * \Delta b)}{ab^2} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}$$

Подсчет ошибок можно значительно упростить, если воспользоваться методами дифференциального исчисления. Особенно это полезно для подсчетов ошибок сложных функций. Известно, что дифференциал натурального логарифма равен:

$$d(\ln X) = dX/X$$

Тогда, если бесконечно малые величины дифференциалов $d(\ln X)$ и dX заменить на конечные величины абсолютных погрешностей измерения $\Delta(\ln X) = \Delta X/X = E$.

Т.е. для нахождения относительной ошибки измерений сложной функции ее надо сначала прологарифмировать, а затем продифференцировать, заменить знак дифференциала d на Δ и учесть знаки, чтобы относительная ошибка E была бы максимальной. ПРИМЕР 1. Найти относительную ошибку измерения объема цилиндра.

Формула для определения объема цилиндра имеет вид:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} h$$

Прологарифмируем данное выражение.

$$\ln V = \ln \pi - \ln 4 + 2 \ln D + \ln h$$

Продифференцируем последнее выражение.

$$d(\ln V) = d(\ln \pi) - d(\ln 4) + 2d(\ln D) + d(\ln h)$$

Учитывая, что дифференциал постоянной величины равен нулю, получим:

$$E = \frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta \pi}{\pi} + 2 \frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta h}{h}$$

Абсолютная ошибка объема равна $\Delta V = E * V$

В таблице 2 приведены некоторые для подсчета ошибок.

Таблица 2

Погрешности при косвенных измерениях

Формула x	Погрешности	
	абсолютная:	относительная
$X = X + B$	$\Delta A + \Delta B$	$\frac{\Delta A + \Delta B}{A + B}$
$X = A - B$	$\Delta A + \Delta B$	$\frac{\Delta A + \Delta B}{A - B}$
$X = A * B$	$A * \Delta B + B * \Delta A$	$\frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B}$
$X = A^n$	$n * A^{n-1} * \Delta A$	$\frac{n * \Delta A}{A}$
$X = \sqrt[n]{A}$	$\frac{A^{\frac{1}{n}-1} * \Delta A}{n}$	$\frac{\Delta A}{n * A}$
$X = A/B$	$\frac{B * \Delta A + A * \Delta B}{B^2}$	$\frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B}$

В заключение следует сказать, что если искомая величина определяется путем непосредственного измерения многих величин, то вычисленная предельная ошибка оказывается всегда завышенной, так как при получении формул для подсчета ошибок мы всегда рассматриваем самый неблагоприятный для ошибок случай. Для уточнения величины погрешности необходимо повторить эксперимент несколько раз и оценить ошибку измерения непосредственно по разбору результатов отдельных измерений. В лабораториях физического практикума суммарная погрешность в определении физической величины в лабораторных работах, как правило, не должна превышать 5%.

При косвенных измерениях рекомендуется оценивать вклад каждой конкретной величины в суммарную ошибку измерений. Это позволит в некоторых случаях повысить общую точность измерений путем повторного измерения величины, дающей самый большой вклад в ошибку, более точным прибором, а в других случаях избежать бесполезных затрат труда на точное измерение некоторых величин, когда другие измерения намного грубее.

ПРАВИЛА ПРИБЛИЖЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

При решении большинства физических задач приходится иметь дело с приближенными величинами, которые вычислены 3,4; 3,40; 3,400. Все эти числа не одно и то же. Запись 3,4 означает, что верны только значения целых, а истинное значение этой величины может быть 3,38 или 3,42, т. е. было проведено округление этих чисел до 3,4. В числе 3,40, верны и целые и десятые доли, а в числе 3,400 – целые, десятые и сотые доли. При такой записи все цифры числа, кроме последней, будут верными, а последняя – сомнительной. Значащими цифрами числа называются все верные и сомнительные цифры, исключая нули слева.

Если при вычислении получаются числа с большим количеством цифр, например, 8,4328345, и нам известно, что верных должно быть 2 цифры, то цифра 3 будет сомнительной. Все цифры, стоящие правее сомнительной будут неверными.

Как правило, в результате вычисления окончательного результата следует отбросить все неверные цифры с соблюдением правил округления. Например, если результат вычисления равен 2,3478 мм, а ошибка измерительного прибора 0,01 мм, то окончательный результат можно записать как $(2,35 \pm 0,01)$ мм, т. е. отброшены две неверные цифры 7 и 8 и оставлены две верные 2 и 3 и одна сомнительная. Если же полученное число будет использоваться для дальнейших вычислений, то в нем следует сохранить и одну неверную цифру, т. е. оставить число 2,347 мм, где цифра 7 запасная. Следует помнить, что во всех справочных таблицах физических и математических величин приводятся числа только с верными цифрами и одной сомнительной. Ошибка округления в этом случае принимается равной половине единицы сомнительной цифры.

ПРИМЕР 1. Показатель преломления воды по таблице равен 1,33. Тогда ошибка округления равна $\pm 0,005$.

ПРИМЕР 2. Число $\pi = 3,14$. Ошибка округления равна $\pm 0,005$. Если взять число $\pi = 3,1416$, то ошибка округления равна 0,00005.

3.1. ПРАВИЛА ОКРУГЛЕНИЯ

При округлении следует руководствоваться следующими правилами.

1. Если первая из отбрасываемых цифр больше 5, то последняя из сохраняемых цифр увеличивается на единицу. Например, округляя число 201,764 до четырех

значащих цифр, получим 201,8. Четвертая цифра 7 увеличилась до 8, т. к. первая отбрасываемая цифра 6, больше чем 5.

2. Последняя из сохраняемых цифр увеличивается на единицу, если первая из отбрасываемых цифр равна 5, а за ней есть значащие цифры. Например, округляя число 27,453 до трех значащих цифр, получим 27,5. Цифра 4 увеличивается до 5, т. к. первая отбрасываемая цифра равна 5, а за ней есть значащая цифра 3.

3. Если же отбрасываемая цифра меньше 5, то последняя цифра остается без изменений. Например, округляя число 201,5267 до четырех значащих цифр, получаем 201,5. Первая из отбрасываемых цифр 2 меньше 5, тогда цифра 5 остается без изменений.

4. Если отбрасываемая цифра 5, а за ней нет значащих цифр, то округление производится на ближайшее четное число, т.е. последняя сохраняемая цифра остается неизменной, если она четная и увеличивается на единицу, если она нечетная.

ПРИМЕР 1. Округляя число 0,665 до сотых долей получим 0,66. Увеличения цифры 6 на единицу не делается, т.к. она четная.

ПРИМЕР 2. Округляя число 0,0735 до третьего десятичного знака, получим 0,074. Последняя сохраняемая цифра увеличивается с 3 до 4, т.к. она нечетная.

ВЫЧИСЛЕНИЯ С ПРИБЛИЖЕННЫМИ ЧИСЛАМИ

При сложении и вычитании приближенных чисел все слагаемые округляют до сомнительной цифры, стоящей в самом высшем разряде, а затем производят сложения или вычитания.

ПРИМЕР 1. $2,15 + 0,929 + 0,378 = 2,15 + 0,93 + 0,38 = 3,46$

Если сложить все три числа без округления, то получим 3,456, что после округления дает нам 3,46. Использование предварительного округления позволяет избавиться от бесполезных расчетов и получить результат без потери точности. Точность может быть потеряна в случае вычитания, когда уменьшаемое и вычитаемое мало отличаются друг от друга.

ПРИМЕР 2. Пусть физическая величина находится как разность двух близких величин и равна $R = 2,73 - 2,69 = 0,04$. Отсюда видно, что исходные данные имеют три значащих цифры, а результат только одну. В таких случаях необходимо избегать вычисления искомой величины с помощью вычитания близких чисел и изменить методику измерений.

При умножении и делении приближенных чисел их следует предварительно округлить, сохранив в них столько цифр, сколько имеет наименее точное число, и произвести математическое действие. В полученном результате необходимо оставить столько значащих цифр, сколько их в исходном данном с наименьшим количеством значащих цифр.

$$0,276 \cdot 3,5 \approx 0,28 \cdot 3,5 = 0,98$$

Возведение в степень и извлечение квадратного корня из приближенных чисел. Возведение в степень – это частный случай умножения при небольших степенях результат имеет столько значащих цифр, сколько их во взятом числе.

$$X = 3,24^2 \approx 10,5$$

При извлечении корня результат имеет столько значащих верных цифр, сколько их было в подкоренном числе.

$$X = \sqrt{4,5400} \approx 2,1307$$

ГЛАВА ВТОРАЯ

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ИНСТРУМЕНТЫ

1. ШТАНГЕНЦИРКУЛЬ

Штангенциркуль предназначен для измерения линейных размеров тела. На рисунке 1 изображен штангенциркуль, наиболее часто используемых в лабораториях физического практикума, он состоит из основной шкалы (1), которая измеряет с точностью до 1 мм и нониуса (дополнительная шкала) (2), точность которого 0,1 мм (если нониус содержит 10 делений) или 0,05 мм (если нониус содержит 20 делений). Нониус расположен на подвижной части штангенциркуля. Штангенциркуль снабжен измерительным штоком (3) и крепежным винтом (4). При помощи нижних измерительных концов штангенциркуля, измеряется внешний размер предметов, а при помощи верхних - внутренних. Измерительным штоком (3) определяется глубина отверстий.

Измеряемое тело помещают между измерительными стержнями штангенциркуля. По основной шкале отсчитывают целое количество мм, расположенных между нулем основной шкалы и нулем нониуса. По нониусу находят деления, которые совпадают с каким-либо делением основной шкалы. Это деление нониуса и определяет количество десятых или сотых долей мм.

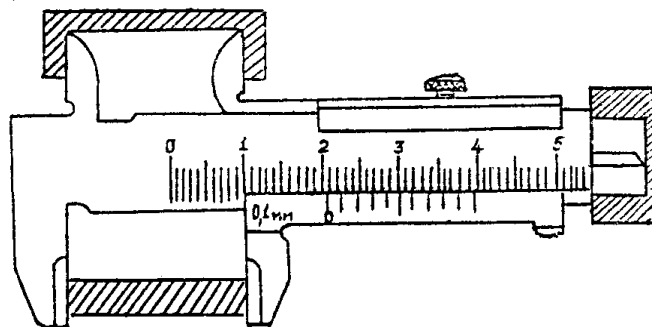


Рис.1

Микрометры.

Для измерения длины с точностью до 0,01 мм используются микрометры.

Микрометр состоит из скобы (1), жестко соединенной с левым измерительным стержнем (2) и с цилиндром с миллиметровой шкалой (3). Внутри цилиндра нарезана резьба с шагом 0,5 мм, в которую ввинчивается микрометрический винт соединенный с барабаном (4) и с подвижным измерительным стержнем (2). При полном обороте винта его конец перемещается на 0,5 мм. Если головка винта имеет шкалу с 50 делениями, то поворот его на одно деление вызывает смещение конца винта на 0,01 мм, т. е. цена деления круговой шкалы будет равна 0,01 мм. Для обеспечения постоянной силы зажима измеряемого тела во избежание его деформации служит трещотка (5).

Общий вид микрометра с пределами измерения длины от 0 до 25 мм на рисунке (2).

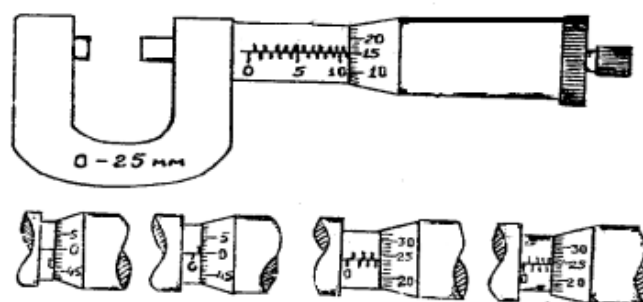


Рис.2

Выше отмечалось, что шаг резьбы микрометрического винта составляет 0,5 мм. Поэтому для смещения подвижного измерительного штока (2) на 1 мм следует сделать два полных оборота барабана. Для удобства считывания результатов на цилиндр нанесены две миллиметровые шкалы, нижняя шкала имеет разбивку от 0 до 25 мм, а верхняя вспомогательная шкала имеет деления, которые точно совпадают с серединой миллиметровых делений нижней шкалы. Порядок считывания результатов на микрометре показан на рис. 2.

Перед началом измерений микрометром следует обязательно проверить положение нулевого отсчета и учесть систематическую ошибку прибора или провести настройку прибора (под наблюдением преподавателя или лаборанта).

ТЕХНИЧЕСКИЕ ВЕСЫ

В лабораториях физического практикума часто необходимо измерение массы тел с точностью 50-100 мг. Такую точность при взвешивании могут обеспечить технические весы.

Технические весы по своей конструкции коромысловые, равноплечные на трех призмах, с двумя нижними чашками, подвешенными при помощи серег и дужек на грузоприемные призмы коромысла.

В лабораториях физического практикума наиболее часто применяются весы, технические характеристики которых приведены в таблице 3.

Таблица 3

Основные характеристики технических весов

Индекс весов	Допустимые нагрузки		Допустимые погрешности, мг		
	Наименьшая, г	Наибольшая, г	ненагруженные	При 0,1 предельной нагрузки	При предельной нагрузке
T-200	10	200	±8	±20	±60
T-1000	50	1000	±20	±50	±200
T-5000	200	5000	±50	±100	±500

При взвешивании на технических весах необходимо руководствоваться следующими правилами.

1. Весы необходимо установить на жестком основании, лучше всего на плите, закрепленной к стенке при помощи кронштейнов, в помещении, где отсутствуют вибрации.

2. Под ножки весов кладут подставки, и весы устанавливаются по отвесу.

3. Коромысло весов с навешанными подвесками и чашками должно находиться в равновесии, то есть стрелка после ряда затухающих колебаний коромысла должна останавливаться против среднего деления шкалы. Равновесие весов достигается путем перемещения тарировочных гаек коромысла.

4. Арретирование весов следует производить осторожно, плавно и полностью закрывать тогда, когда стрелка проходит среднее деление шкалы.

5. Класть и снимать груз и разновесы можно только при арретированном положении весов (закрытом).

6. Необходимо соблюдать чистоту деталей и весов в целом.

6. СЕКУНДОМЕРЫ

Для измерения времени в лабораториях физического практикума широко применяются механические и электромеханические секундомеры. Как правило, точность таких секундомеров не превышает десятых и сотых долей секунды и определяется большой инерцией движущихся деталей механизма. Механические секундомеры типов С-1, С-2, СМ-60 имеют цену деления 0,1 или 0,2 с. Хотя основная ошибка этих секундомеров равна цене деления шкалы, необходимо еще учитывать ошибку пуска и остановки секундомера, которая достигает 0,3 с. Таким образом, суммарная ошибка секундомера может достигать 0,5 с для секундомера с ценой деления 0,2 с. Кроме этого, при измерении больших промежутков времени необходимо еще учитывать ошибку хода времени секундомера. Так, для секундомера С-1, С-2, СМ-60 она может быть 1,5 с за 30 минут хода.

Большое распространение получили также электромеханические секундомеры различных типов, например, секундомер-датчик времени СЭД-1М. Этот электромеханический секундомер-датчик может работать в двух режимах: 1 – в качестве секундомера, измеряющего временной интервал от 0 до 12 с. с точностью 0,01 с, 2 – в качестве датчика времени с длительностью выдержки от 0 до 11,75 с.

Электромеханические счетчики времени используются вместе с устройствами, обеспечивающими автоматическое совпадение пуска и остановки с началом и концом процесса, длительность которого определяется.

7. ТЕРМОМЕТРЫ

Для измерения температуры используются жидкостные и термоэлектрические термометры различных типов.

7.1 ЖИДКОСТНЫЕ ТЕРМОМЕТРЫ

В жидкостных термометрах в качестве термометрического вещества используются ртуть, а также различные спирты, толуол, анилин, керосин и др. жидкости. Пределы измерения температуры ртутным термометром от $-38,8^{\circ}\text{C}$ до $+750^{\circ}\text{C}$, для других жидкостей не выше $+200^{\circ}\text{C}$, а нижний предел для некоторых жидкостей -200°C . Каждый конкретный термометр имеет определенный диапазон измерений температуры

и определенную точность измерения. Так, например, в таблице 4 приведены допустимые погрешности и температурный интервал для жидкостных термометров в соответствии с ГОСТ 400-84.

Таблица 4

Допустимые погрешности жидкостных термометров (ГОСТ 400-84)

Интервал температур	Допустимая погрешность при цене деления, С		
	1	0,5	0,2
От -30 до 0	±1	±1	±0,1
От +1 до +100	±1	±1	±0,1
От +101 до +200	±2	±1	±0,2
От +201 до +300	±3	±2	±1,0
От +301 до +400	±4	-	-

К каждому термометру предлагается инструкция по их применению и паспорт с поправками к показаниям. Для определения истинной температуры к показанию термометра алгебраически прибавляется поправка, относящаяся к данной температурной точке. Для промежуточных температурных точек поправка определяется линейным интерполированием.

7.2 Контактные термометры

Для поддержания постоянной температуры в некотором пределе используются контактные термометры типа ТПК.

Принцип работы таких термометров основан на замыкании цепи электрического тока контактами термометра при температуре, на которую установлен подвижной контакт. При этом срабатывает реле и размыкает контакты в цепи электрического нагревателя. Нагреватель отключается от сети и нагрев прекращается, температура снижается до тех пор, пока ртутный столбик не опустится и не разомкнет контакты термометра. При этом замыкаются контакты реле в цепи электронагревателя и начинается подъем температуры до момента замыкания контактов термометра. Происходит срабатывания реле на включение нагревателя и т. д.

Таким образом, при помощи контактного термометра поддерживается постоянно заданная температура среды. Допустимые отклонения отсчета по шкале термометра при его настройке не превышают цены наименьшего деления. Настройка термометра на требуемую температуру контактирования производится с помощью магнитного приспособления, которое вращают в ту или иную сторону и тем самым поднимают или опускают конец вольфрамовой нити, устанавливая его на штрихе температурной отметки заданной температуры контактирования.

Контактные термометры выпускаются на различные пределы регулирования температура.

7.3 ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТЕРМОМЕТРЫ

В термоэлектрических термометрах используются зависимость электродвижущей силы термопары от температуры.

Если в цепь, состоящую из двух спаянных термопар, включая милливольтметр, то он покажет ЭДС.

$$E. = f (t_1) - f (t_2)$$

Где t_1 и t_2 – температуры спаев.

При измерениях температуры термопарой температура одного из спаев поддерживается постоянной, тогда по величине ЭДС можно оценить температуру среды, в которой находится второй спай. Для этого необходимо проградуировать термопару в сравнении с эталонным термометром и построить график зависимости ЭДС термопары от температуры. По этому градуированному графику и определяют температуру измеряемого тела.

Все термопары имеют определенный предел измерения температуры и погрешность измерения (табл. 5).

Таблица 5

Электрические характеристики термопар

Термопара	Рабочий интервал, К	Максимальная термо ЭДС, мВ	Погрешность измерения, К
Медь – константан	2 – 700	21	$\pm(0,1 - 1)$
Железо – константан	70 – 1300	58	± 1
Pt – Pt 10% Rh	250 – 2100	17	$\pm(1 - 3,5)$
Никель – хром	250 – 1500	49	± 1
W+5%Re-W+20%Re	400 – 2800	30	$\pm(0,1 - 4)$
Вольфрам - молибден	1300 - 2800	8	± 5

Перед измерениями необходимо определить тип термопары, которая будет использоваться, и построить градуированный график в координатах $E. (t)$.

Для повышения точности измерения температуры, как правило, используются компенсационные методы измерения ЭДС термопар.

Термоэлектрические термометры позволяют осуществить контроль за исследуемым объектом на значительном расстоянии от места расположения спая термопары, измерять температуру небольших по размеру объектов, так как спай двух металлов может быть сделан достаточно малым. Такие термометры нашли широкое применение в медицине, ветеринарии, технике для локального измерения температуры различных органов (желудка, поверхности кожи, глаза и т. п.). Кроме этого, такие термометры ввиду незначительной массы спая имеют более высокую чувствительность, чем жидкостные. Методы измерения температуры с помощью термоэлектрических термометров легко поддаются автоматизации, что позволяет осуществить непрерывный контроль за температурой объекта в автоматическом режиме.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ОФОРМЛЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО ОТЧЕТА.

1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ И СТРУКТУРА ЛАБОРАТОРНОГО ОТЧЕТА

Каждый работающий в физическом практикуме должен определенным образом записывать и обрабатывать полученные результаты. Аккуратная, заранее продуманная запись результатов позволяет предупредить грубые ошибки при измерениях и расчетах, значительно экономить время, отведенное на эти работы.

Все записи результатов измерений, а также отчеты по лабораторным работам должны делаться в специальной тетради. Каждому лабораторному эксперименту, как правило, должна предшествовать предварительная подготовка, которая включает в себя изучение теоретического материала по данному вопросу, ознакомление с методикой измерения, предварительное оформление отчета, включая вычерчивание таблиц, подготовки миллиметровой бумаги для графиков и т.д.

В часы лабораторных занятий необходимо провести эксперимент, записать полученные результаты, и, по возможности, обработать их.

Окончательный отчет по лабораторной работе должен выглядеть следующим образом:

1. Порядковый номер работы (в соответствии с принятой в лаборатории нумерацией работ).
2. Название работы.
3. Цель работы
4. Приборы и принадлежности.
5. Краткая теория и методика эксперимента.
6. Схема измерений.
7. Таблицы измерений.
8. Построение графиков (если это необходимо).
9. Расчет искомой величины.
10. Подсчет ошибок измерений.
11. Выводы.

После каждого лабораторного отчета необходимо оставлять не менее двух листов чистой бумаги, используемой в дальнейшем для черновых записей следующей работы.

Каждый новый лабораторный отчет должен начинаться с новой страницы.

2. ОФОРМЛЕНИЕ ТАБЛИЦ

Результаты измерений, как правило, записываются в виде таблиц, которые оформляются следующим образом:

1. В правом углу над таблицей пишется слово «Таблица N . . .».
2. Ниже пишется ее название.
3. Делается разметка таблицы.
4. Каждый столбец или строка таблицы должны иметь свое название, обозначение и единицы измерения.

Дублирование единиц измерений в самой таблице НЕДОПУСТИМО !

В каждом описании к лабораторной работе дана примерная форма таблицы, которая может быть измерена в процессе работы.

3. ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ

Нахождение многих физических параметров с помощью графика является одним из способов решения задачи. Этот метод весьма наглядный и имеет преимущества перед расчетными способами нахождения физических величин. Применение графического способа обработки результатов позволяет использовать весь экспериментальный материал для нахождения искомой величины. Кроме этого, из построенного графика, как правило, ясно видна ошибка эксперимента – будь то ошибка экспериментатора или ошибка экспериментальной установки. И, наконец, из полученных графических зависимостей можно без сложных расчетов получить искомую физическую величины.

Как правило, графики строятся в прямоугольной системе координат на миллиметровой бумаге соответствующего масштаба (линейного, полулогарифмического, логарифмического) с использованием линейки, лекала. Каждая ось должна иметь свое обозначение и размерность (например, $L(\text{м})$, $T(\text{К})$, $F(\text{Н})$) и удобную для использования разбивку координатных осей, как правило, кратную числам 5 и 10. При этом следует учесть, что кривые должны занимать все поле чертежа, а оси абсцисс и ординат должны быть примерно одинаковой длины, что обеспечивает удобный угол наклона кривой для последующей интерпретации полученных результатов. Экспериментальные точки наносятся на график в виде четких условных обозначений – крестиков, кружочков, треугольников и т.д.

Для одной кривой необходимо использовать одни виды обозначений. Если кривых несколько, то они могут быть проведены разным цветом, но и в этом случае нанесение экспериментальных точек на график обязательно с соблюдением принятых условных обозначений. При окончательном оформлении графика, с него следует убрать ранее отмеченные вспомогательные линии, которые были необходимы для нанесения экспериментальных точек.

После нанесения всех экспериментальных точек через них проводится плавная кривая, причем, таким образом, чтобы она лежала как можно ближе к точкам, а число точек по обе стороны от кривой приблизительно были бы равным. Проводить сплошной линией полученную кривую за пределами экспериментальных значений не рекомендуется, так как нет гарантии того, что график будет иметь такой вид. Если это необходимо сделать (например, в случае экспериментирования), то кривая может быть продолжена пунктирной линией.

Построенные графики вклеиваются в лабораторный отчет и должны иметь соответствующий порядковый номер и название.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

4.1. ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ В ФИЗИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ

При работе в лаборатории по электричеству необходимо неукоснительно соблюдать правила техники безопасности.

1. Собирать электрическую цепь следует от источника тока, но подключать ее следует в последнюю очередь. При разборке цепи, прежде всего, следует отключить источник питания.
2. Все реостаты, включенные в цепь, должны быть установлены на максимум сопротивления.
3. Все ключи и коммутаторы при сборке должны быть разомкнуты.
4. Электроприборы и установки разрешается включать только после проверки собранной схемы преподавателем или лаборантом.
5. Питание включать только на время отсчетов.
6. Запрещается прикасаться к любым проводам и проводникам, находящимся под напряжением.
7. Запрещается оставлять без наблюдения схему, находящуюся под напряжением.
8. Без разрешения преподаватель или лаборанта запрещается переносить с места на место приборы и оборудование.

4.2. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Все электрические приборы, классифицирующие по следующим основным признакам:

А) по роду измеряемой величины – амперметры, вольтметры и др.;

Б) по роду тока – приборы постоянного тока, переменного тока, а также приборы постоянного и переменного тока;

В) по принципу действия – магнитоэлектрические, электромагнитные, электродинамические, индукционные, тепловые, электростатические и др.;

Г) по классу точности – 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

На шкалу прибора наносится символ, указывающий принцип действия прибора (Рис.6), род тока – постоянный (-) или переменный (~), способ установки прибора вертикально (.....┴.....) горизонтально (...—.....), пробивное напряжение изоляции (2кV) или 2, класс точности (1,0).

Принцип действия прибора магнитоэлектрической системы основан на действии магнитного поля постоянного магнита на рамку с током. Схема устройства прибора этой системы показана на рисунке 7.

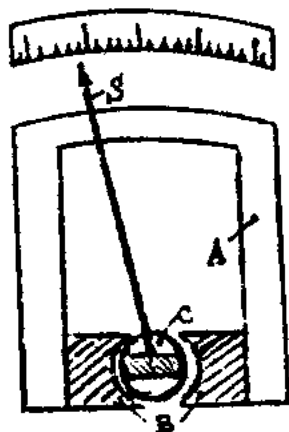


Рис.7

Неподвижный подковообразный магнит А имеет выполненные из мягкого железа полосы В, которые охватывает сплошной железный сердечник С. Между сердечником и полосами магнита имеется кольцевой зазор. На одной оси с сердечником находится подвижная легкая прямоугольная рамка, имеющая обмотку из тонкого изолированного провода. Рамка может свободно вращаться в воздушном зазоре между сердечником и полосками магнита.

Рамка представляет собой основную часть подвижной схемы, которая включает в себя и стрелку-указатель S. Подвижная система связана со спиральными пружинами, выполненными из немагнитного материала, которые служат для подвода тока к концам обмотки на рамке и для оказания противодействия вращению рамки.

В результате взаимодействия электрического тока, протекающего по рамке с магнитным полем постоянного магнита, возникает вращающий момент, под действием которого подвижная часть прибора поворачивается вокруг оси. Угол поворота зависит от силы тока I, протекающего по обмотке рамки прибора.

$$\alpha = k I$$

где k – коэффициент пропорциональности, зависящий от конструкции прибора.

Из этой зависимости видно, что магнитоэлектрические приборы имеют равномерные шкалы. Область применения магнитоэлектрических приборов весьма обширна. Они применяются в качестве амперметров и вольтметров постоянного тока как при технических измерениях, так и при контрольных лабораторных измерениях.

Из всех электроизмерительных приборов с непосредственным отчетом они дают небольшую точность измерения и являются наиболее экономичным в смысле потребления энергии. Лучшие конструкции этих приборов имеют класс точности 0,2.

Принцип действия приборов электромагнитной системы основан на взаимодействии магнитного поля тока, протекающего по обмотке неподвижной катушки, с подвижным железным сердечником, помещенным в это магнитное поле. (рис. 8.)

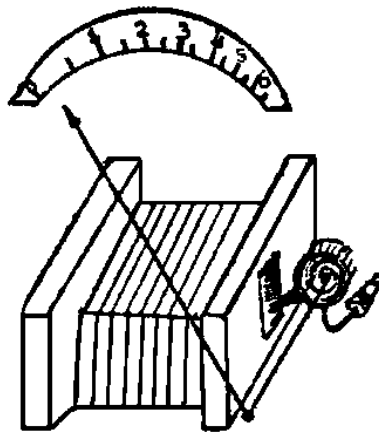


Рис.8

Прибор состоит из прямоугольной катушки А с узкой щелью. Сердечник В изготовлен из мягкого железа и укреплен эксцентрично на оси. С осью сердечника скреплены стрелка, поршень воздушного успокоителя С и спиральная пружина Д., создающая противодействующий момент.

Ток, протекающий по катушке А, образует внутри нее магнитное поле, под действием которого железный сердечник, поворачивается вокруг своей оси, втягивается в щель катушки. При увеличении тока возрастает индукция в щели катушки, увеличивается намагничивание железного сердечника. Теория показывает, что между углом отклонения стрелки и величиной тока существует квадратичная зависимость. Шкала таких приборов неравномерная.

Принцип действия приборов электродинамической системы основан на взаимодействии токов, протекающих по двум катушкам, из которых одна подвижна, а другая неподвижна. (рис. 9.)

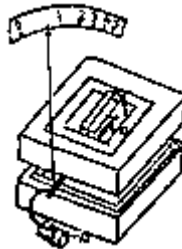


Рис.9

Неподвижная катушка состоит из двух, разделенных зазором одинаковых частей, обмотки которых соединены между собой последовательно. В этом зазоре расположена ось подвижной части прибора, с которой скреплены подвижная катушка В, стрелка С, поршень воздушного успокоителя Д. Под действием вращательного момента $M_1 = K_1 I_1 I_2$ подвижная рамка поворачивается на некоторый угол α .

При этом пружины создают противодействующий момент $M_2 = K_2 \alpha$. Из условия равенства моментов получим:

$$\alpha = I_1 I_2 K_1 / K_2$$

Отсюда видно, что шкала таких приборов неравномерна.

4.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНЫ ДЕЛЕНИЯ ПРИБОРА

При снятии показаний с электроизмерительных приборов необходимо правильно рассчитать цену деления прибора.

Пределом измерения L прибора называют максимальное значение параметра измеряемой величины, которой может измерить данный прибор.

Предел измерения указывается на корпусе прибора.

Величина предела указывает, сколько единиц измеряемой величины приходится на всю шкалу. Для нахождения цены деления прибора C следует предел измерения L разделить на общее число делений шкалы N .

$$C=L/N$$

4.4. ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

При оценке абсолютной погрешности электрических измерений необходимо учитывать класс точности прибора.

Класс точности указывается на приборе непосредственно вблизи шкалы.

Обозначения класса точности 0,2; 0,5; 1,0 и т.д. указывает, что погрешность показаний прибора соответствующего класса в любом месте шкалы не должна превышать 0,2%; 0,5%; 1,0%; и т. д. класс точности прибора зависит от системы, конструкции, качества материалов, точности градуировки и других факторов. Абсолютная погрешность электрических измерений определяется формулой: $A=K \times L / 100$, где K –класс точности прибора, L -предел измерения.

Например: Амперметр класса точности 1,5 с пределом измерения 5А будет давать абсолютную погрешность $1,5 \times 5 / 100 = 0,075$ А.

При точных измерениях следует пользоваться такими приборами, чтобы предполагаемое значение измеряемой величины составляло 70-80% от максимального значения предела измерения L .

Рассмотрим на примере расчет погрешности измерения внутреннего сопротивления элемента. Пусть электродвижущая сила источника $E=2$ В, напряжение на полюсах источника $U=1,3$ В, а амперметр – 1,0.

Абсолютные погрешности измерений:

$$\Delta E = \Delta U = \pm 0,5 \times 2,5 / 100 = 0,0125 \text{ В}$$

$$\Delta I = \pm 1,0 \times 1,5 / 100 = \pm 0,015 \text{ А}$$

Внутреннее сопротивление источника тока вычисляется по формуле:

$$r = \frac{(E - U)}{I} = \frac{2 - 1,3}{1,2} = 0,58 \text{ Ом}$$

Относительная погрешность $\Delta r / r$ определяется так:

$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta E + \Delta U}{E - U} + \frac{\Delta I}{I}$$

Подставив числовые данные, получим:

$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{0,0125 + 0,025}{2 - 1,3} + \frac{0,015}{1,2} = 0,0357 + 0,0125 = 0,048 = 5\%$$

Абсолютная погрешность равна $\Delta r = 0,05 \times 0,58 = 0,029 = 0,03 \text{ Ом}$

Окончательно получим, что измеренное нами внутреннее сопротивление источника тока равно:

$$r = (0,58 \pm 0,03) \text{ Ом}$$

ГЛАВА ПЯТАЯ

МЕХАНИКА, МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА, ЭЛЕКТРИЧЕСТВО, ОПТИКА.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ПРАВИЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ И РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: научиться пользоваться измерительными приборами – штангенциркулем, микрометром и техническими весами, освоить методику приближенных вычислений, приобрести необходимые практические навыки по обработке экспериментальных результатов, определить плотность твердого тела.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: штангенциркуль, микрометр, технические весы, разновесы, измеряемое тело.

1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Плотностью тела называется отношение массы тела к его объему

$$\rho = m / v .$$

В системе СИ плотность измеряется в кг/ м³, а в системе СГС в г/ см³.

Удельным весом называется отношение веса тела к его объему

$$\delta = P/V.$$

В системе СИ удельный вес измеряется в Н/м³, а в системе СГС в дин / см³.

Согласно второму закону Ньютона вес $P=mg$, где g – ускорение силы тяжести. Тогда удельный вес можно представить в виде произведения плотности тела на ускорения силы тяжести:

$$\delta = \frac{P}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g$$

При изменении температуры тела изменяется и его плотность, так как изменяется его объем. Зависимость плотности тела от температуры выражается формулой:

$$\rho_t = \frac{\rho_0}{1 + \beta t};$$

где ρ_0 - плотность тела при 0°С, β - коэффициент объемного расширения тела, t – температура тела.

Существует несколько способов определения плотности твердых тел. Если тело имеет правильную геометрическую форму, то его плотность легко определить, измерив его объем и массу. Если тело имеет неправильную геометрическую форму, то его объем определяют с помощью мензурки или применяют метод гидростатического взвешивания. Для определения объема мелких и сыпучих твердых тел, а также для определения плотности жидкости применяют специальный прибор – пикнометр.

В настоящей лабораторной работе определяется плотность твердых тел правильной геометрической формы, объем которых легко рассчитать по соответствующим формулам.

Для шара объем:

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{\pi D^3}{6}$$

где R – радиус, D – диаметр шара.

Для цилиндра объем:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} H ; \text{ где } D - \text{ диаметр цилиндра, } H - \text{ его высота.}$$

Полый цилиндр, для которого объем;

$$V = \frac{D^2 - d^2}{4} \pi H = \frac{\pi H}{4} (D + d)(D - d),$$

где D – внешний диаметр цилиндра, H – его высота, d – внутренний диаметр цилиндра.

Параллелепипед, для которого объем $V = a*b*c$, где a – высота, b – длина, c – ширина параллелепипеда.

II. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Определите массу тела на технических весах, соблюдая при этом правила работы с ними (Гл 2). Обратите внимание на точность взвешивания на технических весах.

2. Измерьте линейные размеры тела штангенциркулем. Измерения произведите три раза и вычислите средние значения.

3. По средним значениям линейных размеров вычислите объем тела.

4. Измерьте линейные размеры тела микрометром (по три раза каждый размер) и вычислите по средним данным объем тела.

5. Вычислите плотность тела по средним значениям массы и объема тела отдельно для измерений тела штангенциркулем и микрометром

$$\rho_{cp} = \frac{m}{V_{cp}}$$

6. Рассчитать абсолютные ошибки измерений массы и линейных размеров тела.

7. Вычислите относительные ошибки измерения плотности тела по формуле:

$$E_{\rho} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta V_{cp}}{V_{cp}}$$

где m – среднее значение массы тела, Δm - средняя абсолютная ошибка измерения массы тела, $\Delta V_{cp}/V_{cp}$ - средняя относительная ошибка измерения объема (формулы для вычисления относительных ошибок измерений объема тела даны в примечаниях к данной работе).

8. Вычислите абсолютные ошибки измерений плотности по формуле (отдельно для микрометра и штангенциркуля):

$$\Delta \rho_{cp} = E_{\rho} \rho_{cp}$$

9. Данные измерений и вычислений занесите в таблицы.

10. Запишите ответы в виде:

$$\rho = \rho_{cp} \pm \Delta\rho_{cp}.$$

отдельно для измерений плотности тела штангенциркулем и микрометром.

11. Оцените относительную ошибку измерений плотности в процентах и запишите в таблицу 2.

12. Сделайте выводы.

Таблица 1

Определение объема тела

Название инструмента	№№ изм.	Линейные размеры, мм			Абсолютные ошибки, мм			V см ³	E V %
		а	в	с	Δа	Δв	Δс		
	1.								
	2.								
	3.								
	Ср.								
	1.								
	2.								
	3.								
	Ср.								

Таблица 1 дана для параллелепипеда. Для цилиндра вместо а, в, с будет D. и H и т. д.

Таблица 2

Определение плотности тела

Название инструмента	m, г	Δm, г	ρ г/см ³	Eρ%	Δρ, г /см ³

Формулы для подсчета относительных ошибок измерений объема тел правильной геометрической формы

Для шара: $E_V = \frac{\Delta V}{V} = 3 \frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta \pi}{\pi},$

где D – среднее значение диаметра, ΔD – средняя абсолютная ошибка измерений диаметра.

Для цилиндра: $E_V = \frac{\Delta V}{V} = 2 \frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta H}{H} + \frac{\Delta \pi}{\pi},$

где D и H среднее значение диаметра и высоты соответственно, ΔD и ΔH – средние абсолютные ошибки измерений диаметра и высоты цилиндра.

Для полого цилиндра: $E_V = \frac{\Delta V}{V} = 2 \frac{D * \Delta D + d * \Delta d}{D^2 - d^2} + \frac{\Delta H}{H} + \frac{\Delta \pi}{\pi},$

где D и d – средние значения внешнего и внутреннего диаметров соответственно, ΔD и Δd – средние значения абсолютных ошибок измерений внешнего и внутреннего

диаметров соответственно, H – среднее значение высоты цилиндра, ΔH – среднее значение абсолютных ошибок измерений высоты.

$$\text{Для параллелепипеда: } E_V = \frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c}$$

где a , b , c – средние значения высоты, длины и ширины соответственно, Δa , Δb , Δc – средние значения абсолютных ошибок измерений.

Контрольные вопросы

1. Какие измерения называются прямыми и косвенными? Приведите примеры.
2. Какие ошибки называются систематическими и случайными? От чего они зависят?
3. Какие ошибки измерений называются абсолютными и относительными? Какова размерность этих ошибок?
4. Дайте понятие веса и массы тела, плотности и удельного веса. Каковы единицы измерения этих величин?
5. Сформулируйте законы Ньютона и закон всемирного тяготения.
6. Расскажите устройство штангенциркуля и микрометра.
7. Как зависит плотность от температуры?

Список литературы

1. Грабовский, Р.И. / Курс физики: учебное пособие / Р.И. Грабовский. - 11-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2009. - 608 с.
2. Дмитриева, В.Ф. / Физика : программа, метод. указ. и контрольные задания для студ. - заочников инженерно-технических и технологических спец. вузов / В.Ф. Дмитриева, В.А. Рябов, В. М. Гладской. - 4-е изд., стер. - М. Высш. шк., 2007. - 126 с.
3. Основы физики и биофизики: Учеб. пособие : учебное пособие / ред. : А.И. Журавлев. - М. : Мир, 2005. - 383 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучить законы колебательного движения, определить ускорения силы тяжести.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: математический маятник, секундомер, набор шариков, линейка.

1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Движение, при котором тело или система тел через равные промежутки времени отклоняется от положения равновесия и вновь возвращается к нему, называются периодическими колебаниями.

Колебания, при которых изменение колеблющейся величины со временем происходит по закону синуса или косинуса, называются гармоническими.

Уравнение гармонического колебания записывается в виде:

$$X = A * \sin \varphi = A * \sin \omega t$$

Гармонические колебания характеризуются следующими параметрами: амплитудой A , периодом T , частотой ν , фазой φ , круговой частотой ω .

A – амплитуда колебания – это наибольшее смещение от положения равновесия. Амплитуда измеряется в единицах длины (м, см и т. д.).

T – период колебания – это время, в течении которого совершается одно полное колебание. Период измеряется в секундах.

ν – Частота колебания – это число колебаний, совершаемых в единицу времени. Измеряется в Герцах.

φ – фаза колебания. Фаза определяет положение колеблющейся точки в данный момент времени. В системе СИ фаза измеряется в радианах.

ω – круговая частота измеряется рад/с

Всякое колебательное движение совершается под действием переменной силы. В случае гармонического колебания эта сила пропорциональна смещения и направлена против смещения:

$$F = -KX,$$

где K – коэффициент пропорциональности, зависящий от массы тела и круговой частоты.

$$K = m\omega^2$$

Примером гармонического колебания может служить колебательное движение математического маятника.

Математическим маятником называют материальную точку, подвешенную на невесомой и недеформируемой нити.

Небольшой тяжелый шарик, подвешенный на тонкой нити (нерастяжимой), является хорошей моделью математического маятника.

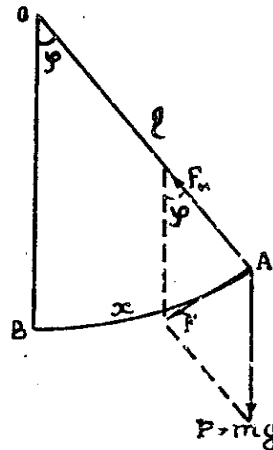


Рис.1

Пусть математический маятник длиной l (рис. 1) отклонен от положения равновесия ОВ на малый угол $\varphi \leq 5^\circ$. На шарик действует сила тяжести $P = mg$, направленная вертикально вниз, и сила упругости нити F_H , направленная вдоль нити. Равнодействующая этих сил F будет направлена по касательной к дуге АВ и равна:

$$F = mg * \sin \varphi$$

При малых углах φ можно записать:

$$\sin \varphi \approx \varphi = \frac{X}{\ell}$$

где X – дуговое смещение маятника от положения равновесия. Тогда получим:

$$F = -mg \frac{X}{\ell} = -\kappa X$$

Знак минус указывает на то, что сила F направлена против смещения X .

Итак, при малых углах отклонения математический маятник совершает гармонические колебания. Период колебаний математического маятника определяется формулой Гюйгенса:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

где ℓ – длина маятника, т. е. расстояние от точки подвеса до центра тяжести маятника.

Из последней формулы видно, что период колебания математического маятника зависит лишь от длины маятника и ускорения силы тяжести и не зависит от амплитуды колебания и от массы маятника. Зная период колебания математического маятника и его длину, можно определить ускорение силы тяжести по формуле:

$$g = \frac{4\pi^2 \ell}{T^2}$$

Ускорением силы тяжести называется то ускорение, которое приобретает тело под действием силы притяжения его к земле.

На основании второго закона Ньютона и закона всемирного тяготения можно записать:

$$g = \gamma \frac{M}{R^2}$$

где γ – гравитационная постоянная, равная $6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2}$

M – масса Земли, равна $6 \cdot 10^{24} \text{ кг}$,

R – расстояние до центра Земли, равное $6,4 \cdot 10^6 \text{ м}$,

Так как Земля не имеет форму правильного шара, то на различных широтах имеет разное значение, а, следовательно, и ускорение силы тяжести на разных широтах будет разное: на экваторе $g = 9,78 \text{ м/с}^2$; на полюсе $g = 9,83 \text{ м/с}^2$; на средней широте $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

2. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка для изучения колебательного движения математического маятника и определение ускорения силы тяжести представлена на рисунке 2.

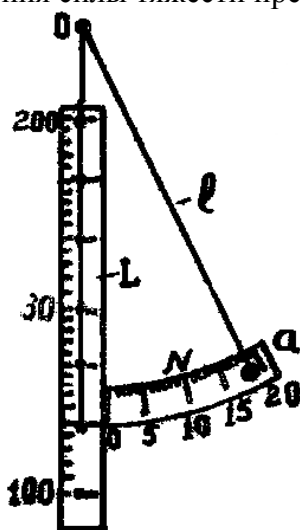


Рис.2

Тяжелый шарик подвешен на длинной нити ℓ . Нить перекинута через кольцо О и вторым своим концом закреплена на шкале L. Перемещая конец нити по шкале, можно изменить длину маятника ℓ , значение которой сразу же определяется по шкале. Для определения углового отклонения маятника служит шкала N. Закрепляя на нити различные шарики, можно изменить массу маятника. Таким образом, в лабораторной установке предусмотрена возможность изменения длины, амплитуды колебания и массы маятника.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Установите длину маятника ℓ_1 и с помощью секундомера определите время t_1 , в течении которого совершается n колебаний. Время измеряется три раза и берется среднее значение.
2. Опыт повторить для длин ℓ_1 и ℓ_2 . (Длина маятника и число колебаний задается преподавателем).
3. Вычислите среднее значение t_{cp} и период колебания T , $T = \frac{t_{cp}}{n}$.
4. Вычислите ускорение силы тяжести для каждой длины маятника по формуле:

$$g = \frac{4\pi^2 \ell n^2}{t_{cp}^2}$$
5. Рассчитайте ошибки измерений. Средняя относительная ошибка измерения ускорения силы тяжести вычисляется по формуле:

$$Eg = \frac{\Delta \ell}{\ell} + 2 \frac{\Delta t}{t} + \frac{2\Delta \pi}{\pi},$$

где $\Delta \ell$ - средняя абсолютная ошибка измерения длины маятника.

ℓ - длина маятника.

Δt – средняя абсолютная ошибка измерения времени.

t – время в течении которого маятник совершает n колебаний.

6. Данные эксперимента занесите в таблицы 1 и 2.
7. Сделайте выводы.

Таблица 1

Определение ускорения силы тяжести

№№ п/п	Число колебаний	Длина маятника $\ell_1 =$ (см)			Длина маятника $\ell_2 =$ (см)			Длина маятника $\ell_3 =$ (см)		
		t, с	T, с	$g, \frac{см}{с^2}$	t, с	T, с	$g, \frac{см}{с^2}$	t, с	T, с	$g, \frac{см}{с^2}$
1.										
2.										
3.										
Сред										

Таблица 2

Расчет ошибок измерений

Длина	$\ell_1 =$ (см)				$\ell_2 =$ (см)				$\ell_3 =$ (см)			
Ошиб ки изм.	Δt , с	$\Delta \ell$, см	Eg, %	Δg , см/с ²	Δt , с	$\Delta \ell$, см	Eg, %	Δg , см/с ²	Δt , с	$\Delta \ell$, см	Eg, %	Δg , см/с ²

1.												
2.												
3.												
Сред.												

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение гармонического колебания и его основных характеристик.
2. Запишите уравнение гармонического колебания.
3. Что такое физический маятник? Запишите формулу периода колебания физического маятника.
4. Что такое математический маятник? Запишите формулу периода колебания математического маятника.

Список литературы

1. Дмитриева, В.Ф. / Физика : программа, метод. указ. и контрольные задания для студ. - заочников инженерно-технических и технологических спец. вузов / В.Д. Дмитриева, В.А. Рябов, В. М. Гладской. - 4-е изд., стер. - М. Высш. шк., 2007. - 126 с.
2. Основы физики и биофизики: Учеб. пособие : учебное пособие / ред. : А.И. Журавлев. - М. : Мир, 2005. - 383 с.
3. Пронин, В.П. / Краткий курс физики : учебное пособие / В.П. Пронин. - Саратов : ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ", 2009. - 296 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ИЗУЧЕНИЯ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НА МАЯТНИКЕ ОБЕРБЕКА

ЦЕЛЬ РАБОТА: изучить и проверить на практике основной закон вращательного движения.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: маятник Обербека, секундомер, технические весы, разновесы, штангенциркуль, рулетка.

1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Вращательным движением твердого тела называется такое движение, при котором все точки тела движутся по окружности, центры которых лежат на одной прямой, называемой осью вращения.

При вращательном движении твердого тела линейные скорости будут различны для точек, расположенных на разном расстоянии от оси вращения, а угловая скорость будет для всех точек одинакова. Это же самое можно сказать и о линейном и угловом ускорениях.

Величина угловой скорости может быть определена как отношение угла $\Delta\varphi$ поворота радиуса (т. е. отношение углового пути) к промежутку времени, за который этот поворот произошел (см. рис. 1) :

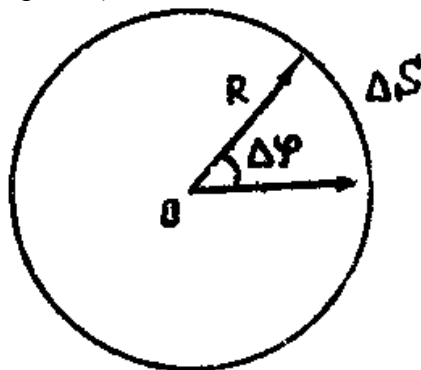


Рис.1

В системе СИ угловая скорость измеряется в рад/с.

При неравномерном движении материальной точки по окружности вместе с линейной скоростью изменяется и угловая скорость. Поэтому вводится понятие углового ускорения, которое измеряется в рад/с² и равно:

Линейные и угловые величины связаны формулами:

$$\vec{v} = [\vec{R} \cdot \vec{\omega}], \quad \beta = \frac{a\tau}{R}$$

Тело совершает вращательное движение под действием момента вращающей силы $M = F R$. В системе СИ момент силы измеряется в Н·м.

Инерционные свойства вращающегося тела характеризуются моментом инерции. Моментом инерции материальной точки называется произведение ее массы на квадрат расстояния до оси вращения.

$$J = m R^2$$

Момент инерции тела равен сумме моментов инерции всех материальных точек, составляющих тело. Вращательное движение подчиняется основному закону динамики

вращения: момент вращающей силы, приложенный к телу, равен произведению момента инерции тела на угловое ускорение:

$$M = J \cdot \beta$$

2. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

В данной работе проверка основного закона вращательного движения осуществляется с помощью маятника Обербека.

Маятник Обербека представляет собой крестовину из четырех стержней, расположенных под углом 90° друг к другу, прикрепленных к цилиндру с осью вращения О (см. рис. 2).

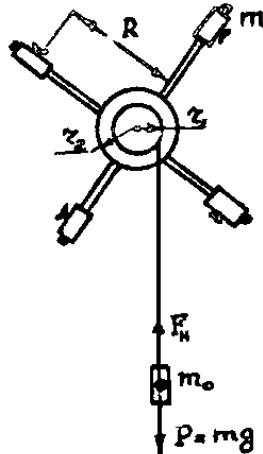


Рис.2

На эту же ось насаживают два шкива с различными диаметрами. На стержни надевают одинаковые грузы m , которые с помощью винтов можно закрепить их на любом расстоянии от оси вращения. Маятник приводится во вращательное движение грузом m_0 , прикрепленным к концу нити, намотанной на шкив. На груз m_0 действует сила тяжести $P = mg$, направленная вертикально вниз, и сила натяжения нити F_n , направленная вдоль нити вверх. Результирующая сила будет направлена вниз. Под действием этой результирующей силы груз будет двигаться равноускоренно с ускорением α . Для всей системы можно записать уравнение:

$$m_0 \alpha = m_0 g - F_n,$$

где сила натяжения нити

$$F_n = m_0(g - \alpha),$$

Сила натяжения нити создает вращательный момент, под действием которого маятник совершает ускоренное вращательное движение.

Вращательный момент равен

$$M = m_0 r(g - \alpha),$$

где m_0 - масса груза,

r - радиус шкива,

g - ускорение свободного падения,

Ускорение свободного падения тела можно найти по формуле:

$$\alpha = \frac{2h}{t^2},$$

где h - высота, с которой падает груз,

t - время падения груза.

$$\beta = \frac{\alpha}{r} = \frac{2h}{rt^2}$$

ЗАДАНИЕ 1: установление связи между моментами вращающих сил и соответствующими им угловыми ускорениями при неизменном моменте инерции, т. е.

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{\beta_1}{\beta_2}, J = \text{const.}$$

7. Вычислите линейные ускорения по формулам: $\alpha_1 = \frac{2h}{t_1^2}$ и $\alpha_2 = \frac{2h}{t_2^2}$.

8. Вычислите угловое ускорение по формулам: $\beta_1 = \frac{\alpha_1}{r_1}$ и $\beta_2 = \frac{\alpha_2}{r_2}$

- $$M_1 = m_0 r_1 (g - \alpha); \quad M_2 = m_0 r_2 (g - \alpha_2)$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{\beta_1}{\beta_2}$$

- $$J_0 = \frac{M}{\beta} = \frac{m_0 r (g - a_1)}{\beta_1}.$$

- ### Таблица 1

[illegible]

ЗАДАНИЕ 2 : установление связи между угловыми ускорениями и соответствующими им моментами инерции при постоянном моменте силы, т.е.

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{\beta_2}{\beta_1}, M = \text{const.}$$

1. Определите массу одного из дополнительных грузов m .
2. Закрепите грузы на стержни на расстоянии R_1 от центра вращения, (расстояние R_1 задается преподавателем).
3. Намотайте нить на один из шкивов и определите время падения t_1 груза m_0 с высоты h .
4. Закрепите груз на стержне на расстоянии, R_2 (расстояние R_2 задается преподавателем).
5. Определите время падения груза m_0 с этой высоты h .
6. Вычислите угловые ускорения:

$$\beta_1 = \frac{2h}{rt_1^2}, \beta_2 = \frac{2h}{rt_2^2}$$

7. Вычислите моменты инерции маятника при различных положениях грузов m по формулам:

$$J_1 = J_o + 4mR_1^2; J_2 = J_o + 4mR_2^2$$

8. Проверьте равенство

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{\beta_2}{\beta_1}$$

9. Данные эксперимента занесите в таблицу 2:

Таблица 2:

Результаты эксперимента

№ П/П	m, г	h, см	r, см	R ₁ , см	R ₂ , см	T ₁ , с	t ₂ , с	J ₁	J ₂	β ₁	β ₂	$\frac{J_1}{J_2}$	$\frac{\beta_2}{\beta_1}$
								Г*см ²		с ⁻²		$\frac{J_1}{J_2}$	$\frac{\beta_2}{\beta_1}$
1.													
2.													
3.													
ср													

10. На основании результатов двух экспериментов сделайте выводы.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое момент вращающей силы? В чем он измеряется?
2. Сформулируйте основной закон динамики вращающегося движения. Что такое момент инерции тела?
3. Что такое линейная и угловая скорости, линейное и угловое ускорения? Какова связь между этими величинами?

Список литературы

1. Основы физики и биофизики: Учеб. пособие : учебное пособие / ред. : А.И. Журавлев. - М. : Мир, 2005. - 383 с.
2. Охрименко, О.В./ Лабораторный практикум по химии и физике молока : учебное пособие / О.В. Охрименко, К.К. Горбатова, А.В. Охрименко. - СПб. : ГИОРД, 2005. - 50 с.
3. Пронин, В.П. / Краткий курс физики : учебное пособие / В.П. Пронин. - Саратов : ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ", 2009. - 296 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ЖИДКОСТИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучение методов определения коэффициента вязкости жидкости и определение коэффициента вязкости жидкости.

1. Краткие теоретические сведения

Жидкость также как и газ обладает свойством перемещаться из области большого давления в область меньшего давления. Такое перемещение называется течением жидкости. Различают два вида течения жидкости: ламинарное (слоистое) и турбулентное (вихревое). Ламинарным течением называют течение, при котором слои жидкости скользят друг по другу. Оно происходит при небольших скоростях движения в трубках с относительно гладкими стенками, без резких изменения площади сечения или направления, а также при отсутствии множественных разветвлений. Турбулентным называется такое течение, при котором слои жидкости перемешиваются. Оно возникает при резких сужениях сечения трубки, при значительной шероховатости поверхности стенок трубы, а также в местах множественного разветвления русла или трубы, по которой течет жидкость.

Течение жидкости при небольших скоростях носит ламинарный характер вследствие сил взаимного притяжения между молекулами жидкости, а также между молекулами жидкости и твердых тел, с которыми жидкость соприкасается в процессе течения.

Ламинарное течение жидкости можно изобразить в виде параллельно перемещающихся слоев, где стрелки представляют векторы скорости движения жидкости. Наибольшая скорость наблюдается в средней, прилегающей к оси части трубы; по мере приближения к стенкам скорость уменьшается, а слой, непосредственно, прилегающий к стенкам трубы, покоится. Таким образом, вся масса текущей жидкости разделена по слоям, движущимся с различными скоростями, между которыми действуют силы внутреннего трения, препятствующие перемещению одного слоя относительно другого. Величина силы внутреннего трения зависит от градиента скорости и площади соприкосновения слоев и выражается Формулой:

$$F = -\eta \cdot \frac{\Delta \omega}{\Delta x} \cdot \Delta S.$$

где F – сила внутреннего трения.

η - коэффициент внутреннего трения (коэффициент вязкости),

$\frac{\Delta \omega}{\Delta x}$ - градиент скорости, то есть отношение изменение скорости к расстоянию, на

котором оно осуществляются, взятом в направлении наибольшего возрастания скорости;

ΔS – площадь сопротивления слоев.

Формула (1) представляет собой закон Ньютона для вязкости: сила внутреннего трения пропорциональна градиенту скорости, площади соприкосновения слоев и направлена против движения жидкости.

Коэффициент внутреннего трения является важной характеристикой жидкости. В зоотехнии и ветеринарии изучают вязкость молока, крови, меда, и т. п. как показатель состояния здоровья животного, качества продукции. Из формулы (1) следует

физический смысл коэффициента внутреннего трения: коэффициент внутреннего трения численно равен силе внутреннего трения, действующей между слоями единичной площади при градиенте скорости, равному единице. Коэффициент внутреннего трения зависит от природы жидкости и ее температуры. С повышением температуры коэффициент внутреннего трения уменьшается, так как увеличивается среднее расстояние между молекулами, а значит, уменьшаются силы взаимного притяжения между ними. В системе СИ коэффициент вязкости измеряется в $\text{Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2 = \text{Па}\cdot\text{с} = \text{кг}/\text{м}\cdot\text{с}$, а в системе СГС в $\text{г}/\text{см}\cdot\text{с}$. Последняя система единиц называется пуаз.

Изучая ламинарное течение жидкости, французский физик и физиолог Пуазейль в 1841 г установил закон, согласно которому средняя скорость ламинарного течения жидкости по трубе пропорциональна градиенту давления жидкости, квадрату радиуса трубы и обратно пропорциональна коэффициенту внутреннего трения жидкости:

$$\omega = - \frac{\Delta P}{\Delta x} * \frac{r^2}{8\eta}.$$

где ω скорость ламинарного течения жидкости; $\frac{\Delta P}{\Delta x}$ -градиент давления; r - радиус трубы; η -коэффициент внутреннего трения.

Знак минус в формуле (2) показывает, что скорость течения жидкости направлена противоположно градиенту давления.

Из закона Пуазейля (2) можно получить формулу для определения объема жидкости, протекшей по трубе за некоторый промежуток времени t :

$$V = \frac{\pi r^2 \Delta P t}{8\eta \ell}$$

где r -радиус трубы;

ℓ - длина трубы

t -время течения жидкости по трубе;

η -коэффициент внутреннего трения;

ΔP – разность давлений на концах трубы;

V -объем жидкости, протекшей по трубе за время.

Формула (3) лежит в основе метода определения коэффициента внутреннего трения с помощью капиллярного вискозиметра.

ЗАДАНИЕ I: определение коэффициента внутреннего трения жидкости капиллярным вискозиметром.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: капиллярный вискозиметр, исследуемая жидкость дистиллированная вода, термометр, резиновая груша.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

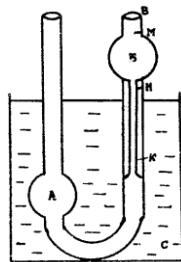


Рис.1

Капиллярный вискозиметр представляет собой U-образную стеклянную трубку рис. 1, широкое колено, которой имеет внизу шарообразное расширение А. Капиллярная часть вискозиметра К имеет в своей верхней части шарик Б, переходящий затем в широкую трубку В. Шарик Б имеет метки М и Н, которые ограничивают определенный объем исследуемой жидкости. С помощью пипетки через широкое колено заполняют вискозиметр исследуемой жидкостью так, чтобы заполнился шарик А. С помощью груши через трубку В всасывают воздух так, чтобы уровень жидкости в вискозиметре поднялся выше метки М. Затем груша снимается с трубки В и жидкость в вискозиметре начнет под действием собственного веса опускаться по капилляру К. Секундомером определяют время t , в течение которого столб жидкости опустится от метки М до метки Н, то есть время в течение которого по капилляру К протекает жидкость объемом, равным объему шарика Б.

Так как жидкость течет по капилляру под действием собственного веса, то разность давлений на концах капилляра будет равна гидростатическому давлению:

$$\Delta P = \rho gh$$

где ρ -плотность жидкости,
 g -ускорение силы тяжести,
 h -высота столба жидкости.

Учитывая это, формулу (3) можно записать в виде :

$$V = \frac{\pi r^4 \Delta p t}{8 \eta \ell} = \frac{\pi r^4 \rho g h t}{8 \eta \ell}.$$

Из формулы (4) видно, что для определения коэффициента внутреннего трения η надо знать время течения жидкости по капилляру, радиус и длину капилляра, плотность жидкости, высоту поднятия ее в капилляре, а также объем протекшей жидкости.

Чтобы не делать таких затруднительных измерений, применяют метод сравнения. Для этого вначале проделывают опыт с дистиллированной водой, а затем с исследуемой жидкостью.

Запишем формулу (4) для дистиллированной воды и исследуемой жидкости:

-для воды:

$$V = \frac{\pi r^4 \rho_0 g h t_0}{8 \eta_0 \ell}.$$

-для исследуемой жидкости:

$$V = \frac{\pi r^4 \rho_x g h t_x}{8 \eta_x \ell}$$

где ρ_0 -плотность дистиллированной воды,
 ρ_x -плотность исследуемой жидкости,
 η_0 -коэффициент внутреннего трения воды,
 η_x -коэффициент внутреннего трения жидкости,
 t_0 -время протекания через капилляр воды,
 t_x -время протекания через капилляр жидкости.

В формулах (5) и (6) левые части равны, следовательно, равны и правые части:

$$\frac{\pi \kappa^4 \rho_x g y t_x}{8 \eta_x \ell} = \frac{\pi r^4 \rho_0 g h t_0}{8 \eta_0 \ell}.$$

Тогда получим:

$$\eta_x = \eta_0 \frac{\rho_x t_x}{\rho_0 t_0}.$$

Формула (7) является расчетной для определения коэффициента внутреннего трения капиллярным вискозиметром.

Для поддержания постоянной температуры исследуемой жидкости во время эксперимента вискозиметр опускают в сосуд с водой С.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Чистый вискозиметр ополосните дистиллированной водой, а затем налейте в него дистиллированную воду так, чтобы заполнился нижний шарик А. Погрузите вискозиметр в сосуд с водой.

2. Осторожно с помощью резиновой груши засосите воду в верхний шарик Б чуть выше метки М.

3. Уберите резиновую грушу и секундомером определите время t_0 , в течении которого мениск воды пройдет расстояние от метки М до метки Н.

4. Опыт проделайте 3-5 раз и вычислите среднее значение времени течения воды t_{0cp} .

5. Вылейте воду из вискозиметра и ополосните его исследуемой жидкостью.

6. Залейте в вискозиметр исследуемую жидкость до того же уровня, что и воду.

7. Так же, как и для дистиллированной воды, определите время t_x течения жидкости от метки М до метки Н.

8. Опыт повторите 3-5 раз и вычислите среднее значение времени течения жидкости t_{xcp} .

9. Измерьте температуру воды в сосуде С.

10. Выпишите из таблиц значения плотности воды ρ_0 , плотности исследуемой жидкости ρ_x и коэффициента внутреннего трения воды η_0 , соответствующие температуре воды в сосуде С.

11. Вычислите коэффициент внутреннего трения жидкости по формуле (7), подставляя средние значения t_{xcp} и t_{0cp} .

12. Расчитайте абсолютные ошибки измерений времени Δt_x и Δt_0 .

13. Вычислите относительную ошибку измерений коэффициента внутреннего трения жидкости по формуле:

$$E_\eta = \frac{\Delta \eta_x}{\eta_x} = \frac{\Delta \eta_0}{\eta_0} + \frac{\Delta \rho_x}{\rho_x} + \frac{\Delta \rho_0}{\rho_0} + \frac{\Delta t_{xcp}}{t_{xcp}} + \frac{\Delta t_{0cp}}{t_{0cp}}.$$

14. Вычислите абсолютную ошибку коэффициента внутреннего трения по формуле:

$$\Delta \eta = E_\eta * \eta$$

15. Данные измерений занесите в таблицу 1 и 2:

Таблица 1.

Постоянные величины

Температура жидкости t , °С	Концентрация раствора С, %	Плотность воды ρ_0 , г/см ³	Плотность жидкости ρ_x г/см ³	Вязкость воды η_0 пуаз

Таблица 2

Результаты измерений

№№	t_0 , с	t_x , с	Δt_0 , с	Δt_x , с	η_x пуаз	$E\eta_x$, %	$\Delta\eta_x$ пуаз
1.							
2.							
3.							
Средн.							

16. Сделайте выводы.

ЗАДАНИЕ 2: Определение коэффициента внутреннего трения жидкости методом падающего шарика (метод Стокса).

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: цилиндр с исследуемой жидкостью, набор шариков, секундомер, термометр.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Всякая реальная жидкость обладает вязкостью и поэтому тело, движущееся в жидкости, испытывает на себе силы сопротивления со стороны жидкости. Подчеркнем, что здесь играет роль не трение шарика о жидкость, а трение отдельных слоев жидкости друг о друга, так как при соприкосновении твердого тела с жидкостью, к поверхности тела тотчас же прилипают молекулы жидкости, образуя молекулярный слой жидкости, обволакивающий тело. Слой жидкости, непосредственно прилегающий к телу, будет двигаться со скоростью тела и увлекать за собой соседние слои жидкости, которые тоже начнут двигаться. Таким образом, при небольших скоростях движения тела в жидкости будет происходить ламинарное течение жидкости в направлении траектории движения тела.

Английский физик Стокс установил закон: для тела шарообразной формы, движущегося с небольшой скоростью в жидкости, сила сопротивления F пропорциональна коэффициенту внутреннего трения η , радиусу шара r и скорости движения шара v :

$$F = 6\pi * r * \eta * v$$

В данной работе для определения коэффициента внутреннего трения жидкости используется стеклянный цилиндр с исследуемой жидкостью (рис.3). На стекле цилиндра нанесены две метки: метка начала отсчета времени падения шарика (1) и окончания (2).

Рассмотрим падение шарика вязкой покоящейся жидкости. На шарик действуют три силы: сила тяжести

$$P = mg = \frac{4}{3}\pi r^2 * \rho * g$$

сила сопротивления (сила Стокса)

$$F = 6\pi\eta v$$

Выталкивающая сила (по закону Архимеда равна весу вытесненной шариком жидкости).

$$F_1 = \frac{4}{3}\pi r^2 \rho_0 g$$

где ρ_0 – плотность вещества,

r – его радиус.

g – ускорение силы тяжести,

η – коэффициент внутреннего трения жидкости,

v – скорость падения шарика,

ρ_1 – плотность жидкости,

Направления этих сил указаны на рисунке 3.

В процессе движения шарика силы ρ и F_1 не изменятся, а сила сопротивления F будет увеличиваться по мере увеличения скорости движения шарика (вначале шарик движется ускоренно. Наступит такой момент, когда силы F_1 и F уравновесят силу тяжести, и тогда шарик будет двигаться равномерно. Следовательно, при условии:

$$P = F_1 + F$$

шарик падает с постоянной скоростью, которую можно определить, зная пройденный путь и время:

$$v = \frac{\ell}{t}$$

Учитывая (9, 10, 11), и равенство (12) можно записать в виде:

$$\frac{4}{3} \pi r^3 \rho g = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_1 g + 6 \pi \eta v.$$

Отсюда после преобразования (учитывая формулу (13)) получим:

$$\eta = \frac{2r^2(\rho - \rho_1)gt}{9\ell}$$

Заметим, что все наши рассуждения верны лишь в том случае, если шарик падает в безгранично простирающейся жидкости, что практически осуществить невозможно, так как жидкость всегда находится в сосуде, имеющем стенки. Однако, если размеры сосуда значительно превышают размеры шарика, то формулу (14) можно считать верной. В противном случае следует внести в формулу поправку, учитывающую радиус сосуда, в котором налита жидкость; для цилиндрического сосуда с учетом его радиуса расчетная формула примет вид:

$$\eta = \frac{2r^2(\rho - \rho_1)gt}{9\ell(1 + 2,4 \frac{r}{R})}$$

Вопрос о том, какой формулой пользоваться, решается в зависимости от величины отношения r/R . Если оно меньше чем 0,05, то берут формулу (14), а если больше, то (15).

Порядок выполнения работы

1. С помощью микрометра измерьте диаметр шарика и определите его радиус. Измерения проводите три раза и вычислите среднее значение.
2. Опустите шарик в цилиндр с исследуемой жидкостью и с помощью секундомера измерьте время, в течении которого шарик пройдет расстояние от одной метки на цилиндре до другой (см. рис.3). Время падения шарика определите три раза и вычислите среднее значение $t_{\text{ср}}$.
3. Линейкой измерьте пройденный шариком путь ℓ .
4. Выпишите из таблицы значения плотности шарика и плотность жидкости ρ_0 .
5. Измерьте диаметр цилиндра и вычислите его радиус R и оцените отношение r/R .
6. Вычислите коэффициент внутреннего трения по соответствующей формуле.
7. Рассчитайте ошибки измерений.

Примечания: относительную ошибку измерений коэффициента внутреннего трения вычисляется по формуле:

$$E = \frac{2\Delta r}{r} + \frac{\Delta t}{t} + \frac{\Delta \ell}{\ell} + \frac{\Delta(\rho - \rho_1)}{(\rho - \rho_1)} + \frac{\Delta g}{g}.$$

8. Данные измерений и вычислений занесите в таблицы 3 и 4.

Таблица 3

Постоянные величины

ρ , г/см ³	ρ_1 , г/см ³	R, см	r, см	r/R

Таблица 4

Результаты эксперимента

№№	r, см	Δr , см	t, с	Δt , с	ℓ , см	$\Delta \ell$, см	η , пуаз	$E\eta$, %	$\Delta \eta$, пуаз
1.									
2.									
3.									
Сред.									

9. Сделайте выводы.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте законы Пуазейля, Стокса, Архимеда.
2. Объясните явление вязкости с точки зрения молекулярно-кинетической теории.
3. Напишите и объясните уравнение движения шарика в жидкости.
4. В каких единицах измеряется коэффициент внутреннего трения?
5. Какие виды трения жидкости вы знаете?
6. Каков физический смысл коэффициента внутреннего трения и как он зависит от температуры?

Список литературы

1. Курашвили, Е.И./ Английский язык для студентов физиков. Второй этап обучения : учебное пособие / Е. И. Курашвили, И. И. Кондратьева, В.С. Штрунова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : АСТ ; М. : Астрель, 2005. - 191 с.
2. Основы физики и биофизики: Учеб. пособие : учебное пособие / ред. : А.И. Журавлев. - М. : Мир, 2005. - 383 с.
3. Охрименко, О.В./ Лабораторный практикум по химии и физике молока : учебное пособие / О.В. Охрименко, К.К. Горбатова, А.В. Охрименко. - СПб. : ГИОРД, 2005. - 50 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ ОТРЫВА КАПЕЛЬ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучение поверхностных явлений в жидкости и определение коэффициента поверхностного натяжения методом отрыва капель.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: бюретка, два химических стакана, штатив, весы с разновесами, исследуемая жидкость.

1. Краткие теоретические сведения

Жидкости, как газы и твердые тела, состоят из мельчайших частиц – молекул, между которыми действуют силы взаимного притяжения и отталкивания. Силы молекулярного взаимодействия быстро убывают с увеличением расстояния от молекулы и уже на расстоянии R , равном 10^{-7} см, практически не проявляются (радиус самих молекул $r = 0,5 \cdot 10^{-7}$ см).

Расстояние R , называется радиусом молекулярного действия, а сферу радиусом R – сферой молекулярного действия.

Молекула, находящаяся внутри жидкости, испытывает одинаковое взаимодействие со стороны молекул, окружающих ее со всех сторон. Равнодействующая молекулярных сил, действующих на нее, будет равна нулю. Если же молекула расположена на поверхности жидкости, то равновесие нарушается: притяжение со стороны молекул, лежащих внутри жидкости больше и равнодействующая молекулярных сил направлена внутрь жидкости $F_{1,2}$. (рис 1).

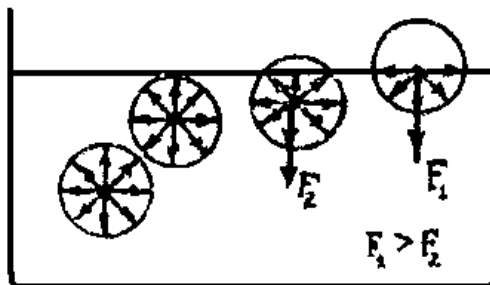


Рис.1

Молекулярные силы, действующие на все частицы, лежащие в тонком поверхностном слое, толщина которого равна радиусу сферы действия молекулы, складываясь между собой, оказывают на поверхность жидкости некоторое давление, которое называют молекулярным давлением. Все молекулы, находящиеся в поверхностном слое жидкости, подвержены действию этих сил, стремящихся втянуть их внутрь жидкости.

Таким образом, под действием молекулярных сил, направленных внутрь жидкости, поверхностный слой жидкости находится в особом, напряженном состоянии, напоминая собой напряжение растянутой пленки, стремящейся сократиться.

Чтобы переместить молекулу из глубины на поверхность жидкости, надо совершить работу против результирующей силы молекул в поверхностном слое. В результате молекулы на поверхности жидкости обладают определенной потенциальной энергией, называемой свободной поверхностной энергией. Если на жидкость не действуют

внешние силы, то значение свободной поверхностной энергии оказывается минимальным; при этом минимальна и площадь и самой поверхности. Капли жидкости в невесомости имеют форму шариков (минимальная площадь поверхности). В земных условиях действует сила тяжести, которая пытается сжать каплю, в результате чего она принимает форму эллипса.

Работа, которую нужно совершить для увеличения свободной поверхности жидкости будет равна:

$$\Delta A = \alpha \cdot \Delta S$$

где α – коэффициент поверхностного натяжения.

По своему физическому смыслу α является работой, которую надо затратить, чтобы увеличить поверхность жидкости на единицу при сохранении ее объема неизменным. Коэффициент поверхностного натяжения α измеряется в системе СИ в Дж/м².

Для того, чтобы поверхностную пленку удержать в равновесии, нужна определенная сила F , приложенная касательно к поверхности жидкости. Она будет тем больше, чем больше длина ℓ , ограничивающей поверхность пленки:

$$F = \alpha \cdot \ell \quad (1)$$

где α – коэффициент поверхностного натяжения.

Из формулы (1) следует, что

$$\alpha = \frac{F}{\ell},$$

т. е. коэффициент поверхностного натяжения жидкости численно равен силе поверхностного натяжения, действующей на единицу длины контура, ограничивающего поверхность жидкости. Из (2) видно, что α измеряется в Н/м. Коэффициент поверхностного натяжения жидкости имеет порядок 10^{-2} - 10^{-1} Н/м; для воды он равен 0,073 Н/м, а для ртути 0,54 Н/м. С повышением температуры коэффициент поверхностного натяжения уменьшается в связи с увеличением среднего расстояния между молекулами жидкости.

Когда жидкость налита в сосуд, то между молекулами стенок сосуда и молекулами поверхности жидкости действуют силы притяжения F_a (адгезии, т. е. силы прилипания молекул двух различных тел, вызванные взаимным притяжением), F_k они приводят к возникновению краевого угла θ между стенками сосуда и поверхностью жидкости. Равнодействующая сил когезии и адгезии F_a и F_k всегда перпендикулярна поверхности жидкости (рис. 2).

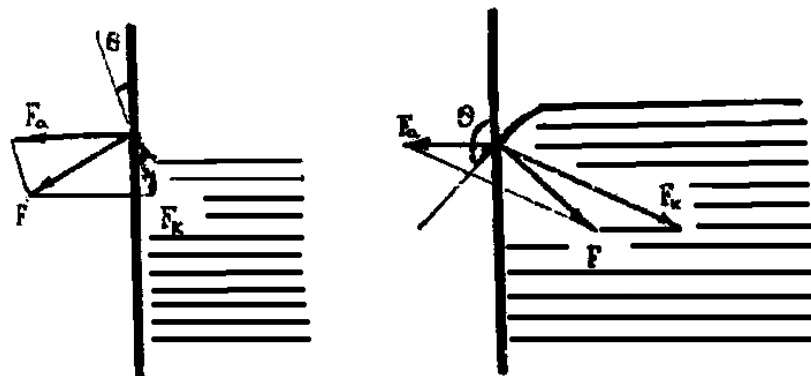


Рис.2

Из рис. 2 видно, что равнодействующая этих сил F может иметь различное направление, в результате чего поверхность жидкости может быть вогнутой, выпуклой или горизонтальной. Если жидкость смачивает стенки, то силы когезии F_k меньше, чем

силы адгезии F_a ; результирующая сила направлена из жидкости. В этом случае поверхность имеет вогнутую форму.

В несмачивающей жидкости, по аналогичным соображениям поверхность жидкости примет выпуклую форму.

Если $F_a = F_k$, то поверхность жидкости горизонтальна.

Под искривленной поверхностью жидкости, помимо внутреннего давления P , создается еще дополнительное давление ΔP , обусловленное кривизной поверхности (рис. 3). Это добавочное давление всегда направлено к центру кривизны поверхности. Если жидкость имеет выпуклую поверхность, то добавочное давление направлено вовнутрь жидкости и общее давление в жидкости в этом случае будет больше, чем под горизонтальной поверхностью.

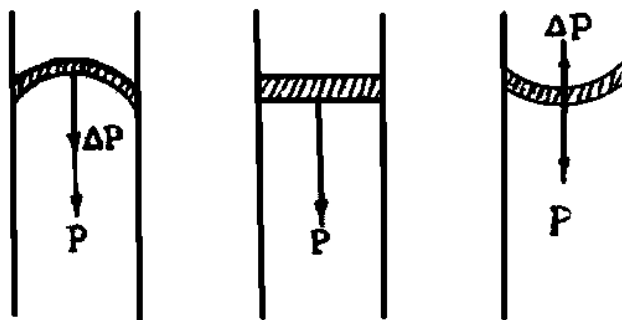


Рис.3

Если поверхность жидкости имеет вогнутую форму, то добавочное давление направлено к центру кривизны, находящемуся вне жидкости, и общее давление здесь меньше, чем под горизонтальной поверхностью.

Добавочное давление для сферической поверхности определяется по формуле Лапласа:

$$\Delta P = \pm \frac{2\alpha}{r},$$

где ΔP – добавочное давление,

α – коэффициент поверхностного натяжения,

r – радиус кривизны поверхности жидкости.

2. Описание экспериментальной установки

В данной работе определения коэффициента поверхностного натяжения жидкости используется метод отрыва капель.

Испытуемая жидкость медленно по каплям вытекает из узкого отверстия тонкой стеклянной трубки (бюретки), установленной вертикально на штативе. Поверхностная пленка, образующаяся в отверстии, оказывает сопротивление вытеканию жидкости. Под давлением вышележащих слоев жидкости пленка растягивается, и жидкость собирается в каплю на конце трубки (рис.4).

На каплю действует сила тяжести $P=mg$, направленная вертикально вниз, и сила поверхностного натяжения F , действующая вверх. Пока капля удерживается на конце отверстия, сила F больше по величине, чем сила тяжести P . Так как жидкость вытекает из трубки, то капля будет увеличиваться в размере, и сила тяжести будет возрастать. Но как только P незначительно превысит силу поверхностного натяжения F , капля

оторвется и упадет. При вычислении считаем, что момент отрыва $P = F$, а силу поверхностного натяжения F можем определить по формуле (1):

$$F = \alpha \ell$$

где ℓ - длина контура, по которому разрывается поверхностный слой жидкости, а он равен длине окружности в месте перетяжки.

Если радиус перетяжки обозначить через r , то $\ell = 2\pi r$ и тогда запишем:

$$mg = \alpha 2\pi r$$

Тогда

$$\alpha = \frac{mg}{2\pi r},$$

Эта формула является расчетной для α .

3. Порядок выполнения работы

1. Взвесьте на технических весах чистый сухой стаканчик и определите его массу m_1 .
2. Налейте в бюретку исследуемую жидкость.
3. Подставьте под бюретку второй стакан и отрегулируйте кран так, чтобы жидкость вытекала каплями (примерно 30 капель в минуту).
4. Подставьте под бюретку взвешенный стаканчик: наберите в него n капель исследуемой жидкости (число капель задается преподавателем).
5. Определите массу стаканчика с каплями m_2 .
6. Вычислите массу одной капли по формуле:

$$m = \frac{m_2 - m_1}{n}.$$

7. Опыт повторите 3 раза и найдите среднее значение массы одной капли m .
8. Вычислите коэффициент поверхностного натяжения по формуле (3) (радиус перетяжки написан на бюретке).
9. Рассчитайте ошибки измерений по формулам:

$$E_\alpha = \frac{\Delta m_1 + \Delta m_2}{m_1 + m_2} + \frac{\Delta r}{r} + \frac{\Delta g}{g} + \frac{\Delta \pi}{\pi}.$$

$$\Delta \alpha = E_\alpha * \alpha_{\text{ср.}}$$

10. Данные измерений и вычислений занесите в таблицу I:

Таблица 1

Результаты эксперимента

i	m, г	n	m0, г	d, ММ	g, м/с ²	σ , Н/М	σ табл, Н/м
1							
2.							
3.							
Ср.							

11. Запишите ответ в виде:

$$\alpha = \alpha_{\text{ср.}} + \Delta \alpha.$$

12. Сделайте выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем обусловлено возникновение дополнительного давления? Объясните молекулярно-кинетический механизм поверхностного натяжения.
2. От каких факторов зависит коэффициент поверхностного натяжения?
3. Что такое внутреннее давление жидкости?
4. От чего зависит высота поднятия (опускания) столба жидкости в капилляре?
5. Объясните явления смачивания и несмачивания.

Список литературы

1. Грабовский, Р.И. / Курс физики: учебное пособие / Р.И. Грабовский. - 11-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2009. - 608 с.
2. Пронин, В.П. / Краткий курс физики : учебное пособие / В.П. Пронин. - Саратов : ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ", 2009. - 296 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ ВОЗДУХА (C_p/C_v) МЕТОДОМ КЛЕМАНА И ДЕЗОРМА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучение законов идеального газа, первого начала термодинамики, ознакомление с понятием газового цикла и определение отношения теплоемкостей воздуха $\gamma = C_p/C_v$

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: установка для определения отношения теплоемкостей.

1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Теплоемкостью какого-либо тела C_T называется физическая величина, численно равная количеству теплоты, которое нужно сообщить телу, чтобы повысить его температуру на один градус:

$$C_T = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

Теплоемкость единицы массы вещества называется удельной теплоемкостью и обозначается $C_{уд}$.

Теплоемкость моля вещества называется молярной теплоемкостью и обозначается C .

Удельная и молярная теплоемкости связаны между собой соотношением:

Для газов удельная теплоемкость (а также молярная) существенно зависит от условий, при которых производится нагревание газа. Если нагревание происходит при постоянном давлении, то все подводимое количество теплоты идет на увеличение внутренней энергии газа и работу по расширению газа. При нагревании газа при постоянном объеме работа по расширению газа не совершается и поэтому требуется меньшее количество теплоты. Поэтому для газов следует различать две удельные (а значит и молярные) теплоемкости – при постоянном давлении C_p и при постоянном объеме C_v .

Молярная теплоемкость газа при постоянном объеме газа равна:

$$C_v = \frac{i}{2} R,$$

где i -число степеней свободы молекул газа,

R -универсальная газовая постоянная.

Молярная теплоемкость газа при постоянном давлении равна:

$$C_p = \frac{i + 2}{2} R$$

Отношение молярных теплоемкостей C_p/C_v . Обозначается γ и равно:

$$\gamma = \frac{i + 2}{i}$$

Из формулы видно, что γ зависит только от числа степеней свободы молекул газа. Напомним, что числом степеней свободы называется число независимых координат определяющих положение тела в пространстве. Для одноатомной молекулы число степеней свободы равно 3, для двухатомной – 5, для трехатомной молекулы – 6.

Отношение теплоемкости газа γ является важной характеристикой. Оно входит в уравнение Пуассона, описывающее адиабатические процессы.

Адиабатическими процессами называются такие процессы, при которых не происходит теплообмена газа с окружающей средой. Очень быстро протекающие процессы, при которых не происходит теплообмена газа с окружающей его средой являются адиабатическими. По понятным соображениям, очень быстро протекающие процессы сжатия или расширения газа являются адиабатическими. Адиабатические расширения или сжатия газа сопровождаются изменением его внутренней энергии, а следовательно, и температуры.

При адиабатическом сжатии температура газа повышается, а при адиабатическом расширении-понижается.

Уравнение Пуассона можно записать через любую пару переменных: pV , T , pT : $pV^\gamma = const$.

$$TV^{\gamma-1} = const$$

$$TP^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = const$$

II. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка (рис.1) состоит из стеклянного баллона Б, закрытого пробкой. В пробку вставлен стеклянный четверник, с помощью которого баллон соединен с манометром М, насосом Н и атмосферой (кран К). В шланг, соединяющий баллон с насосом, вставлен кран П, служащий для прекращения выхода воздуха после накачивания его в баллон.

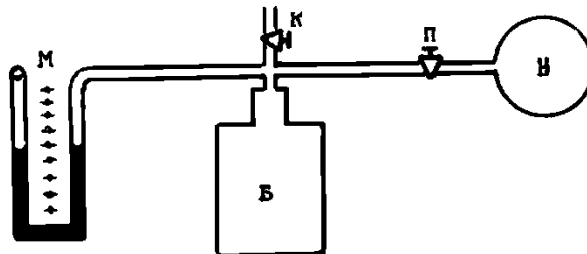


Рис.1

Рассмотрим ход опыта Клемана и Дезорма. Открыв кран П и закрыв кран К, насосом накачивают воздух в баллон, при этом воздух сжимается, а его температура и давление повышаются. Через некоторое время, благодаря теплопроводности стен баллона, воздух внутри него охладится до температуры окружающей среды, при этом в манометре установится некоторая разность уровней жидкости в правом и левом коленах. Обозначим разность уровней через разность h_1 . Она показывает, на сколько давление внутри баллона больше атмосферного.

Если обозначить атмосферное давление P_0 , то давление внутри баллон будет равно $P_0 + h_1$ (конечно P_0 и h_1 должны быть выражены в одних и тех же единицах).

Значит, первое состояние газа можно описать следующими параметрами:

$P_0 + h_1$ – давление воздуха внутри баллона,

V_1 – объем некоторой массы воздуха внутри баллона,

T_1 – температура воздуха внутри баллона, равная температуре окружающей среды.

Откроем кран К на время, пока давление в баллоне не станет атмосферным (P_0), при этом часть воздуха выйдет из баллона и в самом баллоне воздух расширится. Процесс расширения воздуха происходит достаточно быстро и его можно считать адиабатическим. Следовательно, газ совершает работу по расширению за счет уменьшения его внутренней энергии, а значит его температура понижается.

Тогда второе состояние газа можно описать параметрами:

P_0 – Давление воздуха, равное атмосферному давлению,

V_2 – объем газа,

T_2 – температура воздуха внутри баллона, ставшая меньше чем T_1 .

Через некоторое время воздух внутри баллона нагревается до температуры окружающей среды, при этом его объем не изменяется, следовательно, увеличивается давление. В манометре установится некоторая разность уровней жидкости в правом и левом коленах.

Третье состояние газа можно описать следующими параметрами:

$P_0 + h_2$ – давление воздуха внутри баллона,

V_2 – объем газа,

T_1 – температура газа.

Сравнивая первое и третье состояние газа, можно заметить, что температуры одинаковы, следовательно, можно применить закон Бойля – Мариотта: «Для данной массы газа при постоянной температуре давление газа изменяется обратно пропорционально объему»:

$$\frac{P_0 + h_1}{P_0 + h_2} = \frac{V_1}{V_2}, \quad (1)$$

Переход газа из первого во второе состояние, как уже отмечалось, произошел адиабатически; следовательно, применим закон Пуассона в виде $PV^\gamma = \text{const}$:

$$\frac{P_0 + h_1}{P_0} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^\gamma, \quad (2)$$

Сопоставляя формулы (1) и (2), получим:

$$\frac{P_0 + h_1}{P_0} = \left(\frac{P_0 + h_1}{P_0 + h_2} \right)^\gamma.$$

Прологарифмируем последнее выражение:

$$\lg(P_0 + h_1) - \lg P_0 = \gamma [\lg(P_0 + h_1) - \lg(P_0 + h_2)].$$

Из него найдем γ :

$$\gamma = \frac{\lg(P_0 + h_1) - \lg P_0}{\lg(P_0 + h_1) - \lg(P_0 + h_2)}, \quad (3)$$

Так как давление P_0 , $P_0 + h_1$, $P_0 + h_2$ незначительно отличаются друг от друга, то в формуле (3) отношение разности логарифмов можно заменить отношением разности самих чисел P_0 , $P_0 + h_1$, $P_0 + h_2$. Тогда получим:

$$\gamma = \frac{P_0 + h_1 - P_0}{P_0 + h_1 - P_0 - h_2} = \frac{h_1}{h_1 - h_2}. \quad (4)$$

Формула (4) является расчетной для определения отношения теплоемкости.

2. Порядок выполнения работы

1. Закройте кран К, откройте кран П и с помощью насоса накачайте воздух в баллон до некоторой разности уровней жидкости в манометре.
2. Когда уровни жидкости в манометре установятся окончательно (т.е. газ в баллоне охладится до комнатной температуры), отсчитайте по шкале разности уровней в коленях манометра h_1 .
3. Быстро и полностью откройте кран К и закройте его как только уровни жидкости в коленях манометра сравняются.
4. Дайте время (~ 2 мин) установится уровням в коленях манометра. За это время температура воздуха в баллоне сравнивается с температурой окружающей среды. Отсчитайте разность уровней в коленях манометра h_2 .
5. Вычислите γ по формуле (3, 4).
6. Опыт повторите не менее 5-7 раз.
7. Рассчитайте ошибки измерений.

$$E_\gamma = \frac{\Delta\gamma}{\gamma}$$

8. Результаты измерений занесите в таблицу 1:

Таблица 1

Результаты измерений

№ п/п	h_1	h_2	Δh	γ	$\Delta\gamma$	$E_\gamma, \%$
1.						
2.						
3.						
Сред.						

9. Сделайте выводы.

4. Контрольные вопросы

1. От чего зависит внутренняя энергия газа?
2. Какой процесс называется адиабатическим?
3. Напишите первое начало термодинамики и уравнение Пуассона. Поясните их.
4. Выведите соотношение Майера.
5. Напишите первое начало термодинамики и уравнение состояния для изохорического и изотермического процессов.
6. Изобразите на графике все изопроцессы.
7. Каков физический смысл газовой постоянной?
8. Сформулируйте экспериментальные газовые законы.

Список литературы

1. Дмитриева, В.Ф. / Физика : программа, метод. указ. и контрольные задания для студ. - заочников инженерно-технических и технологических спец. вузов / В.Д. Дмитриева, В.А. Рябов, В. М. Гладской. - 4-е изд., стер. - М. Высш. шк., 2007. - 126 с.
2. Пронин, В.П. / Краткий курс физики : учебное пособие / В.П. Пронин. - Саратов : ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ", 2009. - 296 с.
3. Пронин, В.П. / Практикум по физике : учебное пособие / В.П. Пронин. - 2-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2005. - 256 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ МОСТИКОМ УИТСТОНА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучить методы расчета электрических цепей, и определить сопротивление проводников мостиком Уитстона.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: реохорд, набор сопротивлений, магазин сопротивлений, гальванометр, ключ, источник постоянного тока.

I. Краткие теоретические сведения

По своим электрическим свойствам все тела делятся на три класса: проводники, полупроводники и диэлектрики. Те тела, в которых электрический заряд может свободно перемещаться по всему телу, называются проводниками электричества. Тела, в которых заряды не могут перемещаться из одной части в другую, называются изоляторами или диэлектриками.

Проводниками являются все металлы, а также электролиты и ионизированные газы. Такие вещества, как слюда, стекло, эбонит, фарфор, чистая вода являются диэлектриками.

Промежуточное положение занимают полупроводники, в которых перемещение зарядов в сильной степени зависит от внешних условий (особенно от температуры и от наличия в них примесей). К полупроводникам относятся сурьма, германий, кремний и др.

Проводники бывают двух родов. К проводникам первого рода относятся все металлы. Перемещающимися в них зарядами являются свободные электроны. При перемещении в них электронов в металле не происходит химических изменений.

К проводникам второго рода относятся растворы солей, кислот, щелочей. В них под действием электрического поля происходит перемещение положительных и отрицательных ионов. При этом в растворе и на электродах происходят химические превращения.

Упорядоченное движение зарядов называется электрическим током. За направление электрического тока условно принято направление движения положительного заряда. Количественной характеристикой электрического тока является скалярная величина, численно равна количеству электричества, проходящему через сечение проводника в единицу времени. Эта величина называется силой тока I . Единицей измерения силы тока в системе СИ является ампер (А).

Электрический ток, сила и направление которого не меняется с течением времени, называется постоянным. Если же сила и направление тока меняется – ток называется переменным. Для того, чтобы по проводнику протекал постоянный электрический ток, необходимо создать на его концах постоянную разность потенциалов

$$\Delta\varphi = \varphi_a - \varphi_b$$

Эта разность потенциалов называется напряжением и обозначается буквой U :

$$U = \varphi_a - \varphi_b$$

Единицей измерения напряжения в системе СИ служит вольт. Немецкий физик Ом установил, что сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению на концах этого проводника:

$$I = kU$$

где k – коэффициент пропорциональности, называемый проводимостью.

Величина, обратная проводимости, называется сопротивлением.

$$R = \frac{1}{k}$$

В системе СИ сопротивление измеряется в Омах.

Учитывая /2/, формула /1/ имеет вид:

$$I = \frac{U}{R}$$

Это соотношение выражает закон Ома для участка цепи: сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению.

Сопротивление металлического проводника зависит от его размеров и свойств металла, из которого изготовлен проводник:

$$R = \rho \frac{\ell}{S}, \text{ где}$$

ℓ -длина проводника,

S -площадь его сопротивления,

ρ -удельное сопротивление, т.е. сопротивление проводника длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 м² /система СИ/.

Удельное сопротивление является важной характеристикой металла. В системе СИ оно измеряется в Ом м.

С повышением температуры металла усиливается интенсивность хаотического движения электронов и колебательного движения ионов металлической решетки, что приводит к увеличению сопротивления проводника. Зависимость сопротивления проводника от температуры выражается формулой:

$$R = R_0(1 + \alpha t), \text{ где}$$

R_0 -сопротивление проводника при 0⁰С,

α -температурный коэффициент сопротивления.

Для поддержания постоянного тока в цепи необходимо поддерживать постоянное напряжение на ее концах. Для этого служит источник тока, внутри которого происходит разделение положительных и отрицательных зарядов и перенос их на полюса источника тока. Силы, разделяющие заряды, имеют неэлектрическую природу и называются сторонними электроразделительными силами.

Работа, совершаемая сторонними силами по перемещению единичного положительного заряда внутри источника между его полюсами, называется электродвижущей силой $\mathcal{E}$ (эдс).

В системе СИ эдс измеряется в Вольтах.

Если внешняя цепь разомкнута, то эдс равна разности потенциалов, возникающей на полюсах источника тока.

Всякая замкнутая цепь состоит из источника тока и нагрузки. Для замкнутой цепи закон Ома имеет вид:

$$J = \frac{\mathcal{E}}{R + r}, \quad (6)$$

где R – внешнее сопротивление (т.е. сопротивление нагрузки, включая и сопротивление соединительных проводов).

r – внутреннее сопротивление (т.е. сопротивление самого источника тока).

Любая реальная электрическая цепь содержит несколько сопротивлений, соединенных между собой различными способами. Наиболее простые виды соединений это последовательное и параллельное (рис.1) :

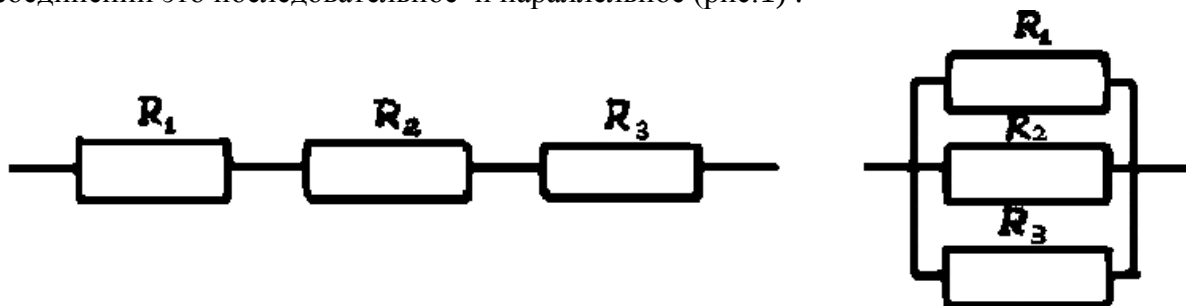


Рис.1

Полное сопротивление цепи, состоящей из нескольких последовательно соединенных проводников, равно сумме сопротивлений этих проводников:

$$R = \sum_{i=1}^n R_i = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (7)$$

Полная проводимость параллельно соединенных проводников равна сумме проводимостей этих проводников:

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (8)$$

Для расчета разветвленной цепи, в которой произвольно размещены сопротивления и источники тока, не достаточно применения закона Ома и формул (7) и (8). В этом случае можно применить два правила Кирхгофа.

Первое правило Кирхгофа: алгебраическая сумма сил тока в узле разветвления равна нулю:

$$\sum_{i=1}^n J_i = 0$$

Под узлом разветвления понимают такие точки цепи, в которых сходится не менее трех проводников. Токи, входящие в узел, условно считают положительным, а токи, выходящие из узла, - отрицательными. Под узлом разветвления понимают такие точки цепи, в которых сходится не менее трех проводников. Токи, входящие в узел, условно считают положительными, а токи, выходящие из узла, - отрицательными.

Второе правило Кирхгофа: в замкнутом контуре разветвленной цепи алгебраическая сумма электродвижущих сил источников тока равна алгебраической сумме произведений сил тока на сопротивления соответствующих участков этого контура:

$$\sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i = \sum_{i=1}^n J_i R_i$$

При этом также следует строго придерживаться правила знаков: токи, идущие вдоль выбранного направления обхода (в данном случае по часовой стрелке), считаются положительными, а идущие против направления обхода – отрицательными. Электродвижущая сила считается положительной, если она создает ток в положительном направлении обхода контура, в противном случае эдс имеет отрицательный знак.

II. Описание экспериментальной установки

Одним из наиболее точных способов измерения сопротивлений является метод моста Уитстона. Мост (рис.4) состоит из реохорда АС, гальванометра G, магазина сопротивлений R_0 , исследуемого сопротивления R_x , ключа замыкания К и источника Б.

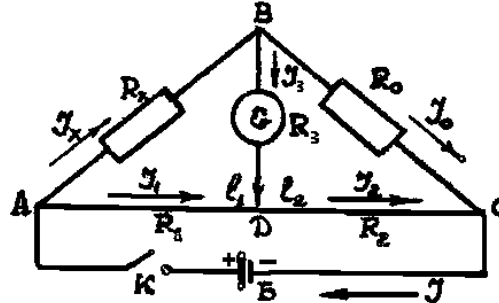


Рис.2

Реохорд АС выполнен из однородной проволоки, сечение которой неизменно по всей ее длине. Скользящий контакт Д. дает возможность изменять длину плеч реохорда l_1 и l_2 и тем самым изменять сопротивление участков АД и ДС. Запишем первое правило Кирхгофа для узлов В и Д. и второе правило для контуров АВДА и ВСДВ:

$$\begin{aligned} \text{для узла В} - J_x - J_0 - J_g &= 0 \\ \text{для узла Д.} - J_1 - J_2 + J_g &= 0 \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \text{для контура АВДА} - J_x R_x + J_g R_g - J_1 R_1 &= 0 \\ \text{для контура ВСДВ} - J_0 R_0 - J_g R_g - J_2 R_2 &= 0 \end{aligned} \quad (12)$$

Пусть ток в гальванометре отсутствует, т. е. $J_g = 0$

Тогда формулы (11) и (12) примет вид:

$$J_x = J_0$$

$$J_1 = J_2 \quad (13)$$

$$J_x R_x = J_1 R_1 \quad (14)$$

$$J_x R_x = J_2 R_2 \quad (15)$$

Поделим уравнение (14) на уравнение (15) и получим:

$$\frac{J_x R_x}{J_0 R_0} = \frac{J_1 R_1}{J_2 R_2}$$

Если учесть (13), то получим:

$$R_x = R_0 \frac{R_1}{R_2} \quad (16)$$

где R_1 и R_2 – сопротивления плеч реохорда.

Согласно формуле (4) можем записать:

$$R_1 = \rho \frac{\ell_1}{S} \quad \text{и} \quad R_2 = \rho \frac{\ell_2}{S}$$

Тогда получим:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\ell_1}{\ell_2} \quad (17)$$

Подставляя (17) в (16), получим:

$$R_x = R_0 \frac{\ell_1}{\ell_2} \quad (18)$$

Это есть рабочая формула, по которой определяют сопротивление R_x при условии, что ток в цепи гальванометра отсутствует ($J_g = 0$).

III. Порядок выполнения работы

1. Соберите цепь по схеме (рис. 2). Подсоедините в качестве R_x одно из исследуемых сопротивлений R_{x1} .

2. Установите переключатели магазина сопротивлений на нули.

3. Установите ползунок Д. на середину реохорда.

4. Кратковременно замкните цепь ключом К, при этом заметьте, в какую сторону отклоняется стрелка гальванометра.

5. Поочередно вращая переключатели магазина сопротивлений (начиная с большего значения), подберите такое наименьшее значение R_0 , при котором стрелка гальванометра устанавливается наиболее близко к нулю.

6. Перемещая скользящий контакт Д. вдоль реохорда, установите стрелку гальванометра точно на нуль.

7. Запишите в таблицу 1 (для R_{x1}) полученные значения R_0, l_1, l_2 .

8. Измените сопротивление в магазине сопротивлений на величину, равную $\pm 10\%$ от первоначального значения R_0 . С помощью скользящего контакта Д. установите стрелку гальванометра вновь на нуль.

9. Запишите новые значения R_0, l_1, l_2 в таблицу 1.

10. Подключите в цепь вместо R_{x1} , второе неизвестное сопротивление R_{x2} . Повторите пункты 1-9.

11. Соедините оба исследуемых сопротивления последовательно и определите их общее сопротивление R_3 , повторив пункты 1-9.

12. Соедините оба исследуемых сопротивления параллельно и определите их общее сопротивление R_4 , повторив пункты 1-9.

13. По формуле (18) вычислите сопротивление R_x для каждого измерения и запишите их в таблицу. Вычислите средние значения.

14. Вычислите полное сопротивление при последовательном и параллельном соединениях исследуемых сопротивлений по формулам (7) и (8). Результаты сравните с опытными значениями R_3 и R_4 .

15. Рассчитайте ошибки измерений R_{x1}, R_{x2}, R_3, R_4 по формулам:

Относительная ошибка

$$E_k \frac{\Delta R_0}{R_0} + \frac{\Delta \ell_1}{\ell_1} + \frac{\Delta \ell_2}{\ell_2}$$

Абсолютная ошибка

$$\Delta R = R_0 \times E_R$$

16. Данные вычисления занесите в таблицу 1.

17. Сделайте выводы.

Таблица 1

№п/п	$R_0, \text{Ом}$	$\ell_1, \text{мм}$	$\ell_2, \text{мм}$	$R_x, \text{Ом}$	$\Delta R_x, \text{Ом}$	$E_R, \%$	$R = R_{\text{ср}} \pm \Delta R_{\text{ср}}, \text{Ом}$
Сопротивление R_1							
1.							
2.							
3.							
Ср.							

Сопротивление R_2							
1.							
2.							
3.							
Ср.							
Сопротивление R_3							
1.							
2.							
3.							
Ср.							
Сопротивление R_4							
1.							
2.							
3.							
Ср.							

V. Контрольные вопросы

1. Что называется силой тока и напряжением? В каких единицах они измеряются?
2. Напишите закон Ома для участка цепи и для замкнутой цепи.
3. Как зависит сопротивление проводников от температуры и размеров?
4. Сформулируйте правила Кирхгофа.
5. Нарисуйте схему моста Уитстона и поясните ее.

Список литературы

1. Грабовский, Р.И. / Курс физики: учебное пособие / Р.И. Грабовский. - 11-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2009. - 608 с.
2. Основы физики и биофизики: Учеб. пособие : учебное пособие / ред. : А.И. Журавлев. - М. : Мир, 2005. - 383 с.
3. Охрименко, О.В./ Лабораторный практикум по химии и физике молока : учебное пособие / О.В. Охрименко, К.К. Горбатова, А.В. Охрименко. - СПб. : ГИОРД, 2005. - 50 с.
4. Пронин, В.П. / Краткий курс физики : учебное пособие / В.П. Пронин. - Саратов : ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ", 2009. - 296 с.
5. Пронин, В.П. / Практикум по физике : учебное пособие / В.П. Пронин. - 2-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2005. - 256 с.
6. законов и формул : справочник / Т.И. Трофимова. - 6-е изд., стер. - М. :Высш. шк., 2007. - 63 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ГРАДУИРОВКА ТЕРМОПАРЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕЛА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучить термоэлектрические явления, проградуировать термопару и определить с помощью термопары температуру тела.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: термопара, гальванометр, термометр, нагреватель.

I. Краткие теоретические сведения

Если два различных материала привести в тесный контакт (спаять), то на их концах появится некоторая разность потенциалов, называемая контактной разностью потенциалов. Под тесным контактом подразумевается контакт поверхностей металлов на расстояние порядка размера ячейки кристаллической решетки. Изучая контактные явления в металлах, итальянский физик Вольта установил два закона.

Первый закон Вольта: контактная разность потенциалов двух металлов зависит только от их химического состава и температуры.

Второй закон Вольта: разность потенциалов между концами разомкнутой цепи, составленной из нескольких последовательно соединенных металлических проводников, имеющих одинаковую температуру, не зависит от промежуточных проводников и равна контактной разности потенциалов, возникающей при непосредственном контакте концевых проводников.

Образование контактной разности потенциалов обусловлено переходом электронов из одного металла в другой, а этот переход происходит по двум причинам.

1. Все металлы характеризуются определенной работой выхода, то есть работой, которой нужно совершать электрону, чтобы выйти из металла в окружающую его пустоту. Следовательно, если привести в тесный контакт два разных металла, то у одного из них работа выхода электронов будет больше, чем у другого. Пусть $A_2 > A_1$. Очевидно, что свободный электрон первого металла, попавший в процесс хаотического движения на границу раздела металлов, будет испытывать силу притяжения со стороны второго металла и пройдет в него. Таким образом, через границу раздела будет происходить «перекачка» свободных электронов из первого металла во второй. Первый металл зарядится положительно (нехватка электронов), второй отрицательно (избыток электронов).

Возникающая при этом разность потенциалов создает электрическое поле, которое затрудняет дальнейшую перекачку электронов и прекратит ее, когда работа перемещения электронов за счет контактной разности потенциалов станет равна разности работ выхода электронов из металла, т. е.

1. С точки зрения электронной теории металлов хаотическое движение электронов в металле можно рассматривать подобно движению молекул в газе. Поэтому совокупность свободных электронов в металле называется «электронным газом» и каждый металл характеризуется числом свободных электронов в единице объема при $t = 0^\circ \text{C}$, т. е. определенной концентрацией свободных электронов.

В случае контакте двух разных металлов на границе раздела будет происходить диффузия электронов, т. е. переход электронов из металла с большей концентрацией в металл с меньшей концентрацией. Этот переход электронов создает дополнительную контактную разность потенциалов, которая равна:

Таким образом, суммарная разность потенциалов будет равна:

$$U = -\frac{A_1 - A_2}{\ell} + \frac{kT}{\ell} \ln \frac{n_{01}}{n_{01}} \quad (1)$$

Формула (1) является математическим выражением законов Вольта.

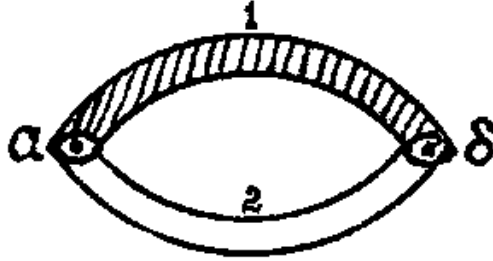


Рис.1

Рассмотрим замкнутую цепь, состоящую из двух разнородных металлов. В местах контакта а и б (рис. 2), образуется разность потенциалов U_a и U_δ , причем $U_a = -U_\delta$ и суммарная разность потенциалов будет равна нулю.

Действительно согласно формуле (3)

$$U_a = -\frac{A_1 - A_2}{\ell} + \frac{kT}{\ell} \ln \frac{n_{01}}{n_{01}} \quad (2)$$

$$U_\delta = -\frac{A_2 - A_1}{\ell} + \frac{kT}{\ell} \ln \frac{n_{02}}{n_{01}} \quad (3)$$

Если в последнем равенстве поменять местами A_1 и A_2 , а также n_{01} и n_{02} , то получим:

$$U_\delta = -\frac{A_1 - A_2}{e} + \frac{kT}{e} \ln \frac{n_{01}}{n_{02}} \quad (4)$$

Сравнивая /4/ и /6/ видим, что:

$$U_a = -U_\delta$$

Но так обстоит дело, если температура контактов одинакова. Рассмотрим случай, когда температура контактов различна. Пусть $T_a > T_\delta$, тогда, складывая (2) и (3), получим:

$$U_\delta = \frac{KT}{e} \ln \frac{n_{01}}{n_{02}} - \frac{KT}{e} \ln \frac{n_{01}}{n_{02}} = \frac{KT}{e} \ln \frac{n_{01}}{n_{02}} (T_a - T_\delta) = \varepsilon_T \quad (5)$$

т. е суммарная разность потенциалов не равна нулю. Эта разность потенциалов называется электродвижущей силой термопары (т. е. спаянных двух разнородных металлов) и обозначается $\mathcal{E}_T$.

Обозначим $\frac{KT}{e} \ln \frac{n_{01}}{n_{02}} = \alpha$.

Эта формула (7) примет вид:

$$\mathcal{E}_T = d(T_a - T_\delta) = \alpha \Delta T \quad (8)$$

Из последней формулы видно, что термоэлектродвижущая сила термопары прямо пропорциональна разности температур ее спаев. График зависимости $\mathcal{E}_T$ от ΔT называется градуировочной кривой термопары.

II. Описание экспериментальной установки

В данной работе исследуется термопара, изготовленная из двух различных металлов в виде проволоки, концы которых спаянны. Оба спая термопары помещены в сосуды с водой. Один из сосудов ставится на нагреватель N, а другой оставлен при неизменной температуре (комнатной). Для измерения температуры воды в сосудах используются жидкостные термометры. К клеммам термопары подключен гальванометр, который служит для определения термо тока.

I. Порядок выполнения работы

Задание 1: Градуировка термопары.

1. Соберите цепь по схеме (рис. 3).
2. Залейте в сосуды воду комнатной температуры. Измерьте температуру воды t_0 .
3. Опустите спаи термопары в сосуды с водой.
4. Поставьте один сосуд с водой на нагреватель и включите его (воду в сосуде помешивайте мешалкой).
5. По мере нагревания воды в сосуде, снимите показания термометра и гальванометра через равные промежутки (интервалы) температуры (интервал температуры задается преподавателем)
6. Данные измерений занесите в таблицу 1.
7. По результатам измерений постройте график зависимости термо тока от разности температур спаев термопары, отложив разность температур ΔT по оси X, а показания гальванометра по оси Y.

Таблица 1

Градуировка термопары	
Температура холодного спая $t_0 =$	
Показания гальваном. п	
$t, ^\circ\text{C}$	
$\Delta t, ^\circ\text{C}$	

Задание 2: Определение температуры тела.

1. Выньте термопару из сосудов с водой и остудите ее.
2. Опустите один спай в сосуд с водой комнатной температуры, а другой прислоните к телу, температуру которого следует определить.
3. Снимите показания гальванометра.
4. По графику найдите значение Δt , соответствующее полученному указанию гальванометра.
5. Определите искомую температуру тела t_x по формуле: $t_x = t_0 + \Delta t$.
6. Данные измерений и вычислений занесите в таблицу 2.
7. Сделайте выводы.

Таблица 2

Определение температуры тела

№п/п	n, делений гальванометра	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$t_x = t_0 + \Delta t, ^\circ\text{C}$
1.			
2.			
3.			

Сред.			
-------	--	--	--

IV. Контрольные вопросы

1. Сформулируйте правила Вольта.
2. Запишите формулу контактной разности потенциалов и поясните ее.
3. Каковы причины образования термоэлектродвижущей силы?
4. Что называется работой выхода электронов из металла; зависит ли она от температуры металла?
5. Назовите наиболее существенные достоинства термоэлектрического термометра.

Список литературы

1. Грабовский, Р.И. / Курс физики: учебное пособие / Р.И. Грабовский. - 11-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2009. - 608 с.
2. Пронин, В.П. / Краткий курс физики : учебное пособие / В.П. Пронин. - Саратов : ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ", 2009. - 296 с.
3. Пронин, В.П. / Практикум по физике : учебное пособие / В.П. Пронин. - 2-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2005. - 256 с.
4. Седов, Н.В. / Прикладная физика. [Текст] : учеб. пособ. / Ю.Н.Захаров; Н.В.Фёдоров. - Саратов : [б. и.], 2006. - 517 с.
5. Трофимова, Т. И. / Физика. 500 основных законов и формул : справочник / Т.И. Трофимова. - 6-е изд., стер. - М. :Высш. шк., 2007. - 63 с.
6. Чернов, И.П. / Сборник задач по физике. Механика. Молекулярная физика. Термодинамика: учебное пособие / И.П. Чернов, В.В. Ларионов, Ю.И. Тюрин. - М. : Высш. шк., 2007. - 405 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

СНЯТИЕ ВОЛЬТАМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: ознакомиться с особенностями проводимости в полупроводниках; снять и изучить характеристики полупроводникового диода.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: установка для снятия вольтамперной характеристики полупроводникового диода.

I. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Все вещества по электропроводимости делятся на три класса проводники, диэлектрики и полупроводники.

В металлах (проводниках первого рода) концентрация свободных электронов велика, поэтому сопротивление металлов электрическому току очень мало. В диэлектриках концентрация свободных электронов ничтожно мала. Поэтому сопротивление диэлектриков велико. Полупроводники по величине электрического сопротивления занимают промежуточное место между металлами и диэлектриками. Удельное сопротивление металлов порядка 10^{-7} Ом м и меньше, диэлектриков 10^{+8} Ом м и больше; удельное сопротивление полупроводников лежит между указанными пределами.

Характерной особенностью полупроводников являемся то, что их электрические свойства резко изменяются под действием ряда физических факторов: температуры, освещения, электрического поля, примесей.

К полупроводникам относятся некоторые химические элементы, например: германий Ge, селен Se, кремний Si; оксиды: закись меди CuO, окись цинка ZnO; интерметаллические соединения InSb, GaAs и др.

Из теории строения атома известно, что каждый электрон может иметь только вполне определенные значения энергии.

Ввиду этого энергетический спектр электронов изолированного атома является дискретным. Энергия электронов соответствует определенным энергетическим уровням, значение энергий между которыми являются запрещенными для электронов. При больших расстояниях атомы независимы друг от друга и их энергетические уровни одинаковы.

В твердом теле расстояние между атомами настолько мало, что каждый из них находится в сильном электромагнитном поле, созданном соседними атомами. Это приводит к расщеплению одних и тех же энергетических уровней отдельных атомов, т.е. превращению их в энергетическую зону. Энергетические зоны в кристалле, так же как и дискретные уровни в атоме, отделены друг от друга зонами запрещенных энергетических значений и могут вместить лишь определенное количество электронов.

Величина расщепления для разных уровней неодинакова, появляются системы уравнений. По мере уменьшения (т.е. сближения атомов), зоны будут перекрываться, а расщепление захватит и уровни внутренних электронов.

Электрические свойства материалов определяются заполненностью электронами валентной зоны, т.к. поведение электронов в заполненной и незаполненной зонах существенно отличается. Внешнее электрическое поле в кристалле может вызвать изменение в движении электронов не полностью заполненной зоны и не изменяет

движение электронов в зоне, заполненной полностью. Это объясняется тем, что изменение движения электронов связано с изменением его энергетического состояния, а последнее возможно тогда, когда электрон находится в зоне, где есть свободные энергетические уровни, т.е. в не полностью заполненной зоне. В зоне, заполненной полностью нет свободных уровней, и поэтому не может изменять своего движения под действием внешнего поля.

При нагревании начинаются переходы электронов из валентной зоны в зону проводимости. С ростом температуры все большая часть электронов с верхних уровней валентной зоны переходит на нижние уровни зоны проводимости, что и приводит к возрастанию проводимости.

Нарушение валентных связей приводит к одновременному образованию свободных электронов и пустых мест – дырок вблизи тех атомов, от которых оторвались электроны. На свободное место может перескочить электрон одного из соседних атомов. Дырка, имеющая положительный заряд начинает перемещаться по кристаллу так же, как и освободившийся электрон. Таким образом, в полупроводниках имеются два типа подвижных носителей заряда – электроны и дырки.

При отсутствии внешнего поля электроны и дырки движутся хаотически. Под действием поля они приобретают упорядоченное движение: электроны против поля, дырки – по полю. Химически чистый полупроводник (беспримесный) называют собственным, образующиеся в нем носители зарядов – электроны и дырки – собственными носителями, обусловленную ими проводимость – собственной проводимостью. Для такого полупроводника концентрация электронов равна концентрации дырок, т.е. $n=p$.

Электропроводность полупроводников сильно зависит от наличия в них примесей. Так, например, тысячные доли процентов примесей могут в сотни тысяч раз уменьшить их сопротивление.

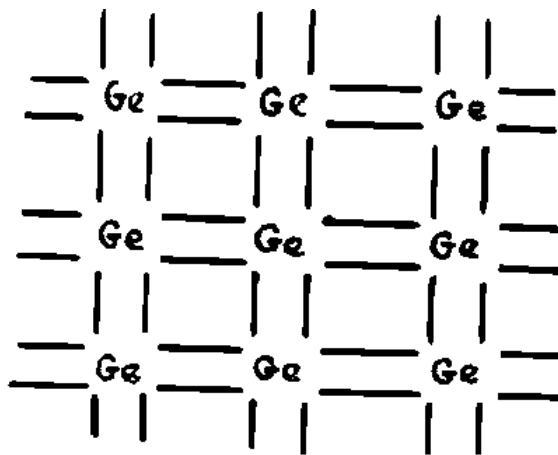


Рис. 1.

Рассмотрим механизм влияния примесей на электропроводность полупроводников. Допустим, что в германий внесены примеси мышьяка, атомы которого имеют, пять валентных электронов. Каждый атом германия связан (рис. 1) ковалентными связями с четырьмя ближайшими соседями, образуя устойчивую оболочку из восьми электронов. Если в кристалле атомы германия будут частично заменены атомами мышьяка, то четыре из его пяти валентных электронов заполнят валентные связи с четырьмя соседними атомами германия, а пятый окажется лишним. Он перейдет на примесный уровень, расположенный у дна зоны проводимости. При этом $\Delta E_g \ll \Delta E$, благодаря чему при небольших внешних воздействиях (ΔE_g – энергия, отделяющая донорные уровни от

зоны проводимости) концентрация примесных электронов, поставляемых примесными атомами в зону проводимости, превзойдет концентрацию собственных носителей. Подобного типа примеси и образованные ими уровни получили название донорных уровней (отдающих электроны). Такая проводимость называется электронной, а проводник – *n* типа.

Если часть атомов германия заменить атомами одного из элементов третьей группы периодической системы элементов, например, индия, то трех его валентных электронов не хватит (рис.2) для заполнения валентных связей с соседними атомами германия. Образуется вакантная связь, которая может быть заполнена за счет перехода на вакансию электрона из любой заполненной связи.

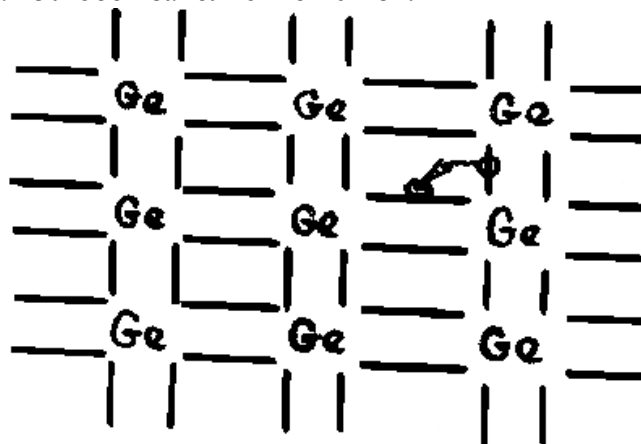


Рис. 2.

С энергетической точки зрения этот переход эквивалентен переходу электрона из заполненной валентной зоны кристалла на энергетический уровень примеси (рис 3 а). Этот переход освобождает один из уровней в верхней части валентной зоны, создавая в ней дырку, при этом $\Delta E_a \ll \Delta E$ (ΔE_a - энергия, отделяющая акцепторные уровни от зоны проводимости). Примеси такого рода называются акцепторными (принимающими электроны), проводимость называется дырочной, а полупроводник *p* – типа.

Основным элементом полупроводниковых приборов является *p – n –* переход, представляющий собой граничный слой в полупроводнике с двумя областями, одна из которых обладает проводимостью *p* – типа, а другая – *n*- типа.

Рассмотрим процессы, происходящие на границе контакта двух полупроводников с разными типами проводимости (*p – n*).

При отсутствии внешнего поля в месте контакта двух полупроводников начинается процесс диффундирования (перехода) дырок в *n* – полупроводник и электронов в *p* – полупроводник. Прилегающая к контакту область *n* – полупроводника получит положительный заряд, обусловленный положительными атомами доноров, а соответствующая область *p* – полупроводника – отрицательный, отрицательные атомы акцепторов. В результате левый полупроводник оказался заряженным положительно, а правый отрицательно, т. е. на границе раздела возникает двойной электрический слой. Возникающая в месте контакта полупроводников контактная разность потенциалов, и соответственно электрическое поле, препятствует, дальнейшему переходу электронов и дырок через границу *p-n* – перехода.

Если рассматриваемую систему включить в электрическую цепь так, чтобы внешнее поле было направлено против поля на границе (рис. 3 б), то электроны и дырки начнут двигаться навстречу друг другу, уменьшая ширину двойного электрического слоя и по цепи пойдет ток, сила которого быстро возрастает при увеличении приложенного

напряжения. Такое включение р-п – перехода называется прямым, а проходящий ток – прямым или пропускным током.

Если направление внешнего поля совпадает с направлением поля в месте контакта двух полупроводников (рис. 3 в), электроны и дырки начнут двигаться в противоположных направлениях, увеличивая ширину двойного электрического слоя. Величина тока в этом случае будет очень мала и обусловлена тепловой диффузией электронов из n – области в р – область, и дырок из р – в n область. Такое включение р-п – перехода называется обратным или запиорным, а проходящий ток – обратным или запирающим током.

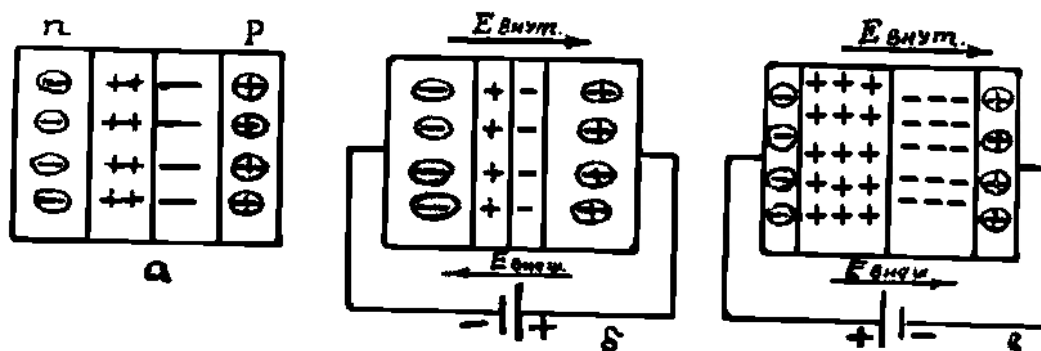


Рис. 3.

Зависимость тока, проходящего через р-п – переход, от приложенного напряжения, называемого вольт-амперной характеристикой Р-п – перехода (рис.4). Верхняя кривая соответствует прямому включению, а нижняя -обратному (запорному).

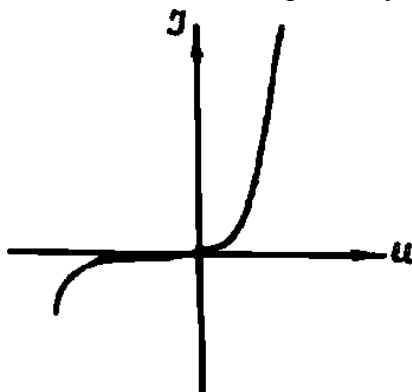


Рис. 4

Такой вид вольт-амперной характеристики указывает на одностороннюю проводимость р-п – перехода, что позволяет использовать его для выпрямления переменного тока.

Такие приборы получили название диодов (полупроводниковых).

Одной из важнейших характеристик полупроводникового диода является коэффициент выпрямления, равный отношению сил токов – прямого к обратному, измеренных при одинаковых прямом и обратном напряжениях.

$$K = \frac{J_{np}}{J_{обр}} \text{ при } |U_{np}| = |U_{обр}|.$$

II. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

В работе предлагается снять вольт-амперную характеристику полупроводникового диода и измерить его коэффициент выпрямления.

Схема установки изображена на рис. 7.

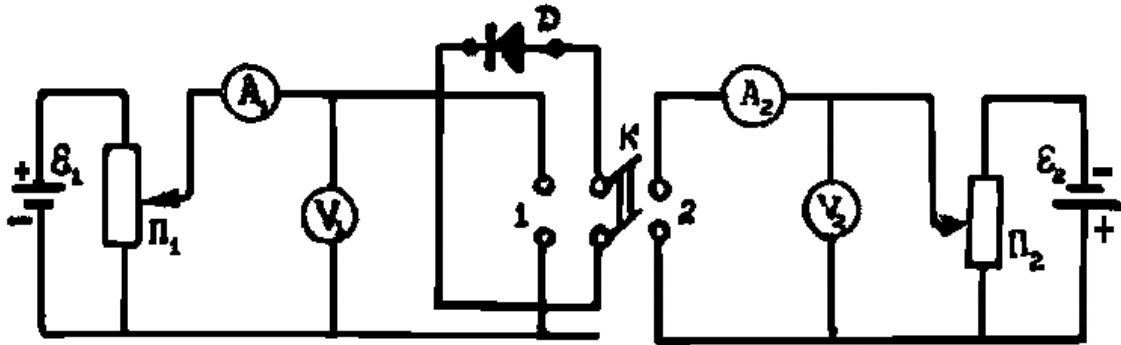


Рис.7

Переключателем К на полупроводниковый диод Д можно подавать напряжение от источника $\mathcal{E}_1$ в прямом направлении и от источника $\mathcal{E}_2$ в обратном направлении.

Напряжение, подаваемое на диод, можно изменять потенциометрами Π_1 и Π_2 . Прямой ток через диод измеряется миллиамперметром A_1 , обратный ток – микроамперметром A_2 . Напряжение, подаваемое на диод, измеряется вольтметрами V_1 и V_2 .

III. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Определите диапазон измерения и цену деления приборов.
2. Поставьте потенциометр Π_1 в крайнее левое положение, включите источник питания $\mathcal{E}_1$.
3. Поставьте переключатель К в положение 1, соответствующие прямому направлению тока через диод Д.
4. Снимите зависимость прямого тока от напряжения, постепенно повышая напряжение поворотом потенциометра Π_1 . (интервалы изменения напряжения указываются преподавателем).
5. Отключите источник питания $\mathcal{E}_1$.
6. Поставьте переключатель К в положение 2 и включите источник питания $\mathcal{E}_2$.
7. Снимите зависимость обратного тока от напряжения, изменяя напряжение U_2 на диоде с помощью потенциометра Π_2 .
8. Данные опыта занесите в таблицу 1.
9. Постройте вольт-амперную характеристику диода по данным таблицы 1.
10. Рассчитайте параметры диода (K , $R_{пр}$, $R_{обр}$) из вольт-амперной характеристики.
11. Вычислите максимальный коэффициент выпрямления для диода.

$$K = \frac{J_{пр}}{J_{обр}} \text{ при } |U_{пр}| = |U_{обр}|.$$

$$(R_{\text{пр}} = \frac{U_{\text{пр}}}{J_{\text{пр}}}, R_{\text{обр}} = \frac{U_{\text{обр}}}{J_{\text{обр}}}) \text{ рассчитаны при максимальном } K).$$

Таблица 1

Снятие вольт-амперной характеристики диода

№ п.п.	$U_{\text{пр}}, \text{В}$	$J_{\text{пр}}, \text{А}$	$U_{\text{обр}}, \text{В}$	$J_{\text{обр}}, \text{А}$	$R_{\text{пр}}, \text{Ом}$	$R_{\text{обр}}, \text{Ом}$	K

IV. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается отличие полупроводников от проводников и диэлектриков?
2. Что такое собственная, электронная и дырочная проводимости полупроводников?
3. Объясните возникновение двойного электрического слоя на границе p-n – перехода.
4. Объясните физические механизмы возникновения прямого и обратного токов диода.
5. Каковы основные параметры и характеристики полупроводниковых диодов?
6. Где применяются полупроводниковые диоды и какие функции они при этом выполняют?

Список литературы

1. Охрименко, О.В./ Лабораторный практикум по химии и физике молока : учебное пособие / О.В. Охрименко, К.К. Горбатова, А.В. Охрименко. - СПб. : ГИОРД, 2005. - 50 с.
2. Пронин, В.П. / Краткий курс физики : учебное пособие / В.П. Пронин. - Саратов : ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ", 2009. - 296 с.
3. Трофимова, Т. И. / Физика. 500 основных законов и формул : справочник / Т.И. Трофимова. - 6-е изд., стер. - М. :Высш. шк., 2007. - 63 с.
4. Чернов, И.П. / Сборник задач по физике. Механика. Молекулярная физика. Термодинамика: учебное пособие / И.П. Чернов, В.В. Ларионов, Ю.И. Тюрин. - М. : Высш. шк., 2007. - 405 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ТРАНЗИСТОРА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: снятие выходных и входных характеристик и определение статистических параметров транзистора.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: установка для снятия характеристик транзистора, исследуемые транзисторы, источник питания.

I. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Как отмечалось в лабораторной работе № 9, при контакте двух полупроводников различного типа проводимости образуется р-п переход, обладающий односторонней проводимостью. Если в одном кристалле проводника создать два р-п перехода, то получится система, способная усиливать или генерировать электрические сигналы. Такие полупроводниковые приборы получили название транзисторов. Различают транзисторы р-п-р и п-р-п типов (рис. 1 а, б). Средняя часть транзистора называется базой Б или основанием, а крайние – эмиттером Э и коллектором К.

Условные обозначения транзисторов в электрических схемах представлены на рис. 1 в, г.

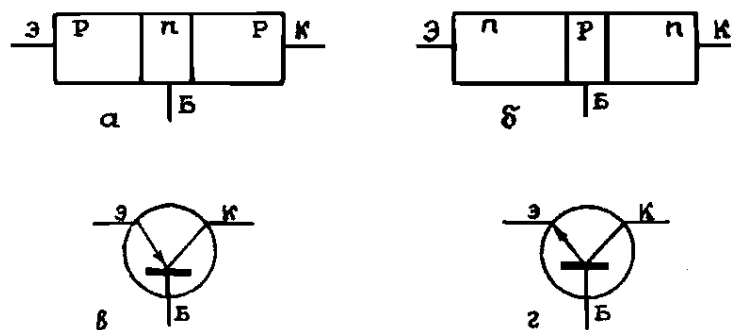


Рис. 1.

Рассмотрим работу транзистора р-п-р типа. Он представляет собой кристалл полупроводника, состоящий из двух областей р – типа, разделенных узкой областью п-типа (рис. 2).

К эмиттерному переходу подключена батарея $\mathcal{E}_э$ и источник слабого переменного напряжения U_c . К коллекторному переходу подключается батарея $\mathcal{E}_к$ и нагрузка R.

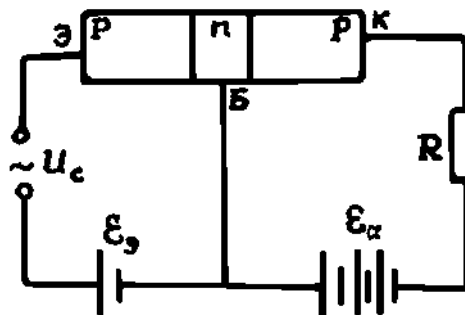


Рис. 2.

Таким образом, эмиттерный переход включен в прямом направлении, а коллекторный – в запорном.

Под действием электрического поля батареи $\mathcal{E}$, дырки из эмиттера попадают в базу. Слой базы очень тонкий (порядка нескольких микрометров), поэтому дырки не успевают рекомбинировать в базе и проходят через коллекторный переход, попадая в коллектор. Через эмиттерный переход течет ток J_δ , создаваемый преимущественно основными носителями эмиттера (дырками), а через коллектор течет ток J_k , создаваемый неосновными зарядами базы (дырками), причем $J_\delta \geq J_k$.

При подаче переменного сигнала U_c число дырок, пришедших из эмиттера в базу, изменится, а значит, изменится и число дырок, попавших в коллектор. Следовательно, всякое изменение тока в цепи эмиттера приводит к изменению тока в коллекторе.

Поскольку сопротивление коллекторного перехода велико (он включен в запорном направлении), изменение тока J_k значительно изменяет напряжение U_k , а значит и мощность. Таким образом, транзистор, включенный по данной схеме, усиливает переменный сигнал U_c по напряжению и мощности.

Рассмотренная схема включения транзистора является схемой с общей базой ОБ. Кроме того, существуют схемы включения транзистора с общим эмиттером ОЭ и общим коллектором ОК.

В данной лабораторной работе снимают характеристики транзистора, включенного с общим эмиттером ОЭ (рис. 3).

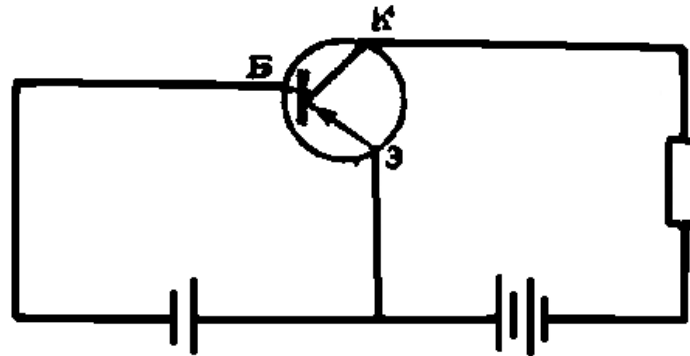


Рис. 3.

Свойства транзистора в такой схеме определяются входной и выходной характеристикам и статистическими параметрами: входное и выходное сопротивление и коэффициент усиления по току.

Входная характеристика – это зависимость входного тока от входного напряжения при постоянном входном напряжении

$$J_\delta = f(U_\delta) \text{ при } U_k = \text{const}$$

Этот параметр легко найти из графика входной характеристики (рис.4).

Выходная характеристика – это зависимость выходного тока от выходного напряжения при постоянном входном токе.

$$J_k = f(U_k) \text{ при } J_\delta = \text{const}$$

Выходное сопротивление транзистора равно:

$$R_{\text{вых}} = \frac{\Delta U_k}{\Delta J_k} \text{ при } J_\delta = \text{const}$$

Оно определяется из графика выходной характеристики (рис. 5)

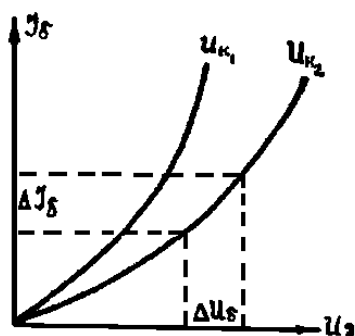


Рис. 4.

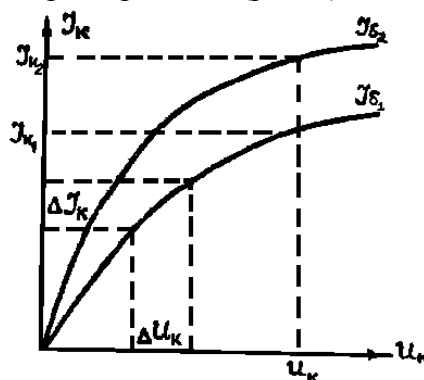


Рис. 5.

Коэффициент усиления по току равен отношению изменения силы входного тока к соответствующему изменению силы тока базы.

при $U'_к = const$.

Коэффициент усиления по току определяется из графика выходных характеристик, снятых при значениях тока базы $J_{δ1}$ и $J_{δ2}$ (рис.5).

II. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Схема установки для исследования транзистора приведена на рис. 6.

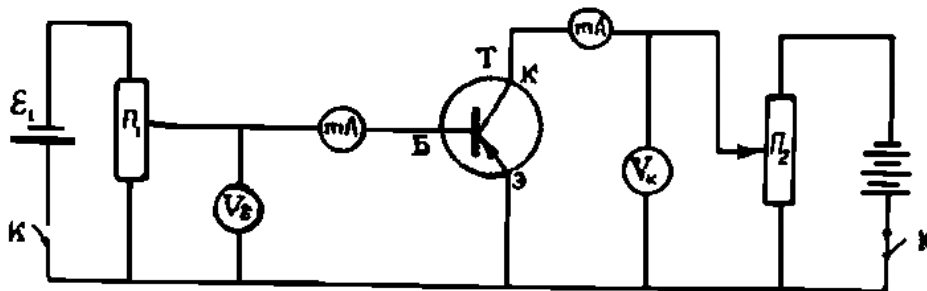


Рис.6

Напряжение от источника $\mathcal{E}_1$ при замыкании ключа K_1 подается на базу транзистора Т. Напряжение на базе регулируется потенциометром Π_1 . При замыкании ключа K_2 напряжение от источника $\mathcal{E}_2$ подается в цепь коллектора К, которое можно изменять потенциометром Π_2 . Сила тока в цепи базы измеряется микроамперметром, а в цепи коллектора – миллиамперметром. Напряжение, подаваемое на базу и коллектор измеряется вольтметрами V_δ и V_k .

III. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

ЗАДАНИЕ 1. Снятие входной характеристики транзистора $J_\delta = f(U_\delta)$ при $U_k = const$ и определение входного сопротивления транзистора.

ВНИМАНИЕ! Подавать напряжение на коллектор (между коллектором и эмиттером) можно только при наличии напряжения на базе (между базой и эмиттером).

1. Включите установку с помощью ключей K_1 и K_2 .
2. Снимите входную характеристику транзистора. Для этого установите постоянное напряжение на коллекторе U_{k1} . Изменяя напряжение на базе U_δ с помощью потенциометра Π_1 , запишите соответствующие значения силы тока базы J_δ .
3. Установите напряжение на коллекторе U_{k2} с помощью потенциометра Π_2 и вновь снимите зависимость тока базы J_δ от U_δ .

ПРИМЕЧАНИЕ: значения U_{k1} , U_{k2} и интервалы изменения U_δ задаются преподавателем.

4. Данные опыта занесите в таблицу 1.
5. Постройте входные характеристики транзистора.
6. По одной из входных характеристик транзистора рассчитайте входное сопротивление транзистора:

$$R_{\text{вх}} = \frac{\Delta U_\delta}{\Delta J_\delta} \quad \text{при } U_k = \text{const.}$$

Таблица 1

Результаты эксперимента

№№ п.п.	U_δ , В	$J_{\delta 1}$, мкА	$J_{\delta 2}$, мкА
		При U_{k1}	При U_{k2}

ЗАДАНИЕ 2 Снятие выходных характеристик транзистора $J_k = f(U_c)$ при $U_\delta = \text{const}$ и определение статистического коэффициента усиления по току.

ВНИМАНИЕ! Подавать напряжение на коллектор можно только при наличии напряжения на базе.

1. Включите установку ключами K_1 и K_2 .
2. Снимите выходную характеристику транзистора. Для этого установите постоянное значение тока базы $J_{\delta 1}$. Изменяя напряжение на коллекторе U_k потенциометром Π_2 , запишите соответствующие значения тока в цепи коллектора J_k .
3. Установите ток базы $J_{\delta 2}$ потенциометром Π_1 и вновь снимите зависимость тока в цепи коллектора J_k от напряжения на коллекторе U_k .
4. Данные опыта занесите в таблицу 2.
5. Постройте выходные характеристики транзистора.
6. Рассчитайте статистический коэффициент усиления по току:

$$\beta = \frac{\Delta J_k}{\Delta J_\delta} = \frac{J_{k1} - J_{k2}}{J_{\delta 1} - J_{\delta 2}} \quad \text{при } U_k = U'_k = \text{const.}$$

7. По одной из выходных характеристик транзистора определите выходное сопротивление:

$$R_{\text{вых}} = \frac{\Delta U_{\text{к}}}{\Delta J_{\text{к}}} \quad \text{при } J_{\text{с}} = \text{const}$$

8. Сделайте выводы.

Таблица 2

Результаты эксперимента

№№ п.п.	$U_{\text{к}}, \text{В}$	$J_{\text{к}}, \text{мА}$	$J_{\text{к}}, \text{мА}$
		При $J_{\text{с}1}$	При $J_{\text{с}2}$

ПРИМЕЧАНИЕ: значения $J_{\text{с}1}$, $J_{\text{с}2}$, $U_{\text{к}}$ и интервалы изменения $U_{\text{к}}$ задаются преподавателем.

IV. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Как образуется р-п – переход и каким свойством он обладает?
2. Как устроен и как работает транзистор?
3. Какие существуют схемы включения транзистора?
4. Чем обусловлен эмиттерный и коллекторный ток?
5. Как рассчитать коэффициент передачи по току, входное и выходное сопротивление при включении транзистора по схеме с общим эмиттером?
6. Что называется входной и выходной характеристиками транзистора?
7. Что называется коэффициентом усиления по току и как он определяется?

Список литературы

1. Грабовский, Р.И. / Курс физики: учебное пособие / Р.И. Грабовский. - 11-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2009. - 608 с.
2. Охрименко, О.В./ Лабораторный практикум по химии и физике молока : учебное пособие / О.В. Охрименко, К.К. Горбатова, А.В. Охрименко. - СПб. : ГИОРД, 2005. - 50 с.
3. Пронин, В.П. / Краткий курс физики : учебное пособие / В.П. Пронин. - Саратов : ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ", 2009. - 296 с.
4. Пронин, В.П. / Практикум по физике : учебное пособие / В.П. Пронин. - 2-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2005. - 256 с.
5. Седов, Н.В. / Прикладная физика. [Текст] : учеб. пособ. / Ю.Н.Захаров; Н.В.Фёдоров. - Саратов : [б. и.], 2006. - 517 с.
6. Трофимова, Т. И. / Физика. 500 основных законов и формул : справочник / Т.И. Трофимова. - 6-е изд., стер. - М. :Выш. шк., 2007. - 63 с.
7. Чернов, И.П. / Сборник задач по физике. Механика. Молекулярная физика. Термодинамика: учебное пособие / И.П. Чернов, В.В. Ларионов, Ю.И. Тюрин. - М. : Высш. шк., 2007. - 405 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОГО, ЕМКОСТНОГО И ИНДУКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЙ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучение цепей переменного тока с активным, емкостным и индуктивным сопротивлениями.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: переносной измерительный комплект К-50, ламповый реостат, катушка индуктивности, конденсаторы, соединительные провода.

I. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Рассмотрим цепь, содержащую только резистор R с омическим сопротивлением R .

Сопротивление R резистора называют активным, так как в нем происходит необратимая потеря электрической энергии, переходящей в тепловую.

К зажимам цепи приложено переменное напряжение

$$U_R = U_{\max} * \cos \omega t \quad (1)$$

где $u_{\max}$ – амплитудное значение напряжения, ω – круговая частота.

Величину тока, проходящего через резистор, определим исходя из закона Ома:

$$J = \frac{U_{\max}}{R} \cos \omega t = J_{\max} \cos \omega t \quad (2)$$

где $J_{\max} = \frac{U_{\max}}{R}$ – амплитудное значение силы тока. Из формул (1) и (2) видно, что сила тока и напряжение на активном сопротивлении изменяются в одной фазе – гармонически (рис.1), их можно представить с помощью векторной диаграммы (рис.2).

Вектор, изображающий амплитудное значение силы тока $J_{\max}$, обычно откладывается вдоль горизонтальной оси, взятой за начало отсчета.

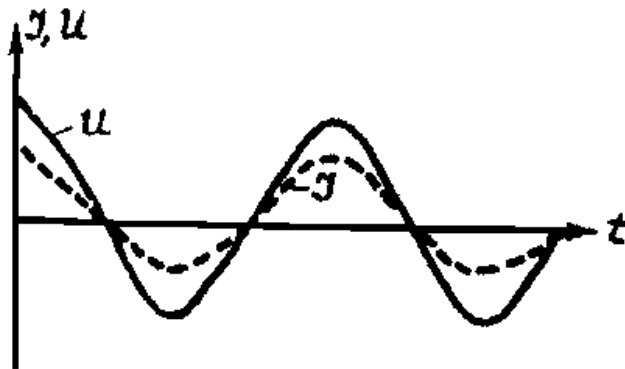


Рис.1

Угол между амплитудным значением тока и напряжением называют фазовым. В цепи, содержащей только активное сопротивление, сдвиг фаз между силой тока и напряжением отсутствует, а поэтому вектор напряжения будет направлен так же, как и вектор тока, т.е. вдоль оси токов (рис.2).



Рис. 2.

Рассмотрим цепь, содержащую катушку индуктивности с индуктивностью L , омическое сопротивление которой будем считать равным нулю.

Напряжение на зажимах цепи будет:

$$U_L = U_{\max} \cdot \cos \omega t \quad (3)$$

По закону Ома для участка цепи при $R = 0$ будем иметь

$$U_L = \varphi_1 - \varphi_2 = \mathcal{E}_L \quad (4)$$

(будем считать, что приложенное напряжение уравновешивается электродвижущей силой самоиндукции, равно ей по значению и противоположно по направлению),

где $\mathcal{E}_L$ - ЭДС самоиндукции, которая по основному закону электромагнитной индукции будет равна:

$$\mathcal{E}_L = -L \frac{dI}{dt} \quad (5)$$

Учитывая формулы (3), (4) и (5), получим:

$$U_{\max} \cos \omega t = L \frac{dI}{dt} \quad (6)$$

Выделив переменные в (6) и проинтегрировав его, найдем:

$$I = \frac{U_{\max}}{\omega L} \sin \omega t = I_{\max} \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right), \quad (7)$$

где $I_{\max} = \frac{U_{\max}}{\omega L}$ - амплитудное значение тока. $R_L = \omega L$ - называется индуктивным сопротивлением. На индуктивном сопротивлении не происходит потери энергии и его называют реактивным сопротивлением.

Из (7) и (3) следует, что сила тока отстает от напряжения (рис. 3). Причиной этого является ЭДС самоиндукции. На рис. 4 представлена векторная диаграмма напряжения и тока в цепи с индуктивностью.

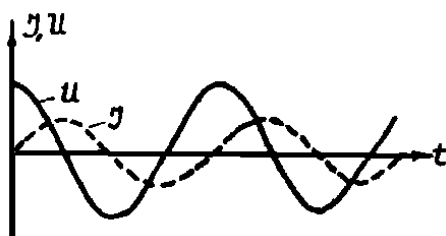


Рис. 3.

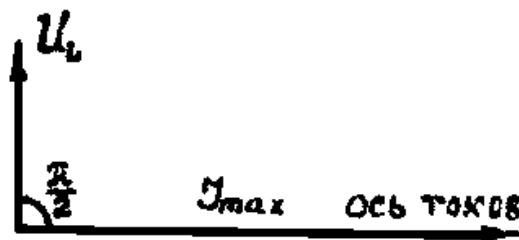


Рис. 4.

Рассмотрим цепь, содержащую конденсатор емкостью C .

Напряжение на зажимах цепи:

$$U_C = U_{\max} \cos \omega t \quad (8)$$

А сила тока

$$I = \frac{dq}{dt} = C \frac{dU}{dt}, \quad (9)$$

На основании (8) получим:

$$I = -U_{\max} \omega C \sin \omega t = J_{\max} \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right), \quad (10)$$

где $J_{\max} = U_{\max} C \omega$ (11)

$J_{\max}$ - амплитудное значение силы тока.

Величина $R_c = \frac{1}{\omega C}$

называется емкостным сопротивлением и так же как индуктивное называется реактивным сопротивлением. Оно зависит от емкости конденсатора и частоты.

Из /8/ и /10/ следует, что в цепи с емкостным сопротивлением напряжение на конденсаторе отстает по фазе от колебаний силы тока на величину $\pi/2$.

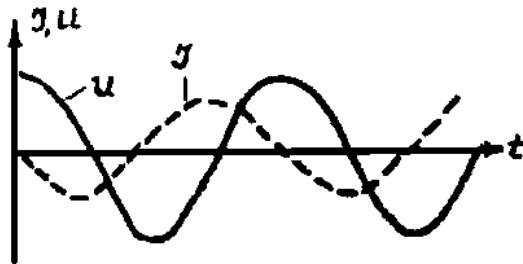


Рис. 5.

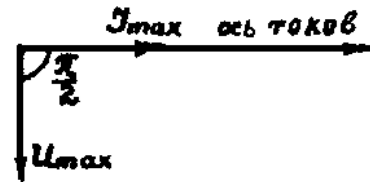


Рис. 6.

Векторная диаграмма полученных результатов представлена на рис.5.

Рассмотрим цепь, содержащую резистор, катушку и конденсатор /рис.6/.

Как было изложено выше, сила тока в цепи и напряжение изменяются не в одной фазе, т. е. если сила тока изменяется по закону:

$$I = I_{\max} \sin \omega t$$

то напряжение по закону :

$$U = U_{\max} * \sin(\omega t + \varphi),$$

где φ -сдвиг фаз между током и напряжением. Полное сопротивление цепи называется импедансом и обозначается $\hat{Z}$.

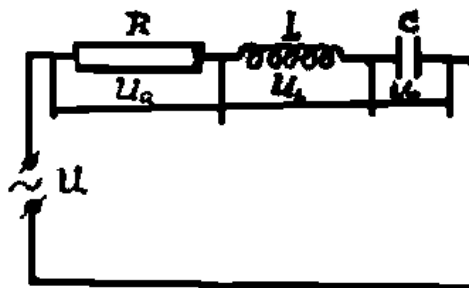


Рис. 7.

Для нахождения импеданса и сдвига фаз, воспользуемся векторной диаграммой (рис.7). Амплитуды напряжений на всех участках будем откладывать относительно силы тока, т.к. она во всей цепи одинакова. На резисторе векторы напряжения и силы тока совпадают, т.к. они не имеют разности фаз.

На индуктивном сопротивлении вектор напряжения опережает силу тока по фазе на $\pi/2$, а на емкостном- отстает на $\pi/2$. Результирующий вектор найдем путем сложения трех векторов. Векторы $U_{\max L}$ и $U_{\max C}$ направлены по одной прямой в

противоположные стороны. Полученные векторы ($U_{\max L} - U_{\max C}$) и $U_{\max R}$ складываются по правилу параллелограмма и находится результирующий вектор $U_{\max 0}$, т.е.:

$$U_{\max 0}^2 = U_{\max R}^2 + (U_{\max L} - U_{\max C})^2 \quad /13/$$

Учитывая, что

$$U_{\max R} = I_{\max} * R; U_{\max L} = I_{\max} * \omega L; U_{\max C} = I_{\max} * \frac{1}{\omega C} \quad (14)$$

получим:

$$I_{\max}^2 R_0^2 = I_{\max}^2 R^2 + I_{\max}^2 (R_L - R_C)^2 \quad (15)$$

Обозначим R_0 через Z – полное сопротивление цепи или импеданс, тогда

$$Z = \sqrt{R^2 + (R_L - R_C)^2} \quad (16)$$

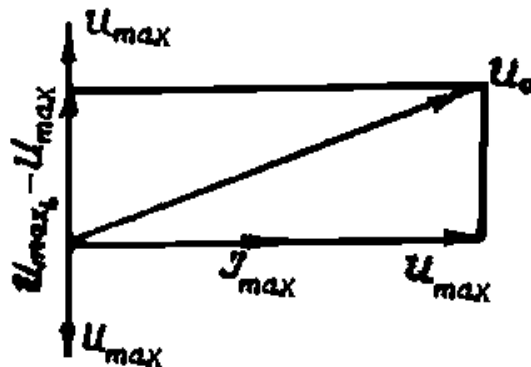


Рис. 8.

Из рис. 8 получаем

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{R_L - R_C}{R} \quad (17)$$

Закон Ома для рассматриваемой цепи будет иметь вид:

$$I_{\max} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{R^2 + (R_L - R_C)^2}} = \frac{U_{\max}}{Z} \quad (18)$$

Электроизмерительные приборы показывают не амплитудные значения тока и напряжения, а эффективные, которые связаны между собой следующим образом:

$$I_{\text{эф}} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}, \quad U_{\text{эф}} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}},$$

Тогда выражение /18/ примет вид:

$$I_{\text{эф}} = \frac{U_{\text{эф}}}{\sqrt{R^2 + (R_L - R_C)^2}} = \frac{U_{\text{эф}}}{Z} \quad /19/$$

II. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Переносной измерительный комплект типа К-50 имеет постоянно смонтированную схему и предназначен для постоянных измерений силы тока, напряжения и мощности в однофазных и трехфазных цепях переменного тока.

На общей панели смонтированы все элементы схемы измерительного комплекта К-50. Все необходимые соединения между элементами схемы выполнены постоянным монтажом.

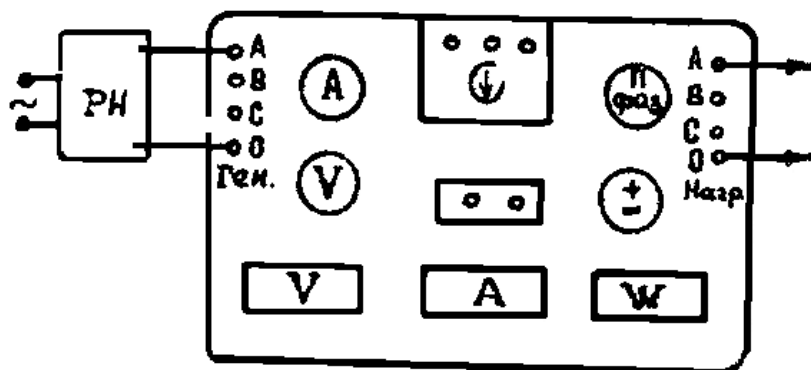


Рис.9

Кроме крышек измерительных приборов над лицевой стороной панели выступают: ручки переключателей, зажимы, крышка фазоуказателя и кнопка, карболитовая панель со штырьковым переключателем и потенциальными зажимами. Корпус комплекта имеет съемную крышку, на внутренней стороне которой укреплена табличка-инструкция К-50.

Схема включения измерительного комплекта приведена на рис. 12.

Комплект включения в сеть через ЛАТР РН.

III. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

ВНИМАНИЕ: подключение комплекта К-50 можно производить только при отключенном источнике питания.

1. Установите комплект в горизонтальное положение.
2. Подключите источник питания к группе зажимов, обозначенных "ген", нагрузку подключите ко второй группе зажимов, имеющих обозначение "нагр". (рис.9).
3. Установите переключатель фаз комплекта в положение "0", переключатель номинальных напряжений в положение 600 В, переключатель номинальных токов в положение 50 А, переключатель полярности ваттметра в положение "+", колодку "К" (штыковый переключатель с обозначением стрелки) установите стрелкой в сторону приборов.
4. Установите стрелки приборов с помощью корректоров на нулевые отметки шкал.
5. Поставьте переключатель фаз в положение фазы, в которой хотят произвести измерения.

Если отклонение стрелки амперметра будет меньше 50 % верхнего предела измерения (отметка 50), то переключатель номинальных токов перевести на меньший предел измерения.

Если отклонение стрелки вольтметра будет меньше 50 % от верхнего предела измерения (отметка 75), то переключатель напряжений перевести на меньший предел измерений.

ЗАДАНИЕ 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

1. Подключите к клеммам «нагр» ламповый реостат – позиция 1. (рис. 14), определяя при этом $I_{эф}$ и $U_{эф}$ по амперметру и вольтметру.

2. Определите активное сопротивление по формуле:

$$R = \frac{U_{\text{эф}}}{I_{\text{эф}}}$$

ЗАДАНИЕ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДУКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И ИНДУКТИВНОСТИ КАТУШКИ

1. Подключите к клеммам «нагр» ламповый реостат и катушку индуктивности (поз. II. Рис. 10).
2. Изменяя подаваемое в схему напряжение U с помощью ЛАТР – а РН, запишите соответствующее ему значение силы тока $I_{\text{эф}}$.

3. Рассчитайте полное сопротивление $Z = \frac{U_{\text{эф}}}{I_{\text{эф}}}$ при различных напряжениях и найдите $Z_{\text{ср}}$.

4. Рассчитайте индуктивное сопротивление $R_L = \sqrt{Z^2 - R^2}$ и индуктивность катушки

$$L = \frac{R_L}{\omega}$$

где $\omega = 2\pi f$, $f = 50$ Гц, (активное сопротивление катушки указано на его корпусе);
 R – активное сопротивление катушки и лампового реостата.

5. Результаты измерений и вычислений занесите в табл. 1.

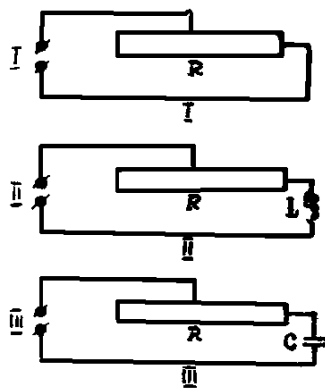


Рис. 10.

Таблица 1

Результаты измерений и вычислений R_L и L

№№ п.п.	$U_{\text{эф}}, \text{В}$	$I_{\text{эф}}, \text{А}$	$Z, \text{Ом}$	$Z_{\text{ср}}, \text{Ом}$	$R_L, \text{Ом}$	$L, \text{Гн}$

ЗАДАНИЕ 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА

1. Подключите к клеммам «нагр» ламповый реостат, и конденсатор (поз. III рис. 14).
2. Последовательно подавая в цепь различные напряжения $U_{эф}$, (изменяя его ЛАТРОМ РН), измерьте соответствующие силы токов $I_{эф}$.
3. Рассчитайте полное сопротивление Z при различных напряжениях и найдите его среднее значение $Z_{ср}$.
4. Рассчитайте емкостное сопротивление и емкость конденсатора:

$$R_c = \sqrt{Z^2 - R^2}; \quad C = \frac{1}{\omega R_c}$$

5. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 2.

Таблица 2.

Результаты измерений и вычислений R_c и C

№№ п.п.	$U_{эф}$, В	$I_{эф}$, А	Z , Ом	$Z_{ср}$, Ом	R_c , Ом	C , ф

IV. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется активным и реактивным сопротивлением?
2. От чего и как зависит индуктивное и емкостное сопротивления? Как они рассчитываются?
3. Расходуется ли электроэнергия на реактивном сопротивлении?
4. Запишите формулу для определения полного сопротивления цепи переменного тока, содержащий резистор, катушку индуктивности, конденсатор.
5. Постройте векторные диаграммы токов и напряжений для цепей переменного тока, содержащих резистор, катушку индуктивности, конденсатор.
6. Что такое импеданс?

Список литературы

1. Грабовский, Р.И. / Курс физики: учебное пособие / Р.И. Грабовский. - 11-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2009. - 608 с.
2. Пронин, В.П. / Краткий курс физики : учебное пособие / В.П. Пронин. - Саратов : ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ", 2009. - 296 с.
3. Пронин, В.П. / Практикум по физике : учебное пособие / В.П. Пронин. - 2-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2005. - 256 с.
4. Седов, Н.В. / Прикладная физика. [Текст] : учеб. пособ. / Ю.Н.Захаров; Н.В.Фёдоров. - Саратов : [б. и.], 2006. - 517 с.
5. Трофимова, Т. И. / Физика. 500 основных законов и формул : справочник / Т.И. Трофимова. - 6-е изд., стер. - М. :Высш. шк., 2007. - 63 с.
6. Чернов, И.П. / Сборник задач по физике. Механика. Молекулярная физика. Термодинамика: учебное пособие / И.П. Чернов, В.В. Ларионов, Ю.И. Тюрин. - М. : Высш. шк., 2007. - 405 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №12

ИЗМЕРЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ И КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРА САХАРА РЕФРАКТОМЕТРОМ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучить устройство и принцип работы рефрактометра, определить показатель преломления и концентрации раствора сахара рефрактометром.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: рефрактометр, флаконы с растворами глюкозы, флакон с дистиллированной водой, две пипетки, стеклянная палочка, фильтровальная бумага.

I. Краткие теоретические сведения

Оптика – раздел физики, в котором изучаются природа света, закономерности световых явлений.

Свет – сложный электромагнитный процесс, обладающий как волновыми, так и корпускулярными свойствами. Свет, излучаемый отдельным атомом, представляет собой электромагнитную волну, т. е. совокупность двух взаимно перпендикулярных волн – электрической и магнитной.

Свет, в различных прозрачных средах распространяется с различными скоростями.

Среда, во всех точках которой скорость распространения света одинакова, называется оптически однородной.

Пусть свет падает на границу раздела двух сред, скорость света одинакова в которых соответственно C_1 и C_2 , причем $C_1 > C_2$ (рис. 1).

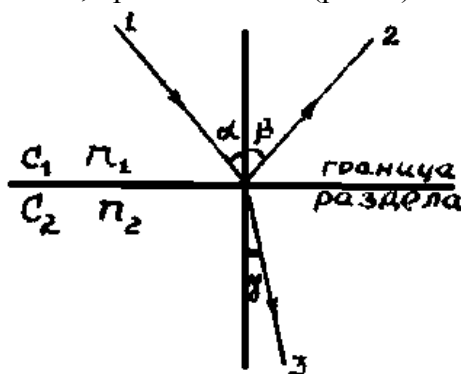


Рис.1

На границе раздела сред падающий свет (луч 1) частично проходит (преломляется) во вторую среду (луч 3): α – угол падения, β – угол отражения и γ – угол преломления.

$$\alpha = \beta \quad (1)$$

Падающий и отраженный лучи лежат в одной плоскости с перпендикуляром, проведенным к границе раздела сред в точке падения – закон отражения света.

Закон преломления:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{C_1}{C_2} \quad (2)$$

Падающий и преломленный лучи лежат в одной плоскости с перпендикуляром к границе раздела сред, проведенным в точке падения; отношение синуса угла падения к синусу угла преломления равно отношению скорости света в первой среде к скорости света во второй среде.

Обозначим $n_1 = \frac{C}{C_1}$ и $n_2 = \frac{C}{C_2}$, где C – скорость света в вакууме, n_1 и n_2 –

абсолютные показатели преломления первой и второй сред.

Абсолютный показатель преломления показывает во сколько раз скорость света данной среде меньше скорости света в вакууме. Абсолютный показатель преломления вакуума равен единице.

Зная, что показатели преломления двух сред обратно пропорциональны скорости распространения света в средах, закон преломления можно представить в виде:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} \quad (3)$$

где n_{21} – относительный показатель преломления второй среды относительно первой.

Оптически однородной средой является среда; во всех точках которой показатель преломления одинаков. Среда с меньшим показателем называется оптически менее плотной, а среда с большим показателем – оптически более плотной. Показатель преломления зависит от длины волны света. Его обычно относят к монохроматическому желтому излучению паров натрия (длина волны 589 нм).

Если свет переходит из оптически менее плотной среды в оптически более плотную среду: $n_1 < n_2$ (рис. 2), то угол преломления меньше угла падения (лучи 1-1, 2-2'). При угле падения $\alpha_m = 90^\circ$ (лучи 3-3') свет во второй среде распространяется в пределах угла γ_{np} , называемого предельным углом преломления.

Согласно закона преломления (2): $\frac{\sin \alpha_m}{\sin \gamma_{np}} = \frac{n_2}{n_1}$ но $\sin 90^\circ = 1$, следовательно

$$\sin \gamma_{np} = \frac{n_1}{n_2}$$

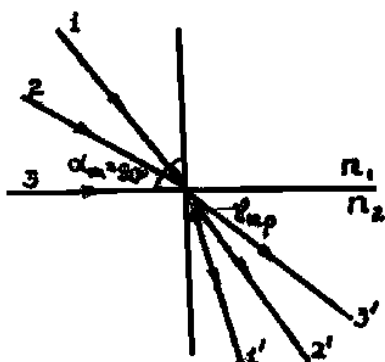


Рис. 2.

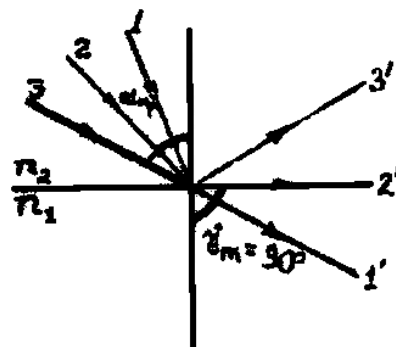


Рис. 3.

Если свет переходит из оптически более плотной среды в оптически менее плотную среду: $n_2 > n_1$, (рис. 3), то угол преломления больше угла падения (луч 1-1'). Угол преломления $\gamma_m = 90^\circ$ (луч 2-2') соответствует углу падения α_{np} . Если свет падает под углом больше предельного, то он полностью отражается от границы сред (луч 3-3'). Это явление называется полным внутренним отражением. Угол падения называется предельным углом полного внутреннего отражения.

Согласно закона преломления (2):

$$\frac{\sin \alpha_{np}}{\sin \gamma_m} = \frac{n_1}{n_{21}}, \text{ т. к. } \sin \gamma_m = 1, \sin \alpha_{np} = 1, \sin \alpha_{np} = \frac{n_1}{n_2}$$

для двух данных сред $\gamma_{np} = \alpha_{np}$.

Значение показателя преломления среды в основном зависит от свойств среды; однако в некоторой мере оно зависит и от длины волны света. Световые волны различной длины распространяются в данной среде с различной скоростью. Поэтому одна и та же среда по разному преломляет различные монохроматические лучи.

Зависимость показатель преломления среды от длины волны света называется дисперсией света. В более широком смысле дисперсией света называют разложение света в спектр. Дисперсия называется нормальной, если показатель преломления возрастает с уменьшением длины световой волны. Такой дисперсией света обладают среды, слабо поглощающие свет, т. е. прозрачные среды.

II. Описание экспериментальной установки

Рефрактометр ИРФ – 22 состоит из следующих частей (рис. 4): корпуса 1, измерительной головки 6 и зрительной трубы 16 с отсчетным устройством.

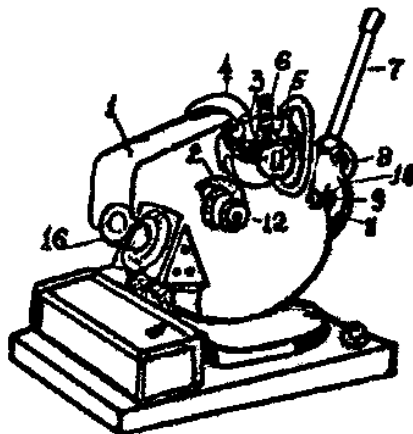


Рис. 4

Измерительная головка смонтирована на корпусе прибора. Она представляет собой два литых полушария, которые служат оправами измерительной и осветительной призм.

Так как показатель преломления исследуемой жидкости в значительной мере зависит от температуры, при измерении она должна поддерживаться постоянной. Для этого в оправах призм предусмотрены камеры, через которые пропускается термостатируемая вода. Подача и отвод ее производится через резиновые шланги 4, надеваемые на штуцеры 3, 5, 9 и 11. Для контроля за температурой вода в оправу призм ввинчивается термометр 7.

Чтобы найти границу раздела и совместить ее с перекрестием сетки, нужно, вращая маховичек 5 (рис 5), наклонить измерительную головку до нужного положения. При освещении белым светом, вследствие явления дисперсии, эта граница будет окрашенной. Для устранения окрашенной наблюдаемой границы и определения средней дисперсии вещества (жидкости) служит компенсатор состоящий из двух призм прямого зрения (призм АМИЧИ). Маховичком 12 можно вращать призмы одновременно в разные стороны, меняя при этом дисперсию компенсатора и устраняя цветную кайму границы раздела. Вместе с компенсатором вращается барабан 2 со шкалой, по которой определяют среднюю дисперсию жидкости.

Исследуемое вещество подсвечивается зеркалом 8, а шкала показателей преломления – зеркалом 3 (рис. 5).

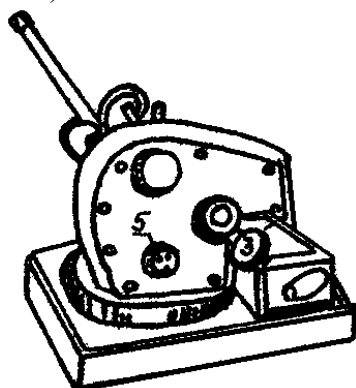


Рис.5

Пределы измерений показателя преломления в проходящем свете 1.3-1.7. Пределы погрешностей измерений показателей преломления $2 \cdot 10^{-4}$.

Рефрактометр универсальный лабораторный УРЛ состоит из двух основных частей (рис. 6): верхней – корпуса 2, и нижней – основания 1. К корпусу прибора крепятся камеры – верхняя и нижняя. Нижняя камера 3, заключающая в себя измерительную призму, соединена шарниром с нижней и может поворачиваться относительно нее. Нижняя и верхняя части камеры имеют окна, закрываемые пробкой.

Исследуемый раствор помещается между плоскостями двух призм осветительной и измерительной.

На штупере нижней камеры подвижно укреплен осветитель 4, свет от которого может быть направлен в одно из окон камеры. Для контроля температуры исследуемого раствора служит термометр 5. Со стороны передней крышки корпуса видна шкала 9 рефрактометра.

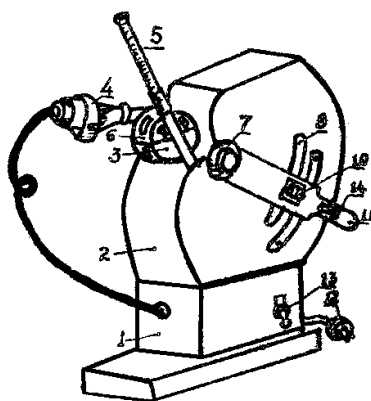


Рис. 6

На оси прибора укреплены: рукоятка 11 с окуляром 10 и настроечным механизмом 14, облегчающим совмещение границы светотени с перекрестием сетки лимб дисперсии 7 для устранения окрашенности границы светотени, наблюдаемой в окуляр; механизм наведения, находящийся внутри корпуса, который вместе с рукояткой может поворачиваться на оси вдоль шкалы. Для фиксации положения границы светотени относительно неподвижной шкалы 9 окуляр 10 вращается относительно оси рукояткой 11. Через окуляр 10 зрительной трубы наблюдается граница светотени, перекрестие сетки и шкалы.

Нижняя и верхняя части камеры имеют окна, закрывающиеся пробкой. На передней стенке основания имеется выключатель 13 для включения осветителя, а на боковой стенке – шнур с вилкой 12 для подводки питания от сети.

Пределы измерений по шкале показателей преломления от 1,2 до 1,7.

Пределы погрешности измерений показателей преломления $\pm$

Показатель преломления прозрачных жидкостей определяют в проходящем свете. Несколько капель исследуемой жидкости помещают между гипотенузными гранями призм (рис. 7). (Необходимо, чтобы исследуемая жидкость полностью заполнила зазор между измерительной и осветительной призмами).

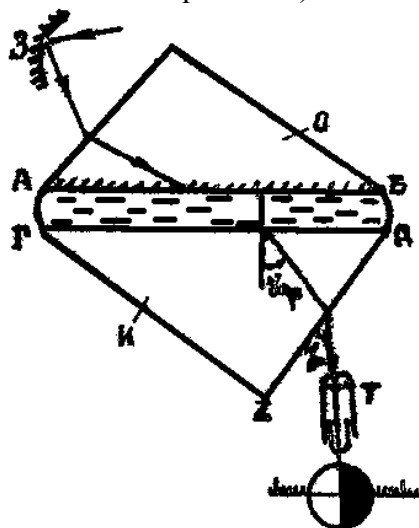


Рис. 7

Верхняя призма 0 – осветительная, ее гипотенузная грань АВ – матовая. Нижняя призма И – измерительная.

Свет от источника с помощью зеркала 3 направляется на боковую грань АС осветительной призмы. При выходе через ее матовую грань АВ свет рассеивается и, проходя через жидкость, входит в измерительную призму И по всевозможным направлениям, включая и угол падения, близкий к 90° . На грани ДГ свет преломляется и внутри измерительной призмы И проходит только в пределах предельного угла $\gamma_{пр}$.

Если на пути света, выходящего из призмы, поставить Т – зрительную трубу, то нижняя часть ее поля зрения будет освещена, а верхняя останется темной. Получающаяся граница света и тени определяется лучом, выходящим из призмы под определенным углом. Наблюдая в зрительную трубку, совмещают границу раздела с перекрестием зрительной трубы и непосредственно по шкале прибора ИРФ-22 снимают отсчет величины показателя преломления, а на приборе УРЛ еще и концентрацию раствора.

При определении показателя преломления окрашенных, т.е. сильно поглощающих свет жидкостей, свет падает на измерительную призму через матовую грань ГЕ.

Все измерения на приборах проводятся в белом свете. На приборе ИРФ-22 зеркало 8 устанавливают так, чтобы свет от источника через окно 1 поступал в осветительную призму (рис. 4) и равномерно освещал поле зрения.

В приборе УРЛ осветителем 4 добиваются равномерного освещения поля зрения. Наблюдая в окуляр зрительной трубы, находят границу раздела с перекрестием сетки и снимают отсчет по шкале показателей преломления.

Индексом для отсчета служит неподвижный горизонтальный штрих сетки. Целые, десятые и тысячные доли значения показателя преломления отсчитываются по шкале, десятитысячные доли оцениваются на глаз.

Шкала показателей преломления приведена для температуры 20⁰С. Если измерения производятся при температуре значительно отличающейся от 20⁰С, и требуются точные значения, то к отсчету по шкале нужно ввести поправку на температуру по формуле:

$$\varepsilon_n = \sin \alpha (t - 20) \frac{\Delta N_D}{\Delta t}$$

где $\frac{\Delta N_D}{\Delta t}$ - температурный коэффициент показателя преломления стекла измерительной призмы.

Приняв для призмы Аббе среднее значение

$$\frac{\Delta N_D}{\Delta t} = 0.084 * 10^{-4}; \quad \sin \alpha = 0.87 ,$$

получим

$$\varepsilon_n = 0.073(t - 20) * 10^{-4}$$

По этой формуле вычисляются температурные поправки в пределах от 5 до 35⁰С.

III. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучите описание и правила пользования рефрактометрами типа ИРФ-22 и УРЛ.
2. Проверьте нулевую точку прибора по дистиллированной воде, при 20⁰С граница раздела должна пройти деление 1,333 шкалы показателя преломления.
3. Определите показатели преломления исследуемых жидкостей.

При исследовании на приборе ИРФ-22 определите концентрацию раствора сахара по таблице 1.

4. Результаты измерений занесите в таблицу 2.
5. Сделайте выводы.

Таблица 1.

Международная таблица (1936 г.) перевода шкалы % сухих веществ (по сахарозе) в показатель преломления

% сахарозы	n_D^{20}	% сахарозы	n_D^{20}	% сахарозы	n_D^{20}
0.0	1.333	15.3	1.356	28.9	1.379
0.7	1.334	15.9	1.357	29.4	1.380
1.4	1.335	16.5	1.358	30.0	1.381
2.1	1.336	17.1	1.359	30.5	1.382
2.8	1.337	17.7	1.360	31.1	1.383
3.5	1.338	18.3	1.361	31.6	1.384
4.2	1.339	18.9	1.362	32.2	1.385
4.9	1.340	19.5	1.363	32.7	1.386
5.5	1.341	20.1	1.364	33.3	1.387
6.2	1.342	20.7	1.365	33.9	1.388
6.9	1.343	21.3	1.366	34.4	1.389
7.5	1.344	21.9	1.367	34.9	1.390
8.2	1.345	22.5	1.368	35.5	1.391
8.9	1.346	23.1	1.369	36.0	1.392

9.5	1.347	23.7	1.370	36.6	1.393
10.2	1.348	24.3	1.371	37.1	1.394
10.8	1.349	24.8	1.372	37.6	1.395
11.5	1.350	25.4	1.373	38.1	1.396
12.1	1.351	26.0	1.374	38.6	1.397
12.7	1.352	26.6	1.375	39.1	1.398
13.4	1.353	27.1	1.376	40.2	1.399
14.0	1.354	27.7	1.377	40.7	1.401
14.6	1.355	28.3	1.378		

Таблица 2.

Показатель преломления и концентрация раствора сахара жидкостей

Название жидкости	№ изм.	Показат. преломл. n	Концентр.р аствора С, %	Δn	$E = \frac{\Delta n}{n} * 100\%$	N _{ист.}
Дистиллир. вода	1.					
	2.					
	3.					
	Сред					
раствор	1.					
	2.					
	3.					
	Сред					

IV. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте законы отражения и преломления света.
2. Что называется абсолютным и относительным показателями преломления?
3. Какая среда называется оптически однородной?
4. Какой угол называется предельным углом падения?
5. Объясните полное внутреннее отражение.
6. Нарисуйте ход лучей в рефрактометре.

Список литературы

1. Грабовский, Р.И. / Курс физики: учебное пособие / Р.И. Грабовский. - 11-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2009. - 608 с.
2. Дмитриева, В.Ф. / Физика : программа, метод. указ. и контрольные задания для студ. - заочников инженерно-технических и технологических спец. вузов / В.Д. Дмитриева, В.А. Рябов, В. М. Гладской. - 4-е изд., стер. - М. Высш. шк., 2007. - 126 с.
3. Основы физики и биофизики: Учеб. пособие : учебное пособие / ред. : А.И. Журавлев. - М. : Мир, 2005. - 383 с.
4. Пронин, В.П. / Краткий курс физики : учебное пособие / В.П. Пронин. - Саратов : ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ", 2009. - 296 с.
5. Чернов, И.П. / Сборник задач по физике. Механика. Молекулярная физика. Термодинамика: учебное пособие / И.П. Чернов, В.В. Ларионов, Ю.И. Тюрин. - М. : Высш. шк., 2007. - 405 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛАВНОГО ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ И ОПТИЧЕСКОЙ СИЛЫ СОБИРАЮЩЕЙ ЛИНЗЫ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучить законы геометрической оптики и определить главное фокусное расстояние и оптическую силу собирающей линзы.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: оптическая скамья, собирающая линза, экран, осветитель ОИ-19 с матовым стеклом, предмет (стрелка), штангенциркуль.

I. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Линза является основной деталью оптических приборов (зрительной трубы, микроскопа, фотоаппарата, бинокля и др.). Линзы для видимого света изготавливают из стекла, для ультрафиолетового излучения – из кварца, для инфракрасного – из каменной соли.

Линзой называется тело с определенным показателем преломления, ограниченное двумя сферическими (иногда цилиндрическими) поверхностями, одна из которых может быть плоской.

На рис.1. изображены поперечные сечения двояковыпуклой (а) и двояковогнутой (б) сферических линз (R_1, R_2, R_3 – радиусы кривизны поверхностей линз).



Рис.1

Сферическими (выпуклыми) называются линзы, превращающие падающий на них пучок параллельных лучей в пучок сходящихся лучей. У таких линз середина толще краев.

Рассеивающими (вогнутыми) называются линзы, превращающие пучок параллельных лучей в пучок расходящихся лучей. У таких линз края толще середины.

Линзы бывают тонкие и толстые. Тонкой называется линза, толщина которой мала по сравнению с радиусами кривизны линзы. Мы будем рассматривать только тонкие линзы. У такой линзы (рис.3) имеется точка O , обладающая тем свойством, что проходящие через нее лучи не изменяют своего направления.

Точка O называется оптическим центром линзы.

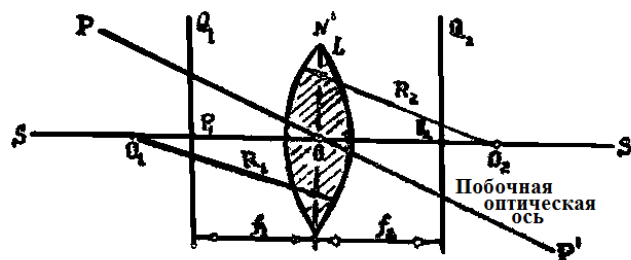


Рис. 2.

Плоскость MM' , перпендикулярная главной оптической оси и проходящая через оптический центр, называется главной плоскостью линзы: прямая SS' , проходящая через центры кривизны O_1 и O_2 поверхностей, образующих линзу, называется главной оптической осью линзы (рис. 1, 2).

Прямая, PP' , проходящая через оптический центр под углом к главной оптической оси, называется побочной оптической осью.

Луч, идущий вдоль оптической оси (главной или побочной), называется центральным.

Главным фокусом линзы называется точка, в которой пересекаются после преломления в линзе лучи, падающие на нее параллельно главной оптической оси (рис. 4– точки F_1 и F_2).

Расстояние главного фокуса от оптического центра линзы (ΔF_1 и ΔF_2) называется главным фокусным расстоянием.

Для собирающих линз фокусное расстояние величина положительная, для рассеивающих отрицательная. Фокусы у собирающей линзы – действительные, у рассеивающей – мнимые.

Плоскости Q_1 и Q_2 , проходящие через фокусы перпендикулярно главной оптической оси, называются фокальными плоскостями линзы. В каждой линзе имеются два фокуса, лежащие по обе стороны ее /передний и задний/.

Лучи, падающие на линзу L параллельно побочной оптической оси PP' , сходятся после преломления в точке K , лежащей в фокальной плоскости Q (рис.3).

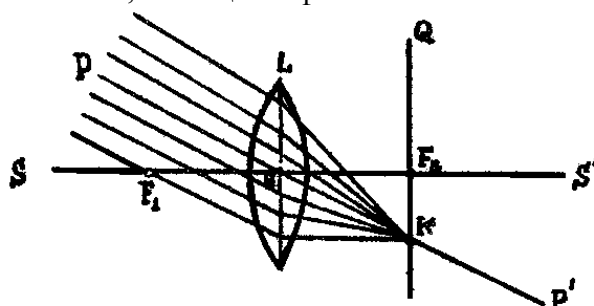


Рис.3

Общая формула тонкой линзы имеет вид:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = (n-1) * \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

где a -расстояние от предмета до линзы,

b -расстояние от изображения предмета до линзы,

n -относительный показатель преломления вещества, из которого изготовлена линза .

R_1 и R_2 – радиусы кривизны поверхностей линзы.

Тогда фокусное расстояние для линзы:

$$f = \frac{1}{(n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)}, \quad (2)$$

Учитывая (2), формулу линзы можно представить в виде:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \quad (3)$$

Формула (3) остается справедливой и для рассеивающей линзы, только расстояния f и b следует считать отрицательными:

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = -\frac{1}{f} \quad (3)$$

Величина, обратная фокусному расстоянию, называется оптической силой линзы:

$$D = \frac{1}{f} \quad (4)$$

Единица измерения оптической силы – диоптрия (дп).

1 дп – есть оптическая сила линзы с фокусным расстоянием в 1 м.

Радиусы кривизны считаются положительными для собирающей линзы и отрицательными для рассеивающей. Следовательно, оптическая сила рассеивающей линзы меньше нуля ($D < 0$), а для собирающей – больше нуля ($D > 0$).

Для построения изображений, получаемых с помощью собирающей линзы мы будем пользоваться тремя видами удобных лучей. Как было показано ранее, параллельные главной оптической оси, преломившись в линзе, проходят через ее фокус. Из обратимости хода лучей следует, что лучи, идущие к линзе через ее фокус, после преломления, пойдут параллельно главной оптической оси. Наконец, лучи, проходящие через оптический центр линзы, не меняют своего направления. Они лишь испытывают параллельное смещение, которое в случае тонкой линзы невелико, и им можно пренебречь.

II. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

На расположенной горизонтально оптической скамье А перемещаются на ползушках линза L, экран Э и осветитель S (рис.4).

В качестве источника света используется осветитель ОИ-19 (лампа накаливания 8 В, 20 Вт). Лампа питается от блока питания БП.

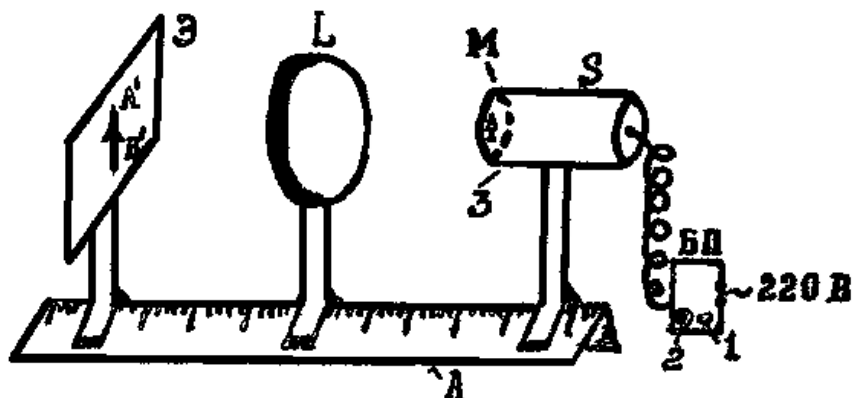


Рис. 4.

При работе необходимо, чтобы середины предмета, линзы и экрана лежали на одной прямой, параллельной длине оптической скамьи. Плоскость экрана нужно установить перпендикулярно к длине оптической скамьи, а ось линзы – параллельно.

Оптическая схема осветителя состоит из лампы накаливания, двухлинзового коллектора, диафрагмы и матового стекла М, на котором тушью нанесена сетка или стрелка (предмет). В качестве предмета можно вырезать стрелку в картоне или другом непрозрачном материале вместо матового стекла.

III. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Включите осветитель в сеть и установите требуемую яркость лампы.
2. Поместите экран на достаточно большом расстоянии от предмета.
3. Перемещайте линзу L до тех пор, пока не получите на экране отчетливое изображение предмета (стрелки).
4. Отсчитайте величины a и b по шкале скамьи (или линейкой).
5. Меняя положение ползушки с экраном, подберите вновь соответствующее положение линзы. Измерение повторите не менее трех раз.
6. Вычислите фокусное расстояние линзы по формуле

$$f = \frac{a * b}{a + b}$$

для каждого отдельного измерения и из полученных результатов найдите среднее значение $f_{\text{ср}}$.

7. Определите оптическую силу линзы по формуле (4).-
8. Данные измерений и вычислений занесите в таблицу 1.
9. Сделайте выводы.

Таблица 1

Определение главного фокусного расстояния и оптической силы линзы

№№ п	a , см	b , см	f , см	Δf , м	$E = \frac{\Delta f}{f} 100\%$	$f = f_{\text{ср}} \pm \Delta f$ см	D , дп
1.							
2.							
3.							
Сред							

IV. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое линзы?
2. Дайте определение фокусного расстояния линзы, оптической оси, оптического центра, оптической силы линзы.
3. Нарисуйте ход лучей в собирающей линзы, если предмет находится в фокусе, за фокусом и перед фокусом.
4. Запишите формулу линзы и поясните ее.

Список литературы

1. Грабовский, Р.И. / Курс физики: учебное пособие / Р.И. Грабовский. - 11-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2009. - 608 с.
2. Охрименко, О.В./ Лабораторный практикум по химии и физике молока : учебное пособие / О.В. Охрименко, К.К. Горбатова, А.В. Охрименко. - СПб. : ГИОРД, 2005. - 50 с.
3. Пронин, В.П. / Краткий курс физики : учебное пособие / В.П. Пронин. - Саратов : ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ", 2009. - 296 с.
4. Чернов, И.П. / Сборник задач по физике. Механика. Молекулярная физика. Термодинамика: учебное пособие / И.П. Чернов, В.В. Ларионов, Ю.И. Тюрин. - М. : Высш. шк., 2007. - 405 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ МАЛЫХ ТЕЛ МИКРОСКОПОМ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: ознакомиться с конструкцией микроскопа, научиться настраивать и определять увеличение микроскопа и измерять размеры малых тел.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: микроскоп, осветитель СИ-19, микрометра окулярный винтовой МОВ 1-15^x, измеряемые тела, объект – микрометр проходящего света ОМП, препаратодователь.

I. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Микроскоп представляет собой оптическую систему, состоящую из линз: короткофокусной (собирающей линзы) – объектива O_1 с фокусным расстоянием $f_{об}$ и длиннофокусной (собирающей линзы) – окуляра O_2 с фокусным расстоянием $f_{ок}$ (рис.1)

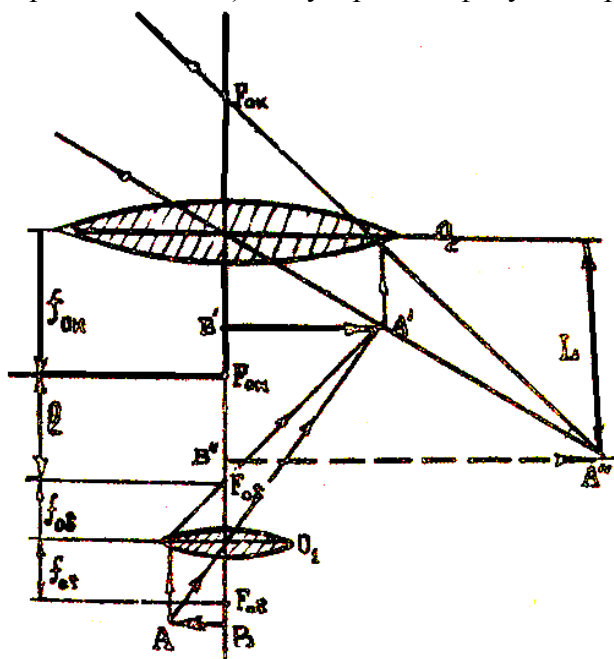


Рис.1

Предмет АВ помещается на предметный столик микроскопа на расстоянии, немного большем $f_{об}$. Объектив дает действительное, увеличенное и перевернутое изображение $A'B'$, которое оказывается между окуляром и $f_{ок}$. Оно рассматривается в окуляр как в лупу. В результате получается мнимое, увеличенное и перевернутое (относительно предмета) изображение $A''B''$, находящееся от окуляра на расстоянии L . Это расстояние ясного зрения (для нормального глаза $L=25$ см).

Изображение $A'B'$ в микроскопе находится очень близко к главному фокусу окуляра, а фокусное расстояние объектива очень мало. Ввиду этого с достаточной точностью можно считать l равным расстоянию между верхним фокусом объектива и нижним фокусом окуляра. Это расстояние называется оптической длиной тубуса микроскопа (обычно $l = 16$ см).

Увеличение микроскопа складывается из увеличения объектива и окуляра. Учитывая формулу линейного увеличения линзы, получим приближенные выражения объектива $Y_{об}$ и окуляра $Y_{ок}$:

$$Y_{об} = \frac{l + f_{об}}{f_{об}} \approx \frac{l}{f_{об}} ; Y_{ок} = \frac{l}{f_{ок}}$$

Линейное увеличение микроскопа равно:

$$N = Y_{об} * Y_{ок} = \frac{l * L}{f_{об} * f_{ок}}$$

Объективы обычных микроскопов имеют увеличение от 8^x до 90^x , а окуляры от 7^x до 15^x . Поэтому общее увеличение микроскопов лежит в пределах от 56^x до 1350^x . Можно изготовить микроскопы, увеличивающие предмет в несколько тысяч раз. Однако полезное увеличение микроскопа определяется разрешающей способностью микроскопа.

Наименьшее расстояние, при котором две точки предмета еще можно видеть раздельно, называют разрешаемым расстоянием.

Разрешающую способность оптического прибора принято измерять величиной, обратной разрешаемому расстоянию.

Разрешаемое расстояние микроскопа выражается формулой:

$$\Delta y = 0,61 \frac{\lambda}{n * \sin u/2}$$

где n – показатель преломления среды, находящейся между предметом и объективом.

λ - длина волны света,

u – апертурный угол.

Произведение $n * \sin u/2$ называется ч и с л о в о й апертурой, которая для микроскопа имеет порядок единицы. Если предмет помещен в иммерсионную жидкость (глицерин с $n = 1,47$; кедровое масло с $n = 1,52$) числовая апертура может быть увеличена и станет больше единицы.

II. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Микроскоп – оптический прибор, служащий для получения увеличенных изображений.

Микроскоп состоит из двух частей: механической и оптической. Механическая часть (рис.2) состоит из основания А, колонки тубусодержателя В, тубуса Т, кремальеры с ведущим барашковым колесиком Д. тубус перемещается вдоль оси микроскопа при помощи зубчатой рейки колесиком Д. и микрометрическим винтом М, обеспечивающий грубую и точную подачу тубуса для наводки на резкость изображения. Для удобства наблюдений тубусодержатель может поворачиваться до горизонтального положения вокруг оси О. На предметном столике П с помощью зажима З закрепляются исследуемые объекты (препараты). В центре предметного столика имеется круглое отверстие. Часто на предметном столике укрепляют препаратодоводитель.

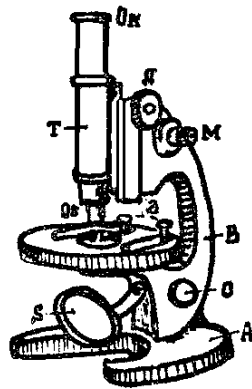


Рис.2.

Барaban микроскопического винта М имеет 50 делений. При повороте на одно деление тубус перемещается на 0,002 мм, что и указано на барабане. Шаг винта $\Delta = 0,002 \cdot 50 = 0,1$ мм.

Оптическая часть состоит из объектива $O_{об}$, окуляра $O_{ок}$ и зеркала S .

Предметы, изучаемые под микроскопом, обычно прозрачные и освещаются пропускаемым через них светом. Свет направляется с помощью плоского зеркала, дающего рассеянный свет, или вогнутого, концентрирующего на объективе большое количество света.

Винтовой окулярный микрометр МОВ 1-15^x состоит (рис.3) из кожуха 3, основания 4 с хомутом, который надевается на тубус микроскопа вместо окуляра и закрепляется винтом 5; из окуляра 6 с диоптрийным механизмом и отсчетного приспособления, состоящего из микрометрического винта, который перемещается с помощью отсчетного барабана 1.

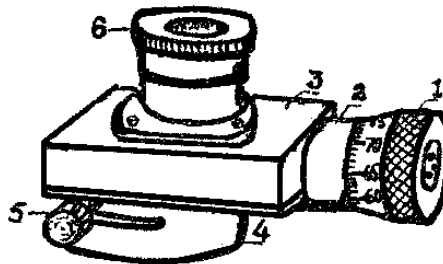


Рис.3.

В фокальной плоскости винтового окулярного микрометра расположены неподвижная шкала с делениями от 0 до 8 мм и подвижные перекрестия и индекс (в виде биштриха) – см. рис. 4.

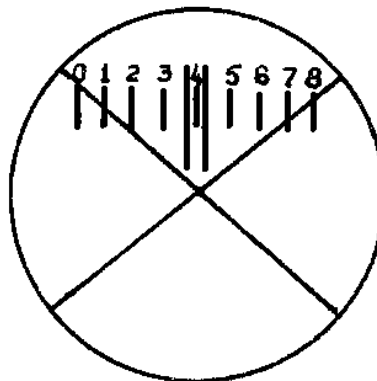


Рис. 4.

Неподвижная шкала нанесена на пластинке, а подвижные - перекрестие и индекс – на другой пластинке. При вращении микрометрического винта 1 (рис.3), перекрестие и биштрих перемещаются в поле зрения окуляра относительно неподвижной шкалы. Полный оборот винта (шаг винта) равен 1 мм: при повороте винта 1 за накатанную часть барабана на один оборот биштрих и перекрестие в поле зрения окуляра переместятся на одно деление шкалы (неподвижной). Следовательно, неподвижная шкала в поле зрения служит для отсчета полных оборотов барабана винта, т.е. целых миллиметров.

Барабан по окружности разделен на 100 частей, следовательно одно деление барабана равно 0,01 мм и шкала барабана служит для отсчета сотых долей миллиметра.

Полный отсчет по шкале окулярного микрометра складывается из отсчета по неподвижной шкале (целые миллиметра) и отсчета по барабану винта (сотые доли миллиметра). Отсчет по неподвижной шкале снимается с помощью биштриха, считая от нулевого деления шкалы. За целые миллиметры принимается то деление шкалы, на котором расположен биштрих или то деление, которое находится слева от биштриха – если биштрих расположен между делениями. Отсчет по барабану микрометрического винта производится так же, как и на обычном микрометре: то есть снимается то деление шкалы барабана, которое находится точно против индекса 2 (индекс нанесен на неподвижном цилиндре микрометра).

III. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

ПРИМЕЧАНИЕ: Наденьте винтовой окулярный микрометр на тубус микроскопа до упора, разверните для получения требуемого рабочего положения перекрестия и закрепите винтом 5 (рис.3).

ЗАДАНИЕ 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УВЕЛИЧЕНИЯ ОБЪЕКТИВА

Для определения линейного увеличения объектива микроскопа с помощью окулярного микрометра в качестве объекта применяется объект-микрометр.

Объект-микрометр представляет собой металлическую пластинку, в круглое окошечко которой вставлена стеклянная пластинка с короткой шкалой. Цена деления шкалы 0,01 мм.

1. Установите на столик микроскопа с помощью препаратоводителя объект-микрометр.
2. Установите на резкость изображения перекрестия и шкалы окулярного микрометра с помощью окуляра 6, вращая его за накатанную часть (рис.).
3. Перемещая тубус микроскопа с помощью кремальерного винта вверх или вниз, сфокусировать на резкость так, чтобы появилось четкое изображение шкалы объект-микрометра (рис.5)
4. Перемещая объект-микрометр по столику микроскопа с помощью препаратоводителя, установите его так, чтобы вся шкала была видна в поле зрения окуляра. Затем, повернув осторожно окулярный винтовой микрометр, предварительно ослабив винт 5 (рис.3), установите обе шкалы параллельно
5. Вращение барабана по часовой стрелке подведите центр перекрестия на изображение какого-либо штриха шкалы объект-микрометра и произведите отсчет n_1 по шкалам окулярного микрометра.

6. Наблюдая в окуляр, вращением барабана переместите перекрестие на несколько делений шкалы объект-микрометра (при этом посчитав число делений – Z), сделайте второй отсчет n_2 .
7. Опыт повторите 3 раза с разным значением числа делений ($Z=5, 10, 15, 20$) шкалы объект-микрометра.
8. Вычислите увеличение объектива по формуле:

$$Y_{об} = \frac{n_2 - n_1}{Z * a}$$

где $n_2 - n_1$ – разность двух отсчетов по шкалам окулярного микрометра,
 Z – число делений объективного микрометра, взятых между отсчетами $n_2 - n_1$,
 a – цена деления шкалы объект-микрометра, равная 0,01 мм.

9. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 1.

Таблица 1.

Определение увеличения микроскопа

№№ пп	Число делен. шкалы об. мик. Z	Отсчет по шкале окуляр. микрометра, мм		Увелич. объектива $Y_{об}$	Абсолют ная погрешн ость $\Delta Y_{об}$	Относительная погрешность $E = \frac{\Delta Y}{Y} 100\%$	Истинное значение увеличения объектива $Y_{ист.}$
		n_1	n_2				
1.							
2.							
3.							
Сред							

ЗАДАНИЕ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ МАЛЫХ ТЕЛ

1. Установите на столик микроскопа исследуемый объект (препарат с волосом).
2. Сфокусируйте тубус микроскопа так, чтобы появилось четкое изображение волоса (предмета), затем установите это изображение параллельно линиям биштриха.
3. Наблюдая в окуляр, вращением барабана подведите центр перекрестия до совмещения с левым краем изображения предмета и по шкалам микрометра снимите отсчет m_1 .
4. Подведите перекрестие до совмещения с правым краем объекта (предмета) и снимите отсчет m_2 .
5. Опыт повторите три раза, снимая отсчеты в различных точках по длине волоса, для чего передвиньте его с помощью препаратопроводителя.
6. Результаты измерений запишите в табл. 2.
7. Вычислите размер волоса для каждой пары замеров (отсчетов) по формуле:

$$d = \frac{m_2 - m_1}{Y_{об}}$$

где $m_2 - m_1$ – разность отсчетов по окулярному микрометру (при измерении толщины волоса),

$Y_{об}$ – среднее увеличение объектива.

8. Сделайте выводы.

Таблица 2

Определение размера тела

№№ пп	Отсчет по шкале окулярного микрометра, мм		Размер тела d		Абсолют. Погрешность Δd , мкм	Относит. Погрешность $E = \frac{\Delta d}{d} 100\%$	Истинное значение размера тела, мм $d_{\text{ист}} = d \pm \Delta d$
	m_1	m_2	мм	мкм			
1.							
2.							
3.							
сред							

IV. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Нарисуйте ход лучей в микроскопе.
2. Назовите основные части микроскопа.
3. Чем определяется увеличение микроскопа.
4. Что такое разрешаемое расстояние и разрешающая способность микроскопа.
5. Что такое числовая апертура? Для чего используется иммерсионная жидкость?

Список литературы

1. Грабовский, Р.И. / Курс физики: учебное пособие / Р.И. Грабовский. - 11-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2009. - 608 с.
2. Дмитриева, В.Ф. / Физика : программа, метод. указ. и контрольные задания для студ. - заочников инженерно-технических и технологических спец. вузов / В.Д. Дмитриева, В.А. Рябов, В. М. Гладской. - 4-е изд., стер. - М. Высш. шк., 2007. - 126 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 15

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ ПРИ ПОМОЩИ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучить дифракционный метод определения длины световой волны.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: установка для определения длины световой волны, осветитель, дифракционная решетка.

I. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Дифракцией света называют отклонение световых волн от прямолинейного распространения. Она имеет место при прохождении света через малые отверстия или в тех случаях, когда на пути находятся малые непрозрачные препятствия.

Отчетливая картина дифракционная наблюдается тогда, когда на пути распространения света находятся очень мелкие отверстия и препятствия размеров порядка длины световой волны. Согласно принципа Гюйгенса-Френеля, точки среды, которых достигла в данный момент волна, можно рассматривать как источники образования вторичных (элементарных) волн. Огибающая поверхность вторичных волн будет новым положением волновой поверхности. Вторичные волны когерентны и интерферируют между собой. Наложение когерентных волн (имеющих одинаковую частоту и постоянную разность фаз) создает в определенных точках среды или усиление, или ослабление колебаний. Результат интерференции в данной точке зависит от разности хода лучей (разности между расстояниями от данной точки до источников колебаний). Если в разности хода лучей Δl укладывается целое число длин волн (четное число полуволен)

$$\Delta l = n\lambda = 2n\frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

то будет максимум света. Если в разности хода лучей укладывается нечетное число полуволен:

$$\Delta l = (2n + 1)\frac{\lambda}{2} \quad (2)$$

то будет минимум света, (здесь λ - длина волны, $n = 0, 1, 2, 3, \dots$).

A. ДИФРАКЦИЯ ОТ УЗКОЙ ЩЕЛИ

Пусть на экран В с узкой прямоугольной щелью падает пучок параллельных монохроматических лучей нормально к экрану (рис.1).

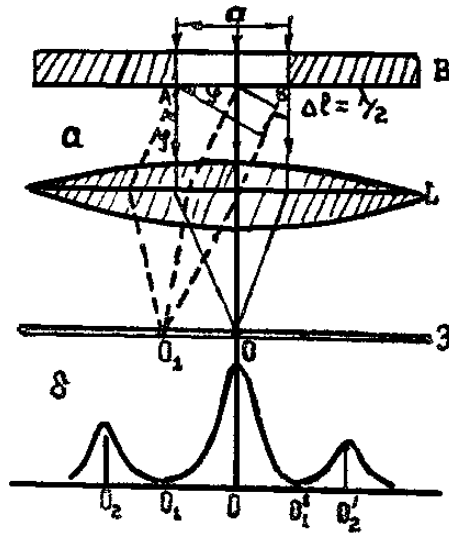


Рис. 1.

В данных условиях все точки фронта АВ внутри щели являются центрами когерентных вторичных волн. Лучи, соответствующие этим волнам, отклоняются под различными углами к оси пучка. Все лучи проходящие через щель в первоначальном направлении, собираются линзой в одну точку О экрана Э. Это есть нулевой максимум наибольшей яркости. Следует учесть, что линза не вносит дополнительной разности хода между лучами. Поэтому параллельные лучи, собранные линзой в точке сохраняют ту оптическую разность хода, которую они имели до прохождения через линзу.

Параллельные лучи, отклонившиеся во всех точках щели под углом дифракции φ , с помощью линзы L собираются в точке O_1 экрана Э, помещенного в ее фокальной плоскости, и при этом интерферируют между собой.

Из точки А спустим перпендикуляр АС на луч, исходящий из точки В. Обозначим разность хода между крайними лучами пучка, собирающегося в точке O_1 , через Δl . Очевидно:

$$\Delta l = a * \sin \varphi$$

где a – ширина щели.

Разделим фронт волны в щели на зоны (зоны Френеля), так, чтобы разность хода между крайними лучами в зоне равнялась половине длины волны $\lambda/2$.

При данной ширине «а» щели число таких зон зависит от длины волны λ и от угла φ наклона лучей, тогда число зон будет:

$$n = \frac{\Delta l}{\lambda/2} = \frac{2a * \sin \varphi}{\lambda} \quad (3)$$

В зависимости от соотношения между a , φ и λ число зон может быть четным или нечетным.

В каждой из двух соседних зон имеются симметрично расположенные лучи с разностью хода $\Delta l = \lambda/2$, которые фокусируясь в точке O_1 и интерферируя между собой, взаимно гасятся. В результате через O_1 пройдет темная полоса – дифракционный минимум. Очевидно, что такой же дифракционный минимум пройдет через точку O_1 , симметричную точке O_1 .

Если при другом угле дифракции φ_1 лучей на ширине щели укладывается нечетное число зон, например три зоны Френеля, то лучи зон I и II погасят друг друга, а третья зона остается непогашенной и дает дифракционный максимум, проходящий через точки O_2 и O'_2 , но значительно менее яркий, чем нулевой максимум.

Направления (угол φ) на максимумы определяется условием:

$$\sin \varphi_{\max} = (2n + 1) \frac{\lambda}{2a}, \quad (4)$$

Направление на минимум определяется условием:

$$\sin \varphi_{\max} = 2n \frac{\lambda}{2a}, \quad (5)$$

Освещенность максимумов уменьшается при увеличении угла дифракции лучей (рис. 1,б). Дифракционная картина, получаемая от одной щели, представляет собой чередование темных и светлых полос, симметрично расположенных по обе стороны от центральной светлой полосы. Освещенность светлых полос быстро убывает по мере удаления от центральной полосы.

Б. Дифракция от двух и от многих параллельных щелей

Рассмотрим дифракцию от двух щелей. Пусть пучок параллельных монохроматических лучей падает на экран В.

Если за экраном за экраном помещена собирающая линза L, то на экране А, расположенном в фокальной плоскости линзы, возникает дифракционная картина, являющаяся результатом двух процессов: дифракции света от каждой отдельной щели и интерференции света от обеих щелей.

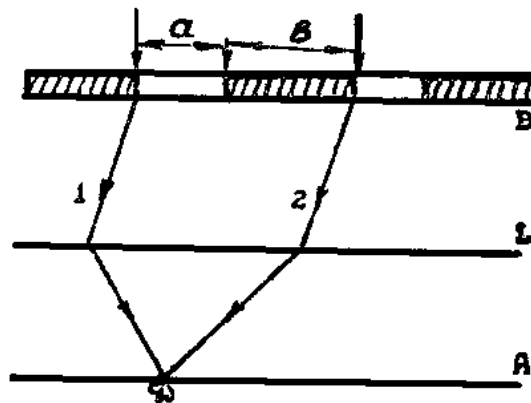


Рис. 2.

Рассмотрим лучи 1 и 2 /рис.2/. Вследствие дифракции свет от щелей будет распространяться по различным направлениям. Указанные лучи дифрагируют под углом φ с нормалью к решетке. Из рис.2 видно, что разность хода между лучами 1 и 2 равна:

$$\Delta \ell = (a + b) \sin \varphi = d \sin \varphi, \text{ где } a+b=d\text{-период.} \quad /6/$$

Собрав линзой L в одну линию (проходящую параллельно щелям через точку Д.), эти лучи проинтерферируют. При разности хода, равной целому числу волн, т.е. при:

$$d \cdot \sin \varphi = n\lambda$$

лучи дадут интерференционный максимум. При разности хода, равной нечетному числу полуволн, т.е. при $(2n + 1)\frac{\lambda}{2}$

лучи дадут интерференционный минимум, где n – целые (положительные и отрицательные) числа натурального ряда ($\pm 0, 1, 2, 3, \dots$).

Согласно формуле 7 по обе стороны от центрального максимума, которому соответствует значение $n=0$, располагаются первые максимумы – правый $/n=+1/$ и левый $/n=-1/$, далее располагаются вторые максимумы $/n=+2/$ и $/n=-2/$ и т.д. Освещенность E , различных максимумов неодинакова. Сильнее всего освещен центральный максимум $/n=\pm 1/$ и т.д. /рис.3/

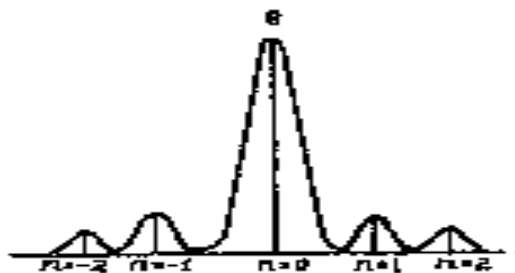


Рис.3

При использовании белого света все максимумы (кроме центрального) приобретают радужную окраску, причем внутренний край максимумов (по отношению к центральному) станет фиолетовым, а наружный – красным. Между фиолетовым и красным краями максимума располагаются остальные спектральные цвета. В этой связи дифракционные максимумы называются дифракционными спектрами, а число n – порядком спектра. Спектр нулевого порядка остается белым.

При дифракции света от многих параллельных щелей, создается такая же дифракционная картина, как в случае двух щелей.

Картина различается только тем, что максимумы получаются более яркими и узкими, а разделяющие их минимумы – широкими и совершенно темными. Расстояние между соседними максимумами и их яркость возрастают по мере увеличения числа щелей.

Формула /7/, определяющая место положения максимумов при дифракции от двух щелей, остается справедливой и в случае дифракции от многих щелей.

II. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Длина волны монохроматического света может быть определена с помощью дифракционной решетки, которая представляет собой ряд прозрачных узких параллельных щелей одинаковой ширины, разделенных одинаковыми непрозрачными промежутками (рис.4).

Расстояние d называется периодом или постоянной решетки.

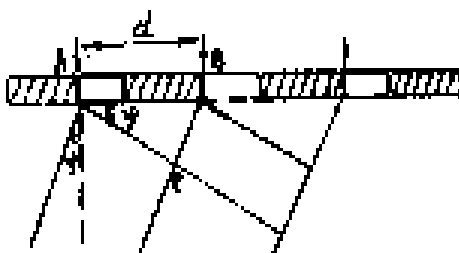


Рис.4

Дифракционные решетки изготовляют методом нанесения штрихов (царапин) на стеклянной пластинке или металлическом зеркале алмазным резцом. Лучшие дифракционные решетки имеют от 1200 до 1500 штрихов на 1 мм, что соответствует периоду (d) 0,83 – 0,56 мкм.

Внешний вид установки для определения длины световой волны изображен на рис.5.

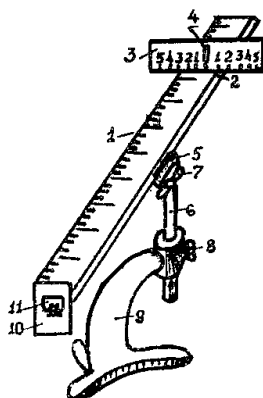


Рис. 5.

На деревянном бруске 1 нанесена шкала с миллиметровыми делениями. По бруску может перемещаться ползушка 2 с вертикальным экраном 3, лапки которой расположены в пазах. Верхняя часть экрана окрашена в черный цвет.

Нуль шкалы расположен посередине экрана. Сантиметровые деления отмечены цифрами вправо и влево от нуля. Над нулевым делением в экране расположено прямоугольное окно с прорезью 4.

Брусок с помощью металлической скобы 5 шарнирно соединен со стержнем 6. Это позволяет закрепить брусок под разными углами с помощью винта 7. Кроме того, брусок может быть поднят или опущен в стойке 9 на необходимую для работы высоту с помощью винта 8. На конце бруска укреплена рамка 10, в зажимы которой вкладывается дифракционная решетка 11.

При освещении белым светом на шкале экрана будут видны спектры, которые симметрично расположены относительно окна так, что фиолетовая часть каждого спектра находится ближе к нулю, чем остальные цвета. Вся картина на экране – совокупность максимумов – носит название дифракционных спектров.

Условие возникновения максимумов света определяется из отношения:

$$\Delta l = n\lambda$$

Как видно из рис.4 разность хода лучей геометрически выражается отрезком BC, тогда

$$BC = n\lambda \quad (9)$$

В прямоугольном треугольнике ABC угол BAC равен углу φ , тогда разность хода лучей первой и второй щелей:

$$BC = d * \sin \varphi \quad (10)$$

Из уравнений (9) и (10) , найдем:

$$n\lambda = d * \sin \lambda$$

откуда

$$\lambda = \frac{d * \sin \varphi}{n} \quad (11)$$

Формула (11) является формулой дифракционной решетки. Каждое боковое дифракционное изображение смещено по шкале вправо и влево от нуля на определенное расстояние $ОД_1$ и $ОД_1'$ (рис.6).

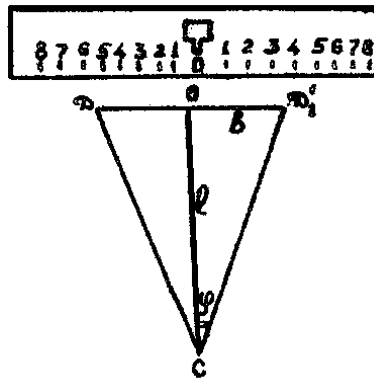


Рис.6

Обозначим $ОД_1 = ОД_1' = b$

На рис. изображены лучи, образующие изображения щели. Из треугольника ОДС:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{b}{l}$$

где l – расстояние от дифракционной решетки до экрана.

Так как угол φ мал, можно с достаточной точностью заменить $\operatorname{tg} \varphi$ на

$$\sin \varphi \approx \frac{b}{l} \quad (12)$$

Подставляя значение $\sin \varphi$ в формулу (11), получим:

$$\lambda = \frac{b * d}{n * l} \quad (13)$$

Формула (13) является рабочей формулой.

II. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Укрепите брусок 1 на стойке 9 горизонтально, на высоте глаз.
2. Вставьте в рамку 10 дифракционную решетку 11, при этом штрихи должны быть параллельны щели 4.
3. Приблизьте глаз к дифракционной решетке и направьте прибор на источник света. Тогда на черном фоне по обе стороны от окна 4 (щели) будут видны спектры. Поверните дифракционную решетку так, чтобы спектры располагались параллельно шкале.

- Отсчитайте по шкале 3 расстояние «в» от нуля до конца заданного цвета полосы спектра соответствующего порядка по обе стороны от окна 4.
- Определите по шкале на бруске расстояние l .
- Внесите результаты измерений в таблицу 1.
- Определите длину волны по формуле (13).
- Сделайте выводы.

Таблица 1.

Запись и обработка результатов измерений

№№	Расст. от экрана до диф. решетки l , мм	Конец спектра на шкале экрана φ , мм						Пост. диф. решетки d , мм	Длина волны для цветов			
		Влево	Вправо	средняя	влево	вправо	средняя		мм	нм	мм	нм
1.												
2.												
3.												
Ср.												

ПРИМЕЧАНИЕ : 1. Цвет, расстояние l и порядок спектра задается преподавателем.
6. Опыт следует повторить три раза, изменяя расстояние l .

IV. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Дайте понятия явлений интерференции и дифракции света.
- Напишите условия максимума и минимума при интерференции двух волн.
- Расскажите о дифракции света от одной щели.
- Расскажите о дифракции света от двух и от многих параллельных щелей.
- Что такое дифракционная решетка?
- Введите рабочую формулу для расчета длины световой волны.

Список литературы

- Пронин, В.П. / Краткий курс физики : учебное пособие / В.П. Пронин. - Саратов : ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ", 2009. - 296 с.
- Пронин, В.П. / Практикум по физике : учебное пособие / В.П. Пронин. - 2-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2005. - 256 с.
- Седов, Н.В. / Прикладная физика. [Текст] : учеб. пособ. / Ю.Н.Захаров; Н.В.Фёдоров. - Саратов : [б. и.], 2006. - 517 с.
- Трофимова, Т. И. / Физика. 500 основных законов и формул : справочник / Т.И. Трофимова. - 6-е изд., стер. - М. :Высш. шк., 2007. - 63 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 16

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРА САХАРА С ПОМОЩЬЮ ПОЛЯРИМЕТРА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучить явление поляризации света, устройство поляриметра, овладеть методом определения концентрации раствора сахара с помощью поляриметра.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: поляриметры моделей 829, П-161 и СН-2, кюветы с исследуемыми растворами.

I. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА

Согласно волновой теории видимый свет представляет электромагнитные колебания в области от 380 до 780 нм. Плоская электромагнитная световая волна является поперечной и представляет собой распространение взаимно перпендикулярных колебаний: вектора напряженности электрического поля E и вектора напряженности магнитного поля H , идущих вдоль общей прямой OV , называемой световым лучом (рис.1). Вектор E называется световым вектором, и все рассуждения мы ограничим рассматриванием этого вектора. Наличие вектора H подразумевается. Таким образом, в процессах распространения света главную роль играют вектор электрической напряженности E .



Рис.1

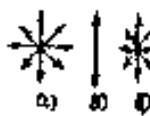


Рис.2

Свет, в котором колебания электрического вектора $\vec{E}$ происходят во всевозможных направлениях, перпендикулярных лучу, называется естественным (рис.2а). Такой свет излучает солнце, лампы накаливания и т.п.

Свет, в котором колебания электрического вектора $\vec{E}$ совершается только в одной плоскости называется линейно- или плоско поляризованным (рис.2б). Можно сказать, что свет, излучаемый отдельным атомом, является плоско поляризованным. В этом случае конец электрического вектора в любой точке пространства со временем описывает прямую линию, перпендикулярную плоскости поляризации.

Плоскость, в которой происходит колебания вектора, называется плоскостью световых колебаний или просто плоскостью колебаний (рис.1). Если же конец электрического вектора описывает круг или эллипс, то свет называется соответственно поляризованным по кругу или эллиптически поляризованным. Для простоты будем рассматривать только плоско поляризованный свет.

Перпендикулярная плоскость, в которой колеблется вектор $\vec{H}$, условно названа плоскостью поляризации (рис.1).

Свет может быть также частично поляризован. В этом случае колебания происходят во всевозможных плоскостях, но в одной из плоскостей амплитуда колебаний минимальна (рис.2в).

Методы получения поляризованного света:

А) отражение естественного света от поверхности диэлектрика;
 Б) прохождение естественного света через оптически анизотропную среду;
 В) прохождение света через вещество, обладающее явлением дихроизма. К таким веществам относится турмалин и герпатит.

ПРИМЕР: естественный свет падает на стеклянную пластинку с показателем преломления n (рис.3), вызывая колебания в атомах и молекулах вещества.

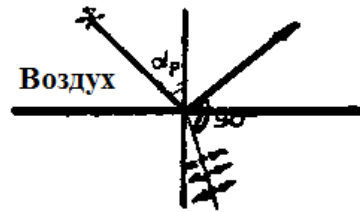


Рис.3

Атомы и молекулы становятся сами излучателями электромагнитных волн (вторичных). Эти вторичные волны излучаются электронами, причем направления их колебаний совпадает с направлением колебаний электрического вектора $\vec{E}$ падающей волны. В этом случае отраженный и преломленный лучи частично поляризуются во взаимно перпендикулярных плоскостях. Отраженный луч при определенном угле падения будет полностью поляризован, а преломленный луч будет частично поляризован (у преломленного света электрические колебания совершаются преимущественно в плоскости падения).

Угол падения, при котором отраженный луч будет полностью поляризован называется углом полной поляризации.

Угол полной поляризации α_p зависит от относительного показателя преломления отражающей среды.

В случае , если $\alpha > \gamma$ и, когда выполняется условие $\alpha_p + \gamma = 90^\circ$, наблюдается полная линейная поляризация отраженного света. Согласно закона преломления $\sin \alpha_p / \sin \gamma = n$. Тогда

$$\frac{\sin \alpha_p}{\sin(90 - \alpha_p)} = \frac{\sin \alpha_p}{\cos \alpha_p} = n$$

и, наконец $\tan \alpha_p = n$. Это соотношение выражает закон Брюстера.

Угол $= 90 - \alpha_p$ – это угол между отраженным и преломленным лучами. Значение α_p различны для различных сред.

Большое практическое применение имеет, поляризация получаемая при прохождении света через кристаллы, обладающими анизотропией. Анизотропной средой называется среда, физические свойства которой в разных направлениях различны. Анизотропной средой являются, например, кристаллы кварца и исландского шпата. Эти кристаллы обладают невысокой степенью симметрии.

Бартолини в 1670 г. наблюдал раздвоение луча света при прохождении его через кристалл исландского шпата (одна из разновидностей CaCO_3). Это явление называется двойным лучепреломлением (рис.4).

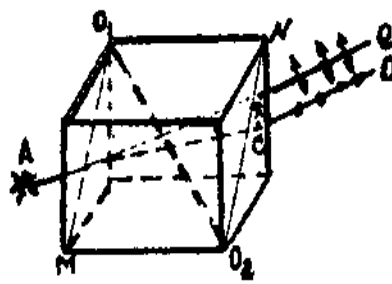


Рис.4.

$O_1 O_2$ – оптическая ось кристалла, сечение $MONO_2$ – главное сечение кристалла или главная плоскость. Это сечение происходит через оптическую ось.

Естественный луч AB разделяется в кристалле на два луча: BD и BC . Луч BD называется необыкновенным (e). Луч BC – обыкновенным (o). Оба луча параллельны друг другу и падающему лучу на поверхность кристалла. Они поляризованы во взаимно перпендикулярных плоскостях и обладают одинаковыми интенсивностями. Показатель преломления кристалла n_e для необыкновенного луча зависит от направления распространяющегося луча ($n_e = c/V_e \neq \text{const}$) и, следовательно, в различных направлениях необыкновенный луч в кристалле распространяется с различными скоростями $V_e \neq \text{const}$.

Кристаллы называются одноосными, а направление, вдоль которого нет двойного лучепреломления $V_o = V_e$, принято называть оптической осью кристалла. Оптическая ось кристалла представляет собой определенное направление в кристалле. Колебания вектора E необыкновенного луча совершаются в главной плоскости кристалла. Обыкновенный луч распространяется по всем направлениям с одинаковой скоростью $V_o = \text{const}$, и следовательно, показатель преломления есть величина постоянная, т.е. $n_o = c / V_o = \text{const}$, c – скорость света в вакууме. Благодаря различию показателя преломления для обыкновенного и необыкновенного лучей, они претерпевают в кристалле неодинаковое преломление. Двойное лучепреломление наблюдается в турмалине и в поляроиде (поляризационные фильтры). Поляроид – это прозрачная полимерная пленка толщиной около 0,1 мм, содержит, например, множество мелких кристалликов герпатита (сульфат йодистого хинина). В анизотропном кристалле поглощение света будет зависеть от ориентации плоскости поляризации, т.е. обыкновенный и необыкновенный лучи будут поглощаться в разной степени.

Это явление называется дихроизмом. Особенно это заметно в кристалле турмалина обыкновенные лучи полностью поглощаются при толщине пластинки около 1 мм, а необыкновенные лучи проходят. Такая пластинка называется поляризатором. Однако надо учитывать, что турмалин в определенной области длин волн заметно поглощает и необыкновенный луч.

Обыкновенный и необыкновенный лучи выходят из кристалла под очень малым углом друг к другу, что затрудняет их раздельное использование. Чтобы «развести» эти лучи, пользуются различными «поляризующими призмами». Наиболее распространенной является призма Николя (рис.5). Из исландского шпата вырезаются две призмы, которые склеиваются канадским бальзамом по линии AC . Показатель преломления этого клея ($n = 1,550$) лежит между показателями преломления исландского шпата для обыкновенного ($n_o = 1,658$) и необыкновенного (n_e) лучей (минимальное значение $n_e = 1,486$).

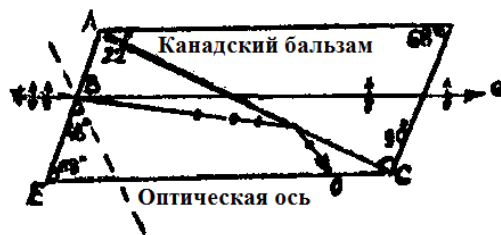


Рис.5

Световая волна в данной призме разделяется на две плоскополяризованные волны, содержащие почти по 50% падающей энергии.

Обыкновенный луч падает на поверхность бальзама под углом больше предельного и испытывает полное внутренне отражение.

Необыкновенный луч проходит через призму без заметного ослабления. Обыкновенный луч, отразившись от границы шпат-бальзам, поглощается зачерненной гранью СЕ. Призма Николя используется и как поляризатор и как анализатор плоско поляризованного света.

В 1811г. Араго впервые обнаружил явления вращения плоскости колебаний поляризованного луча. Вещества, обладающие способностью вращать плоскость колебаний поляризованного луча, называют оптически активным. При прохождении поляризованного луча через оптически активное вещество R плоскость колебаний Q поворачивается вокруг луча на угол φ (рис.6).

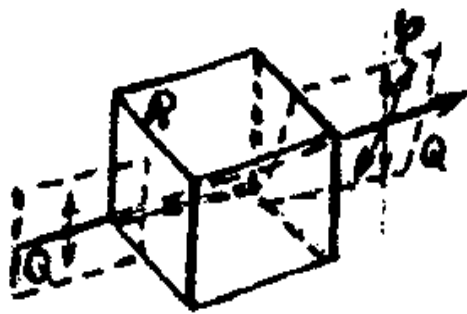


Рис.6

К оптически активным веществам относятся ряд твердых тел (кварц, сахар и др) и многие жидкости (скипидар, водный раствор сахара, никотин, винная кислота и т.д.). Вещества, поворачивающие плоскость колебаний по часовой стрелке (если смотреть навстречу лучу) называются правовращающими, а вещества, поворачивающие эту плоскость против часовой стрелки – левовращающими. При этом величина вращения в обоих случаях при прочих равных условиях одинакова. Для объяснения вращения плоскости поляризации Френель предположил, что в оптически активных веществах лучи, поляризованные по кругу вправо и влево, распространяются с неодинаковыми скоростями V_l и V_n . Плоско поляризованный свет можно представить как суперпозицию двух поляризованных по кругу волн, правой и левой, с одинаковыми частотами и амплитудами. Если $V_l = V_n$, то в веществе распространялся плоско поляризованный луч со скоростью $V = V_l = V_n$.

На рисунке 7а обозначены $\vec{E}_1$ – световой вектор левой составляющей, $\vec{E}_2$ – правой. PP – направление результирующего вектора $\vec{E}$.

Если $V_d \neq V_n$, то по мере прохождения через вещество один из векторов, например $\vec{E}_1$, будет отставать при вращении от вектора $\vec{E}_2$ (рис.76).

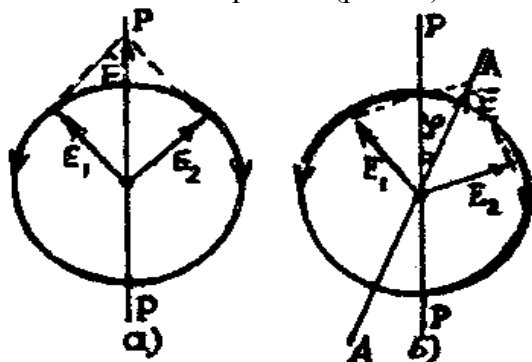


Рис.7

Вектор $\vec{E}_2$ повернут вправо на больший угол, чем вектор $\vec{E}_1$. При сложении этих векторов плоскость колебаний с результирующим вектором $\vec{E}$ повернется вправо на угол φ , и займет положение AA. Различие в скорости распространения света с разными направлениями круговой поляризации обусловлено асимметрией молекулы или же асимметричным размещением атомов в кристалле.

На основе опытов проведенных Био в 1831 г., установлено:

$$\varphi = \alpha * l * c \quad (1)$$

где l – длина кюветы, C – концентрация вещества, α – постоянная вращения для данного вещества для длины волны 589 нм и при температуре $+ 20^\circ \text{C}$; зависит от длины волны (приблизительно обратно пропорционально квадрату длины волны).

Следует отметить, что постоянная вращения практически не зависит от агрегатного состояния вещества. Подобные опыты лежат в основе метода определения концентрации оптически активного вещества при измерении угла вращения плоскости поляризации. Метод имеет многочисленные приложения. В частности, им пользуются для нахождения концентрации сахара в биологических объектах (кровь, моча). Конечно, такие измерения должны проводить в санитарных условиях ($\lambda = \text{const}$, $t^\circ = \text{const}$), спектральной области, далеко от собственных полос поглощения исследуемого вещества, т. к. в противном случае наблюдаются некоторые аномалии. Угол поворота плоскости поляризации φ можно измерить с большей точностью (погрешность измерения 0,01).

2. Описание экспериментальной установки

Принцип действия прибора основан на использовании способности оптически активных веществ, вращать плоскость поляризации. Угол поворота плоскости поляризации зависит от свойств оптически активного вещества, толщины его слоя, температуры и концентрации раствора и длины волны света, проходящего через раствор.

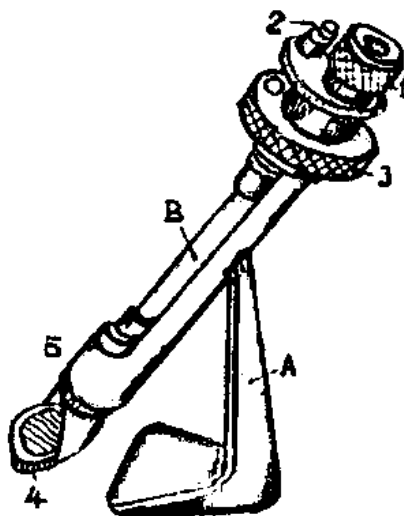


Рис.8

Прибор (рис.8) конструктивно выполнен в виде трубки В, укрепленной на стойке А.

В трубку В вставляется с исследуемой жидкостью. Все оптические детали, сосредоточены в трубке В. Окуляр, имеет диоптрическую подвижку, что позволяет устанавливать его по главу наблюдателя.

Оптическая схема поляриметр П – 161 и 829 приведена на рис.9.

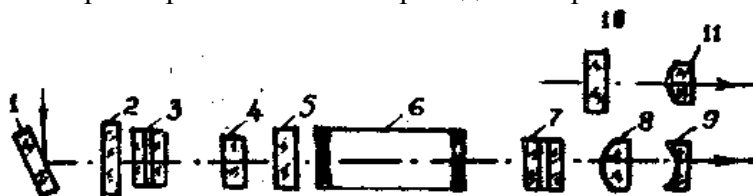


Рис.9

Световой поток, отражаясь от зеркала 1, проходит через оранжевый светофильтр 2, поляризатор 3, кварцевую пластинку 4, защитное стекло 5, кювету 6 с испытуемой жидкостью, анализатор 7, объектив 8 и попадает в окуляр 9. Лупа 11 служит для рассматривания шкалы, расположенной за защитным стеклом 10.

Светофильтр 2 пропускает весьма узкий интервал длин волн, что позволяет при измерениях пользоваться как дневным, так и электрическим светом. Необходимая освещенность поля зрения достигается поворотом зеркала 1.

В поле зрения оранжевого цвета видны границы кварцевой пластинки (рис.10). Вид тройного поля зависит от положения нониуса шкалы:

- А) нониус находится в крайнем левом положении,
- Б) нулевое положение,
- В) нониус находится в крайнем правом положении.



Рис. 10

Определение нулевого отсчета производят без кюветы или с кюветой, наполненной водой.

Вращением муфты производится установка на резкость градусной шкалы и нониуса (рис. 11).

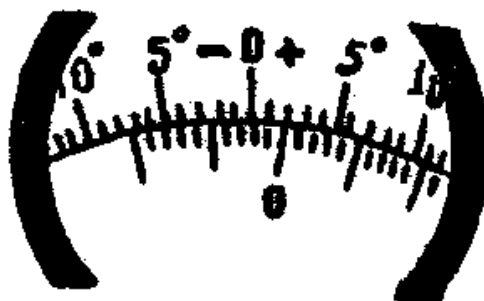


Рис.11

На неподвижном лимбе вправо и влево от нуля нанесены 20 делений (верхняя шкала рис.11). Цена одного деления лимба – 1. В плоскости лимба на подвижной втулке имеются два нониуса – левый и правый. Каждый нониус разделен на 10 делений (нижняя шкала рис.11). Точность отсчета 0,1.

Вращением муфты окуляра 1 (рис.8) производится установка на резкость изображений линий раздела тройного поля наблюдаемого в окуляр. После этого вращением анализатора 3 (рис.8) добиваются равномерного затемнения тройного поля зрения, т.е. нулевого положения (рис. 10 б).

Если нулевой штрих нониуса при установке на равномерное затемнение оказался относительно нулевого штриха лимба смещенным по часовой стрелке, то поправка на «0» приписывается знак (+), если против часовой стрелки – знак (-). Сначала нужно установить, на сколько полных градусов нулевой штрих нониуса (нижняя шкала) сдвинут относительно основной шкалы (верхняя шкала) вправо или влево (рис.11), затем отметить, какой по счету штрих нониуса совпадает со штрихом основной шкалы. Полученное число показывает десятые доли градуса, которые нужно прибавить к ранее найденному числу целых градусов. Если точного совпадения штрихов шкалы и нониуса не происходит, то определяют половинные величины десятых долей градуса ($0^0,05$).

ПРИМЕР. Нулевой штрих нониуса лежит вправо от нулевого штриха между 1 и 2 . Седьмой штрих нониуса совпадает со штрихом основной шкалы. Следовательно, отсчет равен 1,7 (рис. 11).

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

ЗАДАНИЕ 1. Определение концентрации раствора сахара на поляриметре (модели П-161 и 829).

1. Установите прибор перед источником света и поворачивая осветительное зеркало 4 (рис.9), направьте свет в прибор. Добейтесь максимальный и равномерной освещенности поля зрения.
2. Вращением муфт 1 окуляра и муфты 2 отсчетной лупы (рис.8) установите на резкость линии раздела поля зрения (рис.10) и шкалу анализатора (рис.11).
3. Поворотом анализатора 3 (рис.8) добейтесь получения одинаковой освещенности во всех частях поля зрения (рис. 10б). Сделайте отсчет φ_1 (нулевая установка). Отсчет должен быть близким к нулю. Затем сбить

положение анализатора (поворачивая его влево или вправо) и вновь добиться получения одинаковой освещенности. Снять отсчет. Опыт повторить не менее 3-5 раз. Средняя величина из 3-5 отсчетов является нулевым отсчетом прибора или поправкой на «0».

4. Поместите кювету В с раствором сахара в трубку Б прибора (рис.8) и повторите пункт 3. Сделайте отсчет φ_2 .
5. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 1.
6. Определите концентрацию раствора сахара по формуле:

$$C = 2 (\varphi_2 - \varphi_1) \% \quad (1)$$

7. Сделайте выводы.

Таблица 1

Результаты эксперимента

№ п/п	φ_1^0	φ_2^0	C, %	ΔC , %	E _c , %
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
Сред.					

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте понятия явлений поляризации света.
2. Напишите условия возникновения эллиптически поляризованного света.
3. Какой свет называется плоско поляризованным?
4. Что такое плоскость поляризации и плоскость колебаний.
5. Устройство и назначение поляриметра.

Список литературы

1. Грабовский, Р.И. / Курс физики: учебное пособие / Р.И. Грабовский. - 11-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2009. - 608 с.
2. Дмитриева, В.Ф. / Физика : программа, метод. указ. и контрольные задания для студ. - заочников инженерно-технических и технологических спец. вузов / В.Д. Дмитриева, В.А. Рябов, В. М. Гладской. - 4-е изд., стер. - М. Высш. шк., 2007. - 126 с.
3. Пронин, В.П. / Краткий курс физики : учебное пособие / В.П. Пронин. - Саратов : ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ", 2009. - 296 с.
4. Пронин, В.П. / Практикум по физике : учебное пособие / В.П. Пронин. - 2-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2005. - 256 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица 1

**Плотность дистиллированной воды и раствора глюкозы при
разной температуре**

t^0, C	вода	Раствор глюкозы		
		20%	30%	40%
15	0,9991	1,0823	1,1286	1,1783
16	0,9990	1,0821	1,1283	1,1780
17	0,9988	1,0817	1,1280	1,1776
18	0,9986	1,0815	1,1276	1,1772
19	0,9984	1,0812	1,1273	1,1770
20	0,9982	1,0810	1,1270	1,1765
21	0,9980	1,0807	1,1266	1,1760
22	0,9978	1,0803	1,1263	1,1756
23	0,9976	1,0800	1,1259	1,1752
24	0,9973	1,0797	1,1255	1,1748
25	0,9971	1,0794	1,1252	1,1744
26	0,9968	1,0790	1,1248	1,1739
27	0,9965	1,0786	1,1244	1,1735
28	0,9963	1,0783	1,1240	1,1730
29	0,9960	1,0780	1,1236	1,1726
30	0,9957	1,0777	1,1232	1,1721

Таблица 2

**Коэффициент внутреннего трения воды
при разной температуре**

t^0, C	η , пуаз	t^0, C	η , пуаз
15	0,0114	23	0,0094
16	0,0111	24	0,0091
17	0,0108	25	0,0089
18	0,0106	26	0,0080
19	0,0103	27	0,0079
20	0,0100	28	0,0077
21	0,0098	29	0,0075
22	0,0096	30	0,0074

Таблица 3

Плотность твердых тел

Вещество	Плотность ρ , г/см ³
Алюминий	2,7
Железо	7,9
Латунь	8,5
Медь	8,9
Свинец	11,3
Серебро	10,5
Цинк	7,1
Дуб	0,8
Лед	0,9
Стекло оконное	2,5

Таблица 4

Плотность жидкостей (при 20°C)

Вещество	ρ , г/см ³	Вещество	ρ , г/см ³
Ацетон	0,8	Морская вода	1,02
Бензин	0,7	Ртуть	13,5
Глицерин	1,26	Серная кислота	1,83
Керосин	0,8	Этиловый спирт	0,79
Молоко	1,03	Эфир	0,72

Таблица 5

Нормальная плотность газообразных веществ
(при 0°C и 101,3 кПа)

Вещество	ρ , г/см ³	Вещество	ρ , г/см ³
Азот	1,25	Воздух	1,29
Аммиак	0,77	Гелий	0,179
Водород	0,09	Двуокись углерода	
Водяной пар (100°C)	0,88	Кислород	1,98
			1,47

Таблица 6

Коэффициент поверхностного натяжения α (при 20°C)

Вещество	α	
	Н/м	Дин/см
Ацетон	0,0233	23,3
Вода	0,0727	72,7
Глицерин	0,0657	65,7
Ртуть	0,4650	465
Этиловый спирт	0,0223	22,3

Таблица 7

Модуль Юнга Е.

Вещество	Е, 10 ¹⁰ Н/м ²	Вещество	Е, 10 ¹⁰ Н/м ²
Алюминий	7,1	Медь	12,3
Вольфрам	39	Свинец	1,6
Дюралюминий	7,3	Сталь	20,6
Плексиглас	0,32	Стекло	7
Латунь	9,8	Сосна	0,9+1,1

Таблица 8

Скорость звука в различных средах

Вещество	v , м/с	Вещество	v , м/с
Сталь	5100	Стекло	5000
Кирпичная кладка	3480	Вода (0°C)	1485
Дерево	4000	Водород (0°C)	1286
Пробка	500	Воздух (0°C)	331,8

Таблица 9

Таблица натуральных логарифмов

N		N		N		N		N		N	
1,0	0,00	2,0	0,69	3,0	1,10	4,0	1,39	5,0	1,61	6,0	1,79
1,1	0,10	2,1	0,74	3,1	1,13	4,1	1,41	5,1	1,63	6,1	1,81
1,2	0,18	2,2	0,79	3,2	1,16	4,2	1,44	5,2	1,65	6,2	1,83
1,3	0,26	2,3	0,84	3,3	1,19	4,3	1,46	5,3	1,67	6,3	1,84
1,4	0,34	2,4	0,88	3,4	1,22	4,4	1,48	5,4	1,69	6,4	1,86
1,5	0,41	2,5	0,92	3,5	1,25	4,5	1,50	5,5	1,70	6,5	1,87
1,6	0,47	2,6	0,96	3,6	1,28	4,6	1,53	5,6	1,72	6,6	1,89
1,7	0,53	2,7	0,99	3,7	1,31	4,7	1,55	5,7	1,74	6,7	1,91
1,8	0,59	2,8	1,03	3,8	1,34	4,8	1,57	5,8	1,76	6,8	1,92
1,9	0,64	2,9	1,06	3,9	1,36	4,9	1,582,	5,9	1,78	6,9	1,93
7,0	1,95	7,5	2,01	8,0	2,08	8,5	14	9,0	2,20	9,5	2,25
7,1	1,96	7,6	2,03	8,1	2,09	8,6	2,15	9,1	2,21	9,6	2,26
7,2	1,97	7,7	2,04	8,2	2,10	8,7	2,16	9,2	2,22	9,7	2,27
7,3	1,99	7,8	2,05	8,3	2,12	8,8	2,17	9,3	2,23	9,8	2,28
7,4	2,00	7,9	2,07	8,4	2,13	8,9	2,19	9,4	2,24	9,9	2,29

Литература

а) основная литература (библиотека СГАУ):

1. Грабовский, Р.И. Курс физики [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2012. — 608 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/3178>
2. Никеров, В.А. Физика для вузов: Механика и молекулярная физика / Никеров В.А. - М.: Дашков и К, 2017. - 136 с.: ISBN 978-5-394-00691-3. – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/415061>
3. Крамаров, С.О. Физика. Теория и практика: Учебное пособие / Под ред. проф. С.О. Крамарова. - 2-е изд., доп. и перераб. - М.: ИЦ РИОР, НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 380 с.: 60х90 1/16. - (Высшее образование) (Переплёт 7БЦ) ISBN 978-5-369-01522-3. — Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/522108>

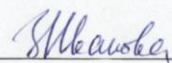
б) дополнительная литература

1. Дмитриева, В. Ф. Физика : программа, метод. указ. и контрольные задания для студ.-заочников инженерно-технических и технологических спец. вузов / В. Д. Дмитриева, В. А. Рябов, В. М. Гладской. - 4-е изд., стер. - М.: Высш. шк., 2007. - 126 с. - ISBN 5-06-004352-5
2. Основы физики и биофизики: Учеб. пособие : учебное пособие / ред. : А. И. Журавлев. - М. : Мир, 2005. - 383 с. : ил. - (Учеб. и учеб. пособия для студ. высш. учеб. заведений).
3. Охрименко, О. В./ Лабораторный практикум по химии и физике молока : учебное пособие / О. В. Охрименко, К. К. Горбатова, А. В. Охрименко. - СПб. : ГИОРД, 2005. - 50 с. : ил. - ISBN 5-901065-66-2
4. Курашвили, Е. И./ Английский язык для студентов физиков. Второй этап обучения : учебное пособие / Е. И. Курашвили, И. И. Кондратьева, В. С. Штрунова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : АСТ ; М. : Астрель, 2005. - 191 с. - ISBN 5-17-091110-3. - ISBN 5-271-06611-8.
5. Пронин, В. П. / Практикум по физике : учебное пособие / В. П. Пронин. - 2-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2005. - 256 с. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 5-8114-0659-2

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Глава 1. Ошибки эксперимента и обработка результатов измерений.....	4
Глава 2. Измерительные приборы и инструменты... ..	12
Глава 3. Оформление лабораторного отчета.....	17
Глава 4. Правила техники безопасности	19
Глава 5. Механика, молекулярная физики и термодинамика, электричество, оптика.....	23
Лабораторная работа 1. Определение плотности твердых тел правильной геометрической формы и расчет погрешностей измерений.....	23
Лабораторная работа 2. Изучение законов колебательного движения математического маятника и определение ускорения силы тяжести.....	27
Лабораторная работа 3. Изучение вращательного движения на маятнике Обербека.....	32
Лабораторная работа 4. Определение коэффициента внутреннего трения жидкости.....	37
Лабораторная работа 5. Определение коэффициента поверхностного натяжения жидкости методом отрыва панель.....	44
Лабораторная работа 6. Определение отношения теплоемкостей воздуха (C_p/C_v) методом Клемана и Дезорма	49
Лабораторная работа 7. Определение сопротивления проводников мостиком Уитстона.....	53
Лабораторная работа 8. Градуировка термопары и определение температуры тела.....	59
Лабораторная работа 9. Снятие вольтамперной характеристика полупроводникового диода.	63
Лабораторная работа 10. Изучение работы транзистора.....	69
Лабораторная работа 11. Измерение активного, емкостного и индуктивного сопротивлений в цепи переменного тока.....	74
Лабораторная работа 12 Измерение показателя преломления и концентрации раствора сахара рефрактометром.....	81
Лабораторная работа 13. Определение главного фокусного расстояния и оптической силы собирающей линзы.....	88
Лабораторная работа 14. Определение размеров малых тел микроскопом	92
Лабораторная работа 15. Определение длины световой волны при помощи дифракционной решетки.....	98
Лабораторная работа 16. Определение концентрации раствора сахара с помощью поляриметра	105
Приложение 1. Справочные таблицы.....	113
ОГЛАВЛЕНИЕ.....	116

Разработчик: доцент, Иванова З.И.



(подпись)

*Рассмотрено и утверждено на
заседании кафедры «Инженерная
физика, электрооборудование и
электротехнологии»*

«22» мая 2018 года (протокол №12).