МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДАРАЦИИ
ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО Донской ГАУ)

АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКИЙ ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ-ФИЛИАЛ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» В Г. ЗЕРНОГРАДЕ
(Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ)

Кафедра технической механики и физики

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ПРОГРАММАМ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Часть 1. Механика. Часть 2. Механические колебания. Часть 3. Молекулярная физика и термодинамика. Часть 4. Электромагнетизм. Часть 5. Геометрическая, волновая и квантовая оптика

Зерноград, 2025

© Леонтьев Н.Г., Белоусов А.В., Портаков А.Б.
© Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2025

Об издании – 1,2
Оглавление

УДК 53.08(075)

Издается по решению методического совета
Азово-Черноморского инженерного института
ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет»
в г. Зерограде.

Рецензенты:
кандидат технических наук, доцент И.В. Исупова

Леонтьев Н.Г. Лабораторный практикум по физике для обучающихся по программам СПО. [Электронный ресурс]: Часть 1. Механика. Часть 2. Механические колебания. Часть 3. Молекулярная физика и термодинамика. Часть 4. Электромагнетизм. Часть 5. Геометрическая, волновая и квантовая оптика / Н.Г. Леонтьев, А.В. Белоусов, А.Б. Портаков. – Электрон. дан. - Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2025. – 108 с. – Режим доступа: Локальная сеть Библиотеки Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВО Донской ГАУ.

Учебное пособие «Лабораторный практикум по физике для обучающихся по программам среднего профессионального образования Часть 1 Механика» предназначено для студентов Донского технико-технологического колледжа, обучающихся по программы подготовки специалистов среднего звена среднего профессионального образования 08.02.09 - Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования промышленных и гражданских зданий, 13.02.07 Электроснабжение, 21.02.19 Землеустройство, 23.02.07 Техническое обслуживание и ремонт автотранспортных средств, 35.02.05 Агрономия, 35.02.08 Электротехнические системы в агропромышленном комплексе (АПК), 35.02.16 Эксплуатация и ремонт сельскохозяйственной техники и оборудования, 38.02.01 Экономика и бухгалтерский учет (по отраслям)

Рекомендовано к изданию Методическим советом Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВО Донской ГАУ Протокол № 9 от 24.04.2025 г.

© Леонтьев Н.Г., Белоусов А.В.,
Портаков А.Б.
© Азово-Черноморский
инженерный институт
ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2025

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ 4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11-СПО 5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12-СПО 8
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13-СПО 10
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14-СПО 14
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 15-СПО 17
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 21-СПО 21
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 22-СПО 24
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 23-СПО 27
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 24-СПО 29
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 25-СПО 32
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 31-СПО 34
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 32-СПО 37
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 33-СПО 40
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 34-СПО 42
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 35-СПО 45
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 36-СПО 49
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 37-СПО 51
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 38-СПО 53
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 41-СПО 55
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 42-СПО 58
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 43-СПО 61
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 44-СПО 63
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 45-СПО 65
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 46-СПО 68
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 51-СПО 70
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 52-СПО 73
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 53-СПО 76
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 54-СПО 78
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 55-СПО 82
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 56-СПО 84
ПРИЛОЖЕНИЯ 88
1. ПРАВИЛА ПРИБЛИЖЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ И ОКРУГЛЕНИЯ 88
2. ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ 90
3. МНОГОПРЕДЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ 90
4. ОБОЗНАЧЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ 91
5. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ 93
6. ПРАВИЛА ПОСТРОЕНИЯ ГРАФИКОВ 93
7.ТАБЛИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН 97
ЛИТЕРАТУРА 107

ВВЕДЕНИЕ

Критерием успешного освоения физики является умение использовать полученные знания на практике. Поэтому важно не только знать теоретический материал, но и уметь объяснить явления природы, проводить опыты и решать физические задачи.

Цель данного учебного пособия – приобщить студентов к самостоятельной творческой работе, в процессе которой они научатся анализировать физические явления, выделять главные факторы, определяющие, тот или иной физический процесс, выбирать метод решения задачи.

Учебное пособие полностью соответствует программе по физике для организаций среднего профессионального образования. Оно может быть полезно также учащимся средних школ, лицеев и колледжей.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11-СПО
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ НИТИ

Цель работы: определение момента силы натяжения нити и ускорения движения грузов.

Приборы и принадлежности: экспериментальная установка, груз-платформа с нитью и набором дополнительных грузов, штангенциркуль и линейка.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Всякое тело под влиянием сил, действующих со стороны других тел, приобретает ускорение или деформируется. Однако в некоторых случаях тело, находящееся под действием нескольких сил, может оставаться в покое. Если тело покоится, то говорят, что это тело находится в равновесии. Различают три вида равновесия. Если при выведении тела из положения равновесия возникает сила, стремящаяся вернуть тело в исходное положение, такое равновесие называется устойчивым (пример - шар на вогнутой поверхности). Если возникает сила, стремящаяся увести тело от исходного положения - это неустойчивое равновесие (пример - шар на выпуклой поверхности). Если при смене положения тела никакой силы не возникает – это безразличное равновесие (пример - шар на горизонтальной плоскости).

Все реальные тела под действием приложенных к ним сил деформируются. Если деформации тела незначительны, то ими можно пренебречь и вести расчёт так, как если бы тело было недеформируемым, т.е. абсолютно твёрдым.

Раздел механики, в котором изучается равновесие абсолютно твёрдых тел, называется статикой. Статика является частным случаем динамики, так как покой тел, когда на них действуют силы, есть частный случай движения.

Для того, чтобы тело находилось в равновесии, необходимо выполнение двух условий равновесия:

1) геометрическая сумма внешних сил, приложенных к нему, равна нулю.

$$\boldsymbol{F_1+F_2+\ldots+F_n=0} \qquad /11.1/$$

2) геометрическая сумма моментов всех внешних сил, приложенных к нему, относительно любой оси, равна нулю.

$$\boldsymbol{M_1+M_2+\ldots+M_n=0} \qquad /11.2/$$

Условия /11.1,11.2/ являются необходимыми и достаточными для равновесия твёрдого тела.

Моментом силы относительно оси вращения тела называется векторная мера вращательного движения. Момент силы численно равен произведение модуля силы на её плечо:

$M = Fd$, где F – модуль силы, d – плечо силы. Его размерность - [Нм].

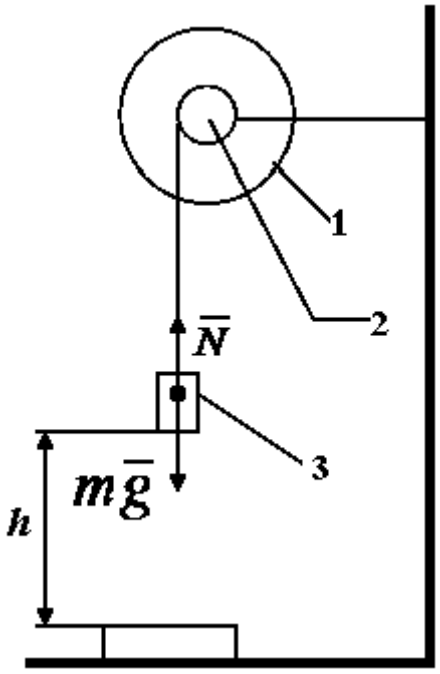


Рис. 11.1

Плечо силы – это перпендикуляр проведённый от оси вращения до линии действия силы. Линия действия силы – прямая, на которой лежит вектор силы. Момент силы F считается положительным, если в отсутствии других сил она вызывает поворот тела против часовой стрелки, и отрицательным, если сила при тех же условиях может повернуть тело по часовой стрелке. Направление момента силы определяется правилом правого винта: если рукоятку винта вращать по направлению действия илы, то поступательное движения острия винта покажет направление момента силы.

Экспериментальная установка (рис. 11.1) данной лабораторной работы представляет вертикальную колонну, установленную на закрепленной на стене платформе. На колонне закреплён вращающийся на горизонтальной оси двухступенчатый шкив (1 и 2). На шкив намотана нить, петля на одном из концов которой одета на шпильку двухступенчатого шкива, а на втором конце нити закреплен груз (3). С обратной стороны шкива на платформе закреплен тормозной электромагнит, который удерживает маятник и грузы в состоянии покоя. При помощи грузов различной массы m шкив приводится во вращение.

Если пренебречь силами трения, то суммарный момент силы M, действующей на маятник, определяется моментом силы натяжения нити M_T:

$$M_T = rT, \qquad /11.3/$$

где T - сила натяжения нити, а r - радиус шкива.

Сила натяжения нити определяется из второго закона динамики поступательного движения:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{mg - T}{m}, \qquad /11.4/$$

где a - ускорение груза, g - ускорение свободного падения, m - масса груза. С учётом формулы /11.4/ получим

$$M_T = rm(g - a). \qquad /11.5/$$

Ускорение груза a находим из кинематического уравнения зависимости пути от времени для равноускоренного движения:

$$a = \frac{2h}{t^2}, \qquad /11.6/$$

где h - расстояние, пройденное грузом из состояния покоя до удара об ограничивающую платформу за время t.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Измерьте диаметр барабана штангенциркулем и запишите его радиус r в рабочую тетрадь.

2. Наденьте петлю, которой заканчивается нить груза-платформы, на штифт, имеющийся на барабане. Намотайте на барабан нить, вращая шкив до тех пор, пока нижний край груза не установится на нужной высоте (ее определяют с помощью прямоугольного треугольника). Зафиксируйте шкив в исходном положении, нажав кнопку «тормоз» на блоке управления.
3. На полу в месте падения груза поместите контактный выключатель, установив его в верхнее (отжатое) положение.
4. Установить в нулевое положение стрелку электрического секундомера.
5. Нажмите кнопку «секунд». При этом включается секундомер и отключается электромагнит, удерживающий шкив. При падении груза на контактный выключатель электрическая цепь разорвется и секундомер остановится. Запишите время падения груза. Повторите измерения 5-6 раз, увеличивая высоту падения груза. Данные занесите в таблицу результатов измерений.
6. Рассчитайте по формулам /11.5/ и /11.6/ значения момента силы натяжения нити и ускорения падения груза для каждого опыта. Результаты занесите в таблицу.
7. Вычислите абсолютную и относительную погрешности для момента силы натяжения нити по формулам /11.7/ и /11.8/:

$$\Delta M_{CP} = \sqrt{\frac{\sum \Delta M_i^2}{n(n-1)}}, \qquad /11.7/ \qquad\qquad \varepsilon_M = \frac{\Delta M_{T.CP}}{M_{T.CP}}. \qquad /11.8/$$

8. Запишите окончательный результат с учётом погрешностей, в виде:

$$M_т = M_{т.ср} \pm \Delta M_{т.ср} \ ; \qquad \varepsilon_м = \ldots\%$$

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

m,кг	t,с	H,м	a,м $с^{-2}$	$M_т, 10^{-2}$Н м	$\Delta M_т 10^{-2}$Нм	$\Delta M_т^2 10^{-4}$ $Н^2м^2$

ВНИМАНИЕ! В данной лабораторной работе, и далее считать ускорение свободного падения g = 9,81 м/$с^2$.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что изучает статика?
2. Назовите виды равновесия и дайте их определения.
3. Сформулируйте условия равновесия твёрдого тела.
4. Что называется моментом силы? Укажите единицы измерения.
5. Что такое плечо силы? Укажите единицы измерения.
6. Как определяется направление момента силы?

ЛИТЕРАТУРА

1.Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 2014. – 446 с.§2.10.
2.Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 10 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский. – 14-е изд. – М.: Просвещение, 2005. - § 54 – 56.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12-СПО
ИЗУЧЕНИЕ ВТОРОГО ЗАКОНА НЬЮТОНА С ПОМОЩЬЮ МАШИНЫ АТВУДА

Цель работы: на опыте изучить действие основного закона динамики поступательного движения.

Приборы и принадлежности: установка «машина Атвуда» ФПМ-16, набор грузов.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Под действием сил, тело приобретает ускорение. При движении с ускорением, тело за равные промежутки времени совершает различные перемещения. Скорость тела при движении с ускорением изменяется. Быстроту изменения скорости в единицу времени характеризует физическая величина - ускорение.

Ускорение – векторная величина равная отношению изменения скорости к промежутку времени, за которое это изменение произошло:

$$\boldsymbol{a}=\underline{\Delta}\boldsymbol{v}/\underline{\Delta}t \qquad /12.1/$$

Размерность ускорения [м/с^2].

Масса (m) – основная динамическая характеристика тела, количественная мера его инертности, т.е. способности тела приобретать определенное ускорение под действием силы. Её размерность [кг].

Сила ($\vec{F}$) – векторная мера взаимодействия тел. Её размерность [Н]. Сила характеризуется: величиной, направлением и точкой приложения. Равнодействующая сила - векторная сумма всех сил, действующих на тело:

$$\boldsymbol{F_1+F_2+\ldots.+F_n=0} \qquad /12.2/$$

где n – число действующих на тело сил.

Связь между кинематическими и динамическими характеристиками движения описывает второй закон Ньютона: При постоянной массе тела m ускорение $\vec{a}$ тела прямо пропорционально величине равнодействующей силы $\vec{F}_P$ и обратно пропорционально массе данного тела.

$$\boldsymbol{a=F/m} \qquad /12.3/$$

Линейная зависимость ускорения от величины действующей силы может быть проверена экспериментально с помощью «машины Атвуда» ФПМ-16.

Через лёгкий блок перекинута тонкая нить, на концах которой подвешены грузы-платформы одинаковой массы М. На левый и правый грузы-платформы помещают перегрузки массами m_1 и m_2, причем $m_1 \neq m_2$. В этом случае система грузов придет в движение. Наличие шарикового подшипника в шкиве позволяет считать, что трение в шкиве пренебрежимо мало.

Результирующая сила, вызывающая ускорение движения этой системы грузов, равна разности сил тяжести перегрузков и грузов-платформ слева и справа от блока, откуда:

$$F_P = (M + m_1)g - (M + m_2)g = (m_1 - m_2)g\,. \qquad /12.4/$$

Изменяя массы перегрузков m_1 и m_2 так, чтобы общая масса системы сохранялась $2M + m_1 + m_2 = const$, получим несколько значений силы F, вызывающей ускорение системы. Для каждого значения силы определим ускорение движения и найдём зависимость величины ускорения от величины силы.

Величину ускорения грузов можно определить с помощью формулы

$$a = \frac{2h}{t^2}, \qquad /12.5/$$

где h – путь, пройденный грузами за время t после начала движения.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Расположите несколько перегрузов на грузах-платформах по обе стороны блока, фиксируя систему.
2. С помощью линейки на колонне измерьте расстояние h, которое проходят грузы. Время движения грузов t измерьте с помощью встроенного в установку секундомера. Для уменьшения погрешности измерения времени повторите эксперимент при одинаковых наборах перегрузков m_1 и m_2 5 раз и вычислите среднее значение времени движения грузов под действием данной силы.
3. Перекладывая по одному перегрузку с одного груза-платформы на другой, повторите эксперимент несколько раз. В каждом случае вычислите значение результирующей силы формуле /12.4/.
4. В каждом случае вычислите значения ускорения по формуле /12.5/.
5. На основании полученных данных постройте график зависимости a = f (F) и убедитесь в его линейности.

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

$M+m_1$,кг	M_2+m_2,кг	F, Н	t_1, с	t_2, с	t_3, с	t_4, с	t_5, с	$t_{ср}$, с	h, м	a, м/с^2

ВНИМАНИЕ! В данной лабораторной работе, и далее считать ускорение свободного падения g = 9,81 м/с^2.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называют равноускоренным движением? Дайте определение ускорения. В каких единицах измеряется ускорение?
2. Дайте определение массы. В каких единицах измеряется масса?

3. Дайте определение силы, чем характеризуется сила и в каких единицах измеряется?
4. Сформулируйте основное уравнение динамики поступательного движения и запишите его формулу.
5. Как с помощью построенного графика определить общую массу системы?

ЛИТЕРАТУРА

1.Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 2014. – 446 с.§2.1-2.6.
2.Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 10 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский. – 14-е изд. – М.: Просвещение, 2005. - §13-16, 25-27,29.
3.Генденштейн Л.Э., Дик Ю.И. Физика 10 кл.: Учебник базового уровня для общеобразовательных учебных заведений. – 2-е изд.- М.: Илекса, 2006. - §3, 9.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13-СПО
ПРОВЕРКА ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Цель работы: экспериментальная проверка справедливости закона сохранения энергии и оценка потерь механической энергии на трение.

Приборы и принадлежности: прибор Гримзеля, шар известной массы, листы чистой и копировальной бумаги, масштабная линейка.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Энергия Е – всеобщая скалярная мера движения. Размерность энергии - [Дж]. Поскольку материя может существовать только участвуя в движении. Отсюда вытекает закон сохранения и превращения энергии: энергия в природе не возникает ниоткуда и никуда не исчезает, она лишь переходит из одной формы в другую.

Работа есть мера изменения энергии. $A = \Delta E;$ /13.1/

Размерность работы - [Дж].

При поступательном механическом движении работа постоянной силы равна произведению модулей силы, перемещения и косинуса угла между ними:

$$A = F \cdot s \cdot \cos\alpha \qquad /13.2/$$

где угол α – угол между направлениями векторов силы и перемещения.

Часто важно знать не только работу, но и время, в течение которого она произведена. Поэтому вводят физическую величину мощность - меру скорости совершения работы.

Мощность – равна отношению работы ΔА к промежутку времени Δt, за который эта работа совершена:

$$N = \frac{\Delta A}{\Delta t}; \qquad /13.3/$$

Её размерность - [Вт].

Механическая энергия включает в себя потенциальную и кинетическую энергию.

Кинетическая энергия – это часть механической энергии, которая обусловлена относительным движением тела:

$$E_к = \frac{mv^2}{2}\ ; \qquad /13.4/$$

Потенциальная энергия – это часть механической энергии, которая обусловлена взаимодействием тел:

$$E_п = mgh; \qquad /13.5/$$

Полная механическая энергия – сумма кинетической и потенциальной энергии тела:

$$E_м = E_к + E_п \qquad /13.6/$$

Согласно закону сохранения механической энергии: в замкнутой системе тел полная механическая энергия системы не меняется при отсутствии сил трения:

$$E_м = \text{const}\ . \qquad /13.7/$$

Если в начальном состоянии система обладает потенциальной энергией $П_1$, кинетической энергией T_1, а в конечном соответственно, $П_2$ и T_2, то по закону сохранения энергии:

$$П_1 + T_1 = П_2 + T_2 \qquad /13.8/$$

Это выражение можно переписать в виде $П_1 – П_2 = T_2 – T_1$ /13.9/

Этот результат можно сформулировать так: кинетическая энергия системы увеличивается за счет убыли ее потенциальной энергии.

При наличии в системе сил трения (система не является замкнутой) полная механическая энергия не сохраняется т.к. часть её затрачивается на совершение работы по преодолению сил трения. В этом случае закон сохранения энергии можно записать так:

$$E_{м1} = E_{м2} + A_{тр} \qquad /13.10/$$

Экспериментальную проверку выражения /13.10/ можно произвести на приборе Гримзеля, изображенном на рис. 13.1. Он состоит из вертикальной стойки (1), с шарнирно укрепленным на ней маятником (2), в котором устанавливается легко отделяющийся шар (3), ограничителя (4) и стола (5). Для приведения установки в исходное положение шар (3) вставляют в маятник (2) и отводят последний на некоторый угол. При этом шар обладает относительно стола потенциальной энергией.

$$П_1 = mgh_1, \qquad /13.11/$$

где m - масса шара, g - ускорение свободного падения, h_1 - высота шара над поверхностью стола, и кинетической энергией $T_1 = 0$.

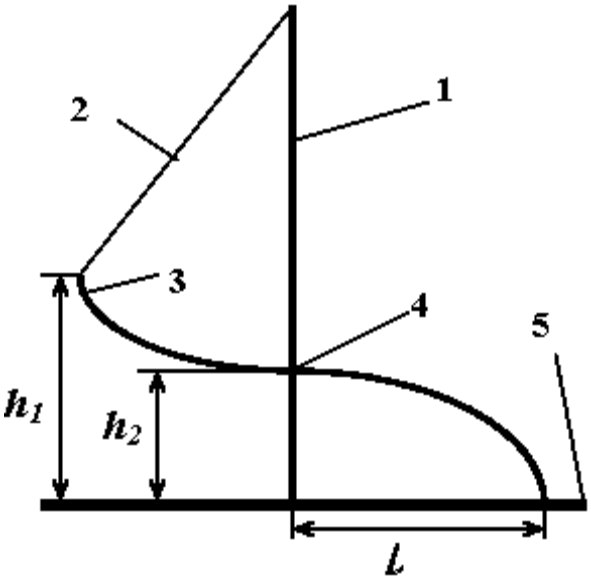


Рис. 13.1

При отпускании маятник в вертикальном положении останавливается и шар вылетает из него. В момент вылета шар обладает потенциальной энергией

$$П_2 = mgh_2 \qquad /13.12/$$

и кинетической энергией

$$T_2 = \frac{m\upsilon^2}{2} \qquad /13.13/$$

где υ - горизонтальная скорость шара в момент вылета.

Шар продолжает двигаться по параболической траектории и падает на лежащий на столе (5) лист бумаги, накрытый копировальной бумагой, оставляя на бумаге след (точку). Криволинейное движение шара согласно принципу независимости движений можно разбить на два прямолинейных: равномерное по горизонтали, причем пройденный путь l равен: $l = \upsilon t$, /13.14/

где t - время движения, и движение с постоянным ускорением без начальной скорости по вертикали, причем $h = \frac{gt^2}{2}$. /13.15/

Поскольку время в /13.14/ и /13.15/ одно и то же, можно вычислить начальную горизонтальную скорость $v = l \cdot \sqrt{\frac{g}{2h_2}}$ /13.16/

и конечную кинетическую энергию $T_2 = \frac{mgl^2}{4h_2}$. /13.17/

Поскольку изменение потенциальной энергии равно:

$$П_1 - П_2 = mg(h_1 - h_2),$$

/13.18/

то из /13.9/, /13.17/ и /13.18/ получим:

$$T_2 = \frac{mgl^2}{4h_2} = mg(h_1 - h_2), \qquad /13.19/$$

где все величины могут быть измерены в эксперименте.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Закрепите шар в зажиме маятника и измерьте его высоту над столом в момент отрыва (нижнее положение) h_2. Измерение высот производить от поверхности стола до нижней точки шара.
2. Масса шара задается заранее.
3. Отклоните маятник на некоторый угол, зафиксируйте его в отклоненном положении и измерьте высоту шара h_1 от поверхности стола до нижней точки шара.

4. На столе (5) закрепите кнопками лист бумаги и положите на него копировальную бумагу краской вниз.
5. Отпустите маятник и, после падения шара, измерьте расстояние от основания стойки до центра метки, оставленной шаром на бумаге. Опыт повторите пять раз.
6. Отклоните маятник на другой угол и повторить измерения по п.п. 3, 4 и 5. Измерения провести при 2 - 3 различных высотах h_1.
7. Результаты измерений h_1, h_2 и l занесите в таблицу результатов наблюдений 1, и вычислите для каждой высоты h_1 величину l_{CP},
8. По формулам /13.18/ и /13.19/ вычислите для каждого значения h_1 значения $П_1 - П_2$ и T_2. Результаты вычислений занесите в таблицу результатов наблюдений 2.

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ 1

№	h_2, м	h_1, м	l_1, м
		n= 5	l_{CP} =
		n= 5	l_{CP} =
		n= 5	l_{CP} =

9. Вычислите величину энергии, теряющейся на трение, по формуле:

$$\Delta T_2 = (П_1 - П_2) - T_2, \qquad /13.20/$$

Результаты занесите в таблицу результатов наблюдений 2.
10. Вычислить какую часть от начальной энергии составляют потери энергии на трение по формуле:

$$\varepsilon = \frac{mgh_1}{\Delta T_2} \cdot 100\% \ ; \qquad /13.21/$$

Результаты занести в таблицу наблюдений 2.

ВНИМАНИЕ! В данной лабораторной работе, и далее считать ускорение свободного падения g = 9,81 м/с^2.

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ 2

m, кг	h_2, м	h_1, м	$П_1–П_2$, Дж	l_{CP},м	T_2, Дж	ΔT_2, Дж	ε, %

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение энергии и работы. В каких единицах измеряются энергия и работа?
2. Сформулируйте закон сохранения и превращения энергии.
3. Дайте определения видов механической энергии (кинетической и потенциальной). Запишите формулы для этих видов механической энергии.
4. Сформулируйте закон сохранения полной механической энергии системы тел. В каких системах выполняется закон сохранения механической энергии?
5. Сформулируйте закон сохранения полной энергии при наличии сил трения?
6. Какие превращения энергии происходят в этой работе?

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 2014. – 446 с.§3.5-3.9.
2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 10 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский. – 14-е изд. – М.: Просвещение, 2005. - §45-53.
3. Генденштейн Л.Э., Дик Ю.И. Физика 10 кл.: Учебник базового уровня для общеобразовательных учебных заведений. – 2-е изд.- М.: Илекса, 2006. - §18-19.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14-СПО
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЖЕСТКОСТИ ПРУЖИНЫ

Цель работы: убедиться в справедливости закона Гука для упругих деформаций и вычислить коэффициент жесткости медной проволоки.

Приборы и принадлежности: экспериментальная установка, набор грузов, индикатор для измерений малых перемещений, микрометр.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Если на тело действуют силы, то тело деформируется. Под деформацией понимают изменение формы и размеров тела. Деформации можно разделить на несколько видов. По изменению формы тела: сжатие (растяжение), изгиб, кручение, сдвиг. Деформации сжатия-растяжения, отличающиеся только знаком, и изгиба называют простыми деформациями. Все остальные деформации можно представить, как сумму этих простых деформаций. По физическим свойствам, деформации можно разделить на упругие и неупругие (пластические). Если после снятия внешней деформирующей силы, тело полностью восстанавливает первоначальную форму и размеры, то деформацию называют упругой. Если тело не восстанавливает первоначальную форму и размеры, или восстанавливает не полностью, то деформация неупругая (пластическая).

Связь силы упругости с величиной малых деформаций была открыта экспериментально английским физиком Робертом Гуком.

Закон Гука: при упругой деформации растяжения (или сжатия) модуль силы упругости прямо пропорционален абсолютному удлинению.

$$|F| = k\,|\Delta x| ; \qquad /14.1/$$

где $\Delta x = x - x_0$ абсолютное удлинение, разность между конечной x и начальной x_0 длиной тела; k – коэффициент жесткости пружины, который зависит от материала, размеров и формы пружины. Размерность абсолютного удлинения - [м], а коэффициента жесткости - [Н/м]. Такая же закономерность наблюдается при растяжении однородных стержней из твёрдых упругих материалов.

Причиной возникновения силы упругости является электромагнитное взаимодействие между молекулами тела. Силы взаимодействия между молекулами таковы, что на малых (сравнимых с размерами молекул) расстояниях молекулы отталкиваются, а на больших - притягиваются. В недеформированном теле молекулы находятся на таком расстоянии друг от друга, что силы притяжения и отталкивания взаимно компенсируются. Но если мы растягиваем или сжимаем тело, расстояния между молекулами увеличиваются или уменьшаются, поэтому начинают преобладать либо силы притяжения, либо силы отталкивания. В результате возникает сила упругости направленная так, чтобы уменьшить величину деформации тела.

Экспериментальная установка представлена на рис. 14.1. Образец медной проволоки (1) длиной $X \approx 1.6$ м подвешен на кронштейне. Корпус (2) измерительного блока закреплён неподвижно. В его отверстии помещается основной груз (3), центрируемый подпружиненными шариками. Дополнительные грузы (4), создающие абсолютное удлинение ΔX, помещаются на основной груз сверху. Индикатор малых перемещений (5) установлен посредине основного груза снизу с помощью штыря и планки. Перемещение основного груза при удлинении проволоки вызывает поворот большой стрелки индикатора с ценой деления 10^{-5} м. Малая стрелка указывает число целых миллиметров. Установка индикатора в нулевое положение производится поворотом шкалы большой стрелки.

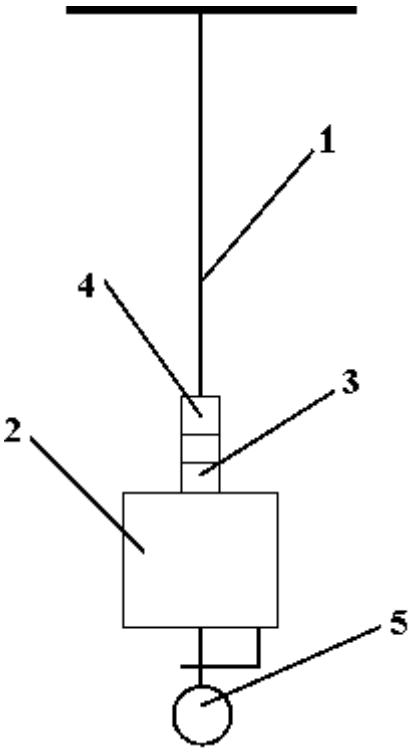


Рис. 14.1

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 Индикатор установите в нулевое положение, проверяя правильность установки постукиванием по корпусу. При этом большая стрелка индикатора не смещается из нулевого положения.

2. Установите на основной груз дополнительные грузы. Увеличивая их величину. Измеряйте абсолютное удлинение ΔX нарастающим итогом. Опыт произведите несколько раз. Данные занесите в таблицу результатов наблюдений.

3. Постройте график зависимости $\Delta X = f(mg)$, откладывая на оси абсцисс нагрузку mg, а по оси ординат абсолютное удлинение ΔX. Проведите через полученные точки прямую наилучшим образом. Определите координаты двух точек на графике ($m_1 g, \Delta x_1$) и ($m_2 g, \Delta x_2$) и вычислите коэффициент жесткости проволоки по формуле:

$$k = \frac{m_2 g - m_1 g}{\Delta x_2 - \Delta x_1} . \qquad /14.2/$$

ВНИМАНИЕ! В данной лабораторной работе, и далее считать ускорение свободного падения g = 9,81 м/с^2.

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

m, кг	mg, Н	ΔX , 10^{-5}м			
		1	2	3	сред.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое деформация? Что такое упругие и пластические деформации?
2. Какие существуют виды деформации с точки зрения изменения формы тела? Приведите примеры.
3. Что такое абсолютная деформация (удлинения), в каких единицах она измеряется?
4. Как соотносятся между собой деформирующая сила и сила упругости?
5. Почему возникают силы упругости?
6. Сформулируйте закон Гука. Когда он справедлив?
7. От чего зависит коэффициент жесткости пружины? В каких единицах измеряется коэффициент жесткости?

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 2014. – 446 с.§2.10.
2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 10 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский. – 14-е изд. – М.: Просвещение, 2005. - §36,37.
3. Генденштейн Л.Э., Дик Ю.И. Физика 10 кл.: Учебник базового уровня для общеобразовательных учебных заведений. – 2-е изд.- М.: Илекса, 2006. - §8.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 15-СПО
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРЕНИЯ ПОКОЯ И СКОЛЬЖЕНИЯ МЕТОДОМ НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТИ

Цель работы: экспериментальное изучение закономерностей трения скольжения и определение значений коэффициентов трения покоя и скольжения тел.

Приборы и принадлежности: экспериментальная установка в виде наклонной плоскости с различными материалами покрытий (дерево, сталь, прорезиненная ткань транспортера и др.), бруски из различных материалов.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

При движении соприкасающихся твердых тел друг относительно друга между ними возникают силы внешнего трения. В результате действия таких сил кинетическая энергия относительного движения тел уменьшается.

Различают два вида такого внешнего трения - трение скольжения и трение качения. В каждом случае возможно сухое трение и трение со смазкой из какой-либо жидкости (обычно масла). В последнем случае силы трения значительно меньше.

Силы трения складываются из:

- упругих сил, возникающих при взаимодействии неровностей поверхностей двух тел;
- сил, возникающих при взаимодействии молекул поверхностных слоев соприкасающихся тел;
- сил, возникающих вследствие молекулярных неоднородностей на поверхностях соприкасающихся тел;.

Все эти силы имеют электрическую природу.

Согласно закону Амонтона - Кулона для явления внешнего сухого трения скольжения справедливы следующие закономерности:

- имеет место сила трения покоя $F_{ТР.П}$ - тело начинает двигаться, если сила тяги $F_T \geq F_{ТР.П}$;
- сила трения не зависит от площади соприкасающихся тел;
- сила трения не зависит от относительной скорости тел при малых скоростях;
- сила трения покоя и сила трения скольжения прямо пропорциональны силе нормального давления $F_{ТР.П} = \mu_п F_{ДАВЛ}$ и $F_{ТР.С} = \mu_С F_{ДАВЛ}$. /15.1/

Поскольку по третьему закону Ньютона силы нормального давления и реакции опоры равны по абсолютной величине, то

$$F_{TP.П} = \mu_П N \qquad \text{и} \qquad F_{TP.C} = \mu_C N . \qquad /15.2/$$

Здесь $\mu_П$ и μ_C - коэффициенты трения покоя и скольжения.

Коэффициенты трения покоя и скольжения зависят от:

- материала соприкасающихся поверхностей;
- качества обработки соприкасающихся поверхностей;
- состояния соприкасающихся поверхностей (температуры, влажности, наличия загрязнений и смазки).

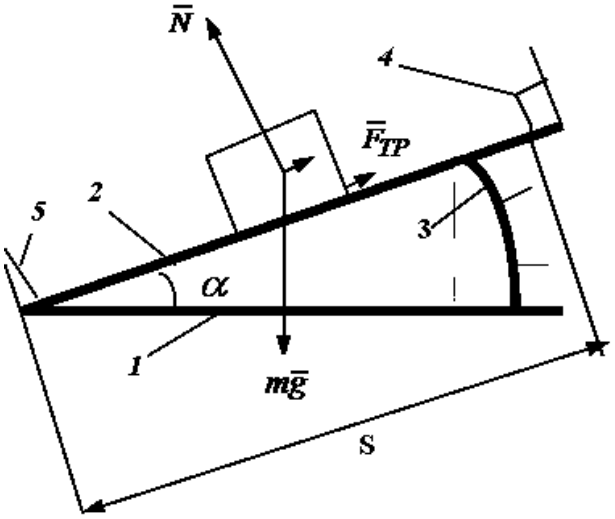


Рис. 15.1

Экспериментальная установка по определению коэффициентов трения покоя и скольжения, представленная на рис.15.1, состоит из основания (1), наклонной плоскости (2), транспортира для определения угла наклона плоскости (3), электромагнита (4), концевого микровыключателя (5) и электронного блока управления с кнопками «Электромагнит» и «Пуск».

На тело, находящееся на наклонной плоскости, действуют, как показано на рис.15.1, следующие силы:

- сила тяжести - $\overline{F_T} = m\overline{g}$;
- сила реакции опоры $\overline{N}$;
- сила трения - $\overline{F_{TP}}$

Следствие из второго закона Ньютона имеет вид:

$$m\overline{a} = m\overline{g} + \overline{N} + \overline{F}_{TP} \qquad /15.3/$$

или в проекциях на направления параллельно (OX) и перпендикулярно (OY) наклонной плоскости получим

$$\begin{aligned} OX &: ma = mg\sin\alpha - F_{TP} \\ OY &: 0 = mg\cos\alpha - N. \end{aligned} \qquad /15.4/$$

Если тело находится в покое, геометрическая сумма всех сил, действующих на тело, равна нулю и его ускорение равно нулю. С учетом того, что $F_{TP.П} = \mu_П N$, получим:

$$\mu_{TP.П} = tg\alpha_o , \qquad /15.5/$$

где α_o - максимальный угол, при котором тело еще остается в покое на наклонной плоскости. В таблице 1 приведены значения коэффициента трения покоя $\mu_{TP.П}$ для некоторых материалов.

Таблица 1.

Значения коэффициента трения покоя для некоторых пар материалов

Материалы	$\mu_{TP.П}$
Металл по металлу	0,15...0,30
Металл по дереву	0,50
Дерево по дереву	0,65
Кожа по металлу	0,60

При $\alpha \triangleright \alpha_o$ геометрическая сумма всех сил, действующих на тело, не равна нулю. Тогда тело движется равноускоренно и из /15.4/ следует:

$$\mu_C = tg\alpha - \frac{a}{g\cos\alpha}. \qquad /15.6/$$

Величину ускорения a можно определить из зависимости пути S от времени t для равноускоренного движения без начальной скорости

$$S = \frac{at^2}{2}, \qquad /15.7/$$

откуда

$$\mu_C = tg\alpha - \frac{2S}{gt^2\cos\alpha}. \qquad /15.8/$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. По заданию преподавателя, определить значение начального угла наклона плоскости для брусков из различных материалов и семян растений (3-4 варианта) на различных покрытиях (транспортерная лента, дерево, металл, пластмасса и т.п.). Для этого положить тело на наклонную плоскость так, чтобы оно находилось в покое, и медленно увеличивая угол наклона плоскости до значения α_o, когда тело начинает движение. Определите коэффициент трения покоя по формуле /15.5/.
2. Для определения коэффициента трения скольжения для указанной преподавателем пары тело (брусок) - покрытие наклонной плоскости установите угол наклона плоскости $\alpha \triangleright \alpha_o$.
3. Включите кнопку «Электромагнит» и закрепить тело на наклонной плоскости. Электрический секундомер установите на ноль.
4. Измерить длину наклонной плоскости S от нижнего края бруска до микровыключателя.
5. Нажмите кнопку «Пуск». При этом отключается электромагнит, включается секундомер и тело движется по наклонной плоскости до микровыключателя. При ударе тела о микровыключатель секундомер остановится. Результаты измерения α, S и t занесите в таблицу результатов наблюдений.
6. По формуле /15.8/ вычислите экспериментальные значения μ_C и занесите их в таблицу результатов наблюдений. Рассчитайте среднее значение коэффициента трения скольжения μ_C, среднюю абсолютную $\Delta\mu_C$ и среднюю относительную ε_K погрешности, по формулам:

$$\mu_{C.CP} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\mu_i, \quad /15.9/ \qquad \Delta\mu_{C.CP} = \sqrt{\frac{\sum \Delta\mu_i^2}{n(n-1)}}, \quad /15.10/ \qquad \varepsilon_K = \frac{\Delta\mu_{C.CP}}{\mu_{C.CP}}. \quad /15.11/$$

Данные запишите в таблицу результатов наблюдений. Результат представьте в виде:

$$\mu_C \pm \Delta\mu_C = \qquad , \ \varepsilon_K = \qquad .$$

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Тело, покрытие	№	α, град	S, м	t, с	μ_{Ci},	$\Delta\mu_{Ci}$	$\Delta\mu_{Ci}^2$
	1						
	2						
	3						
	4						
	5						

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите виды трения. Приведите примеры возникновения трения в природе и технике.
2. Укажите природу сил трения.
3. Сформулируйте закон Амонтона - Кулона для внешнего сухого трения скольжения.
4. Укажите размерность коэффициента трения скольжения.
5. От чего зависит коэффициент трения скольжения?
6. Как зависит коэффициент трения скольжения от длины наклонной плоскости, угла ее наклона, времени движения бруска, ускорения свободного падения?

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 2014. – 446 с.§2.10.
2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 10 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский. – 14-е изд. – М.: Просвещение, 2005. - §38-40.
3. Генденштейн Л.Э., Дик Ю.И. Физика 10 кл.: Учебник базового уровня для общеобразовательных учебных заведений. – 2-е изд.- М.: Илекса, 2006. - §14.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 21-СПО
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЖЕСТКОСТИ ПРУЖИНЫ МЕТОДОМ КОЛЕБАНИЙ

Цель работы: экспериментальная проверка зависимости периода упругих колебаний пружины от массы подвешенного груза и определение коэффициента жесткости пружины.

Приборы и принадлежности: стойка с измерительной линейкой, пружина, набор грузов, секундомер.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Периодическое движение - это процесс, при котором система проходит определенны набор состояний в определенной последовательности возвращаясь в каждое из состояний через определенное время. Колебательное движение – это движение при котором тело попеременно отклоняется в одну и другую сторону от положения устойчивого равновесия. Простейшими и одними из важнейших видов колебаний являются гармонические. Это определяется не только тем, что они часто встречаются в технике, но и тем, что периодические процессы могут быть представлены в виде сумм нескольких гармонических колебаний (методом разложения в ряд Фурье).

При гармонических колебаниях величины, описывающие колебательное движение (смещение из положения равновесия x, скорость и ускорение) изменяются по гармоническому закону (закону синуса или косинуса). При этом уравнение кинематики имеет вид:

$$x = A\sin(\omega t + \varphi_O), \qquad /21.1/$$

$$x = A\cos(\omega t + \varphi_O), \qquad /21.1a/$$

где A - амплитуда колебаний, т.е. максимальное значение, которое может принимать величина смещения x (размерность амплитуды такая же, как и размерность смещения); $(\omega t + \varphi_o)$ - фаза колебаний с размерностью [рад] - величина которая определяет координату x в момент времени t; φ_O -начальная фаза с размерностью [рад], т.е. фаза в момент времени $t = 0$; ω-круговая или циклическая частота, т.е. количество колебаний за 2π секунд. Она связана с периодом T и частотой ν следующими соотношениями: $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu.$ /21.2/

T - период колебаний - время одного полного колебания с размерностью [с], ν - частота, т.е. число колебаний, совершаемых за 1 с. Размерность частоты ν в системе СИ – [Гц] =[$с^{-1}$]. Уравнение динамики, описывающее гармонические колебания имеет вид

$$m\boldsymbol{a}=\boldsymbol{F} \qquad /21.3/$$

т.е. условием возникновения гармонических колебаний является наличие в системе возвращающей силы, противоположной по знаку смещению и пропорциональной ему.

Условию /21.3/ удовлетворяют, например, упругие силы, которые согласно закону Гука, прямо пропорциональны величине абсолютной деформации, т.е. смещению из положения равновесия:

$$F = kx, \qquad /21.4/$$

где k – коэффициент жесткости пружины, зависящий от материала формы и размеров пружины. Поэтому колебания, совершаемые под действием упругих сил, будут гармоническими. Возвращающие силы, удовлетворяющие уравнению /21.3/, но не являющиеся упругими называют квазиупругими. Из /21.3/ и /21.4/ следует, что в случае гармонических колебаний, совершаемых под действием упругих сил, например колебание груза, подвешенного на пружине, уравнение динамики имеет вид

$$ma = -kx, \qquad /21.5/$$

При колебательном движении тело приобретает ускорение, которое определяется по формуле:

$$a = \omega^2 x \qquad /21.6/$$

Подставляя формулу /21.6/ в /21.5/ получаем:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \qquad /21.7/$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}, \qquad /21.8/$$

где k - коэффициент жесткости пружины, а m - масса подвешенного груза, а T период колебаний.

Из /21.8/ получаем, что квадрат периода упругих колебаний пружинного маятника прямо пропорционален массе подвешенного груза

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{k} m. \qquad /21.9/$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подвесьте к пружине груз. Оттянув груз на 0.01...0.02 м, отпустите его, предоставив возможность совершать колебания. Измерьте время n =30 колебаний. Данные занесите в таблицу результатов наблюдений. Измерения для одного и того же груза повторите три раза и по среднему значению времени определите период колебаний по формуле:

$$T = \frac{t}{n}. \qquad /21.10/$$

2. Увеличивая массу груза определите период колебаний согласно предыдущему пункту.

3. Постройте график зависимости $T^2 = f(m)$, проведя прямую через экспериментальные точки наилучшим образом. Используя координаты двух любых, возможно более далеко стоящих друг от друга, точек на графике, определите коэффициент жесткости пружины по формуле:

$$k = 4\pi^2 \frac{m_2 - m_1}{T_2^2 - T_1^2}. \qquad /21.11/$$

4. Определите начальную координату x_o по указателю ненагруженной пружины. Подвесьте один груз и определите новую координату x_1 по указателю нагруженной пружины. Проделайте такие измерения увеличивая массу груза. Абсолютные удлинения вычислите по формуле $\Delta x_i = x_i - x_o$, а значения силы тяжести вычислите по формуле $F = mg$. Данные занесите в таблицу результатов наблюдений.

5. По полученным данным постройте график зависимости $\Delta x = f(F)$. Определите коэффициент жесткости пружины, используя координаты двух $(F_1, \Delta x_1)$ и $(F_2, \Delta x_2)$ точек на графике по формуле:

$$k = \frac{F_2 - F_1}{\Delta x_2 - \Delta x_1}. \qquad /21.12/$$

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

m, кг	n	t, c				T^2, c^2	F, Н	Δ x, 10^{-3} м
		1	2	3	Ср			

ВНИМАНИЕ! В данной лабораторной работе, и далее считать ускорение свободного падения g = 9,81 м/с^2.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое движение называются периодическим?
2. Какое движение называется колебательным?
3. Что такое гармоническое колебательное движение? Запишите уравнения кинематики и динамики гармонически колеблющегося тела?
4. Что называется периодом, частотой, фазой, амплитудой колебаний? В каких единицах измеряются эти величины?
5. Какому условию должна удовлетворять возвращающая сила, чтобы колебания, совершаемые под действием этой силы, были гармоническими. Приведите примеры таких сил.
6. Что такое коэффициент жесткости пружины? В каких единицах измеряется коэффициент жесткости пружины?
7. От каких параметров зависит коэффициент жесткости пружины?

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 20014. – 446 с. §14.1-14.4
2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 11 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев,– 9-е изд. – М.: Просвещение, 2002. - §18-23.

3. Генденштейн Л.Э., Дик Ю.И. Физика 10 кл.: Учебник базового уровня для общеобразовательных учебных заведений. – 2-е изд.- М.: Илекса, 2006. - §3, 9

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 22-СПО
ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРИОДА КОЛЕБАНИЙ ПРУЖИННОГО МАЯТНИКА.

Цель работы: исследовать основные закономерности упругих колебаний на примере пружинного маятника.

Приборы и принадлежности: универсальный штатив для крепления пружины с отсчетной линейкой, пружина, набор грузов, секундомер.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Примером свободных незатухающих колебаний могут служить колебания груза массой m, подвешенного на абсолютно-упругой пружине и совершающего колебания под действием упругой силы.

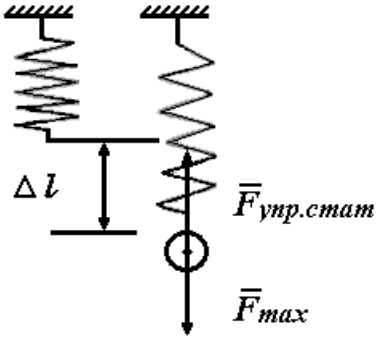


Рис. 22.1

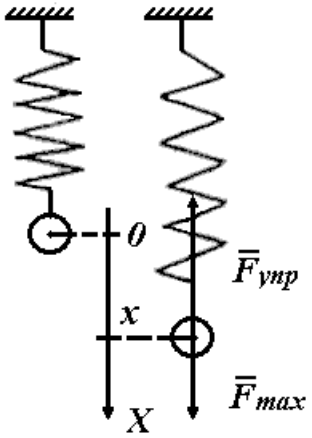


Рис. 22.2

Рассмотрим груз, висящий неподвижно на пружине (рис. 22.1). Пусть Δl - величина растяжения пружины под действием этого груза. Смещение Δl конца пружины относительно его положения в ненагруженном состоянии называется в этом случае статическим.

При равновесии в нагруженном состоянии $F_{тяж}$ – сила тяжести уравновешивается $F_{упр.стат.}$ – силой упругости в условиях статического равновесия, в результате равнодействующая сила оказывается равной нулю:

$$F_{равн.стат.} = F_{тяж} - F_{упр.стат.} = mg - k\,\Delta l = 0, \qquad /22.1/$$

где k – коэффициент упругости или жесткость пружины.

При смещении груза из положения равновесия на величину x (рис. 22.2) баланс сил тяжести и упругости нарушается, kx – приращение силы упругости - определит величину равнодействующей силы в направлении оси OX:

$$F_{равн} = F_{тяж} - F_{упр} = mg - k(\Delta l + x) = -kx \qquad /22.2/$$

Согласно второму закону Ньютона, уравнение динамики движения груза будет иметь вид:

$$ma = -kx \quad \text{или} \quad a + \omega^2 x = 0, \qquad /22.3/$$

где

$$\omega^2 = \frac{k}{m}. \qquad /22.4/$$

Уравнение кинематики, x(t), т.е. решение уравнения /22.3/ для свободных незатухающих колебаний имеет вид:

$$x = A\sin(\omega t + \varphi_O), \qquad /22.5/$$

где A – амплитуда гармонического колебания (максимальное смещение груза от положения равновесия); φ_0 – начальная фаза колебаний, характеризующая смещение колеблющегося груза от положения равновесия в начальный момент времени x(t=0) (в нашем случае $\varphi_0 = 0$); ω – собственная циклическая частота колебаний, связанная с периодом T и частотой ν соотношениями:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu\ ; \qquad /22.5/$$

Необходимо учитывать, что колебания маятника будут гармоническими при достаточно малых отклонениях x.

Из соотношения /22.4/ очевидно, что период упругих колебаний равен:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}, \qquad /22.6/$$

Этому выражению можно придать другой, более удобный для расчетов вид, если величину k найти из соотношения /22.1/. Тогда выражение для периода T примет вид:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\Delta l}{g}}, \qquad /22.7/$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подвесьте к пружине груз. Оттянув груз на 0.01...0.02 м, отпустите его, предоставив возможность совершать колебания. Измерьте время n =30 колебаний. Данные занесите в таблицу результатов наблюдений. Измерения для одного и того же груза повторите три раза и по среднему значению времени определите экспериментальный период колебаний по формуле:

$$T = \frac{t_{cp}}{n} \qquad /22.8/$$

Данные занесите в таблицу.

2. Увеличивая массу груза определять период колебаний согласно предыдущему пункту.

3. Измерьте при каждой нагрузке удлинение пружины Δl , взяв за начало отсчета положение визира пружины без нагрузки. Данные занесите в таблицу результатов наблюдений.

4. Рассчитайте теоретическое значения периода колебаний по формуле /22.7/. Результаты занесите в таблицу.

5. Для каждого опыта рассчитайте относительное отклонение экспериментального результата от теоретического, используя выражение:

$$\varepsilon_n = \frac{\left|T_{\text{эксп}} - T_{\text{теор}}\right|}{\mathrm{T}_{\text{эксп}}} * 100\% . \qquad /22.9/$$

6. Найдите среднее относительное отклонение $\delta T_{ср}$ используя выражение:

$$\varepsilon_{\text{ср}} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \ldots + \varepsilon_n}{n} . \qquad /22.10/$$

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

m, кг	$\Delta l \cdot 10^{-3}$ м	n	t, с				$T_{эксп}$, с	$T_{теор}$, с	ε_n
			1	2	3	Ср			

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое движение называются периодическим?
2. Какое движение называется колебательным (колебанием)?
3. Что такое - гармоническое колебательное движение? Запишите уравнения кинематики и динамики гармонически колеблющегося тела?
4. Что называется периодом, частотой, фазой, амплитудой колебаний? В каких единицах измеряются эти величины?
5. Какому условию должна удовлетворять возвращающая сила, чтобы колебания, совершаемые под действием этой силы, были гармоническими. Приведите примеры таких сил.
6. Что такое коэффициент жесткости пружины? В каких единицах измеряется коэффициент жесткости пружины?
7. От каких параметров зависит коэффициент жесткости пружины?

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 20014. – 446 с. §14.4
2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 11 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев,– 9-е изд. – М.: Просвещение, 2002. - §18-23.
3. Генденштейн Л.Э., Дик Ю.И. Физика 10 кл.: Учебник базового уровня для общеобразовательных учебных заведений. – 2-е изд.- М.: Илекса, 2006. - §3, 9.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 23-СПО
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Цель работы: определение ускорения силы тяжести.

Приборы и принадлежности: шарик, подвешенный на нити, прямоугольный треугольник, вертикальная масштабная линейка, секундомер.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Галилей экспериментально показал, что в данной точке вблизи поверхности Земли в вакууме все тела, независимо от их формы, размеров и массы, в отсутствие опоры или подвеса двигаются с постоянным ускорением $g = 9{,}81$ м·с$^{-2}$. Такое движение называется свободным падением.

Справедливость этого вывода вытекает из двух законов: 1.установленного Ньютоном второго закона динамики поступательного движения:

$$a = \frac{F}{m}, \qquad /23.1/$$

где a – ускорение тела; m - его масса; F – равнодействующая всех сил, действующих на тело, и 1. закона всемирного тяготения вблизи поверхности Земли:

$$F_T = G\frac{M_3 m}{R_3^2}, \qquad /23.2/$$

где F_T - сила тяготения; G - гравитационная постоянная; M_3 - масса Земного шара; R_3 - средний радиус Земного шара.

В этом случае ускорение свободного падения равно:

$$a = g = G\frac{M_3}{R_3^2}. \qquad /23.3/$$

Используя табличные данные:

$G = 6{,}672\cdot10^{-11}$ м^3/(кг с^2), $M_3 = 5,\,975\cdot10^{24}$ кг и $R_3 = 6{,}371\cdot10^6$ м

можно рассчитать среднее значение g теоретически.

В предложенном выводе не учитывается влияние вращения Земли вокруг собственной оси, широты места, высоты над уровнем Земли, несферической формы Земли, неоднородного распределения вещества по плотности в ней, что на практике приводит к разным значениям g в различных точках поверхности Земли. Реальное среднее значение ускорения для 47^o широты g = 9,807 м с$^{-2}$.

Если тело находится на небольшой высоте h над поверхностью Земли то формула /23.3/ принимает вид:

$$g = G\frac{M_3}{(R_3 + h)^2}, \qquad /23.4/$$

Ускорение свободного падения зависит от массы планеты, радиуса планеты, угловой скорости вращения планеты, широты места, высоты на которой находится тело над поверхностью планеты, плотности пород залегающих в коре планеты и магнитных свойств этих пород (примером зависимости от магнитных свойств породы может служить Курская магнитная аномалия).

Благодаря наличию гравитационного поля, Земля взаимодействует с данным телом с силой, которую мы называем – сила тяжести. Вес тела – это сила, с которой тело, вследствие своего притяжения к Земле, давит на опору или растягивает подвес. Вес тела зависит от того, с каким ускорением и в каком направлении движется тело.

Для экспериментального определения g может быть использован математический маятник - материальная точка, подвешенная на невесомой нерастяжимой нити. Его практической реализацией является шар небольших (по сравнению с длиной нити) размеров, $r << l$, где r – радиус шара, масса которого значительно больше массы нити, на которой он подвешен.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}. \qquad /23.5/$$

Измеряя период T и длину нити l можно определить ускорение свободного падения.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Установите треугольник одним из катетов напротив одной из меток на вертикальной масштабной линейке и, совместив нижний край шара маятника с торцом линейки, определите длину маятника.
2. Измерьте время нескольких колебаний (n = 30). Величину времени занесите в таблицу результатов наблюдений. По формуле /23.6/ определите период колебаний:

$$T = \frac{t}{n}. \qquad /23.6/$$

3. Измените длину маятника l, и определите период колебаний в этом положении согласно пунктам 1 - 2. Опыт по п. 1 - 2 проделать для 5-6 положений. Данные занесите в таблицу результатов наблюдений.
4. Постройте график зависимости $T^2 = f(x)$.
5. Используя координаты двух (ℓ_1, T_1^2) и (ℓ_2, T_2^2) точек на графике $T^2 = f(x)$ определите g по формуле /23.7/:

$$g = 4\pi^2 \frac{l_2 - l_1}{T_2^2 - T_1^2}, \qquad /23.7/$$

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

l, м	n	t, с	T, с	T^2, $с^2$	g, $м/с^2$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой вид движения называется свободным падением?
2. От каких факторов зависит ускорение свободного падения?

3. Что такое сила тяготения, сила тяжести и вес тела?
4. Как и почему изменяется ускорение свободного падения с изменением высоты над поверхностью Земли?
5. Как и почему изменяется ускорение силы тяжести с изменением географической широты?
6. Что такое математический маятник?
7. Почему угол отклонения маятника должен быть малым?
8. Запишите формулу для определения периода колебаний математического маятника.
9. .Как теоретически вычислить значение g?
10.Может ли существовать планета, у которой ускорение свободного падения на поверхности равно нулю? Ответ обоснуйте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 20014. – 446 с. §2.9, 14.4.
2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 10 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский. – 14-е изд. – М.: Просвещение, 2005. - § 32.
3. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 11 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев,– 9-е изд. – М.: Просвещение, 2002. - §20.
4. Генденштейн Л.Э., Дик Ю.И. Физика 10 кл.: Учебник базового уровня для общеобразовательных учебных заведений. – 2-е изд.- М.: Илекса, 2006. - §11,13.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 24-СПО
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ МЕТОДОМ КОЛЕБАНИЙ

Цель работы: определение ускорения силы тяжести и расчет погрешности измерений.

Приборы и принадлежности: шар, подвешенный на нити, прямоугольный треугольник, вертикальная масштабная линейка, секундомер, установка «математический маятник».

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Галилей экспериментально показал, что вблизи поверхности Земли в вакууме все тела, независимо от их формы, размеров и массы, в отсутствие опоры или подвеса двигаются с постоянным ускорением $g = 9{,}81$ м·с$^{-2}$. Такое движение называется свободным падением.

Справедливость этого вывода вытекает из двух законов: 1. установленного Ньютоном второго закона динамики поступательного движения:

$$a = \frac{F}{m}, \qquad /24.1/$$

где a – ускорение тела; m - его масса; F – равнодействующая всех сил, действующих на тело, и 2. закона всемирного тяготения для тела вблизи поверхности Земли:

$$F_T = G\frac{M_3 m}{R_3^2}, \qquad /24.2/$$

где F_T - сила тяготения; G - гравитационная постоянная; M_3 - масса Земного шара; R_3 - средний радиус Земного шара.

В этом случае ускорение свободного падения

$$a = g = G\frac{M_3}{R_3^2}. \qquad /24.3/$$

Используя табличные данные:

$G = 6{,}672\cdot10^{-11}$ м^3/(кг с^2), $M_3 = 5,\,975\cdot10^{24}$ кг и $R_3 = 6{,}371\cdot10^6$ м

можно рассчитать среднее значение g теоретически.

В предложенном выводе не учитывается влияние вращения Земли вокруг собственной оси, высоты над уровнем Земли, несферической формы Земли, неоднородного распределения вещества по плотности в ней, что на практике приводит к разным значениям g в различных точках поверхности Земли. В результате среднее значение ускорения свободного падения на широте 47^o равно g=9,807 м с$^{-2}$.

Если тело находится над поверхностью Земли на высотах порядка радиуса Земли то формула /24.3/ принимает вид:

$$g = G\frac{M_3}{(R_3 + h)^2}, \qquad /24.4/$$

где h – высота, на которой находится тело над поверхностью Земли.

Ускорение свободного падения зависит от массы планеты, широты места, угловой скорости вращения планеты, радиуса планеты, высоты на которой находится тело над поверхностью планеты, плотности пород залегающих в коре планеты и магнитных свойств этих пород (примером зависимости от магнитных свойств породы может служить Курская магнитная аномалия).

Благодаря наличию гравитационного поля, Земля притягивает к себе различные тела с силой, которую мы называем – сила тяжести. Вес тела – это сила, с которой тело, вследствие своего притяжения к Земле, давит на опору или растягивает подвес. Вес тела зависит от того, с каким ускорением и в каком направлении движется тело.

Для экспериментального определения g может быть использован математический маятник - материальная точка, подвешенная на невесомой нерастяжимой нити. Его практической реализацией является шар небольших (по сравнению с длиной нити) размеров, $r << l$, где r – радиус шара, масса которого значительно больше массы нити, на которой он подвешен.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}. \qquad /24.5/$$

Измеряя период T и длину нити l можно определить ускорение свободного падения.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Установите треугольник одним из катетов напротив одной из меток на вертикальной масштабной линейке и, совместив нижний край шара маятника с этим катетом, определите длину маятника.
2. Измерьте время $n = 50$ колебаний. Величину времени занесите в таблицу результатов наблюдений. По формуле /24.5/ вычислите период колебаний:

$$T = \frac{t}{n}. \qquad /24.6/$$

3. Измените длину маятника и определите период колебаний в этом положении согласно предыдущему пункту. Опыт по п. 1 - 2 проделайте для 5-6 положений, и результаты занесите в таблицу результатов наблюдений.
4. Рассчитайте величину ускорения свободного падения по формуле

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}. \qquad /24.7/$$

5. Рассчитайте средние абсолютную и относительную погрешности измерения ускорения свободного падения по формулам /24.8/ и /24.9/

$$\Delta g_{cp} = t_{\alpha,n}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\Delta g_i)^2}{n(n-1)}}. \qquad /24.8/ \quad \text{и} \quad \varepsilon_з = \frac{\Delta g_з}{g_{зср}} \qquad /24.9/$$

Значение надежности выберите α=0.95 или по заданию преподавателя.
α= , $t_{\alpha,n}$= . Результаты запишите в таблицу результатов наблюдений.
6. Запишите результат в виде: $g = g_{ср} \pm \Delta g_{ср}$, ε_g = %

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

l, м	n	t,c	T, c	T^2, c^2	g, м/c^2	Δg , м/c^2	Δg^2, $м^2/с^4$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой вид движения называется свободным падением?
2. От каких факторов зависит ускорение свободного падения?
3. Что такое сила тяготения, сила тяжести и вес тела?
4. Как и почему изменяется ускорение свободного падения с изменением высоты над поверхностью Земли?
5. Как и почему изменяется ускорение силы тяжести с изменением географической широты?
6. Что такое математический маятник?
7. Почему угол отклонения маятника должен быть малым?

8. Запишите формулу для определения периода колебаний математического маятника.
9. .Как теоретически можно вычислить значение g?
10. Может ли существовать планета, у которой ускорение свободного падения на поверхности равно нулю? Ответ обоснуйте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 20014. – 446 с. §14.4.
2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 10 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский. – 14-е изд. – М.: Просвещение, 2005. - § 20.
3. Генденштейн Л.Э., Дик Ю.И. Физика 10 кл.: Учебник базового уровня для общеобразовательных учебных заведений. – 2-е изд.- М.: Илекса, 2006. - §11,13.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 25-СПО
ИЗУЧЕНИЕ СВОБОДНЫХ ЗАТУХАЮЩИХ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ.

Цель работы: исследование потерь энергии при затухающих колебаний вследствие сопротивления среды.

Приборы и принадлежности: маятник со сменными дисками различного радиуса, шкала с подвижным рейтером для измерения амплитуды колебаний, секундомер.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Свободные колебания груза, прикрепленного к пружине, или маятника являются гармоническими лишь в том случае, когда нет трения. Но силы трения или, точнее, силы сопротивления, хотя может и малые, всегда действуют на колеблющееся тело.

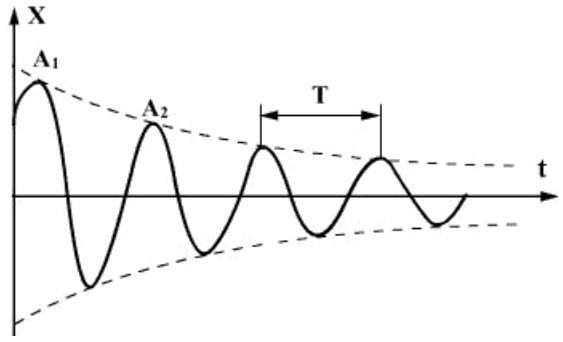


Рис. 25.1

Силы сопротивления совершают отрицательную работу и тем самым уменьшают механическую энергию колеблющейся системы. Поэтому с течением времени максимальные отклонения тела от положения равновесия (амплитуды) становятся все меньше. В конце концов, после того как запас механической энергии окажется исчерпанным, колебания прекратятся совсем.

Колебания при наличии сил сопротивления являются затухающими. График зависимости координаты тела от времени при затухающих колебаниях представлен на рисунке (25.1).

Уравнение динамики для свободных гармонических колебаний, совершаемых под действием упругих или квазиупругих внутренних сил системы, имеет вид:

$$m\bar{a} = \bar{F}_{упр}, \qquad /25.1/$$

$$m\omega^2 = -kx. \qquad /25.2/$$

где $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ - частота свободных колебаний системы; k - коэффициент жесткости пружины; m - масса системы.

Уравнения кинематики для гармонических колебаний:

$$x = A\sin(\omega t + \varphi_0); \qquad /25.3/$$

$$x = A\cos(\omega t + \varphi_0^i). \qquad /25.3а/$$

В реальной колебательной системе, помимо упругих сил, действуют силы сопротивления, на преодоление которых расходуется энергия колебательной системы:

$$W = \frac{m}{2}\omega^2 A^2. \qquad /25.4/$$

Поэтому энергия колебаний уменьшается, а с ней уменьшается и амплитуда колебаний, т.к. энергия колебательной системы пропорциональна квадрату амплитуды. Такие колебания называются затухающими.

Во многих случаях силы сопротивления, возникающие при движении колеблющейся точки в среде, при небольших скоростях движения υ, прямо пропорциональны величине скорости

$$F_{сопр} = -r\upsilon, \qquad /25.5/$$

где r - коэффициент сопротивления. При наличии сопротивления уравнение динамики для колебательного движения имеет вид:

$$m\bar{a} = \bar{F}_{сопр} + \bar{F}_{упр}, \qquad /25.6/$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Отклоните маятник из положения равновесия до 50-60 деления по шкале. Это отклонение соответствует начальной амплитуде A_0. Предоставьте маятнику возможность совершать колебания, измеряя 5...8 амплитуд колебаний. Для этого необходимо мелом отмечать на шкале деления, против которых останавливается маятник. Данные занесите в таблицу результатов измерений.

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

n	R_1, м		R_2, м		R_3, м	
	A, дел	ΔW_1	A, дел	ΔW_2	A, дел	ΔW_3
1						

2						
3						
4						
5						
6						
7						
t , c						
T, c						

2. Проделайте измерения по пункту (1), установив на маятник сменные диски различного радиуса.
3. Измерьте с помощью секундомера время 5….8 колебаний и рассчитайте период колебаний по формуле $T = \frac{t}{N}$. Убедитесь в том, что с увеличением диаметра диска (т.е. коэффициента затухания *r)* период колебаний маятника возрастает.
4. Постройте графики зависимости амплитуды от периода: A = f (T).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое колебательное движение?
2. Запишите уравнение динамики гармонических колебаний.
3. Что такое период, частота, фаза, амплитуда колебаний?
4. Запишите уравнение динамики затухающих колебаний.
5. Нарисуйте график изменения координаты колеблющегося тела от времени, при затухающих колебаниях.
6. Запишите формулу полной энергии гармонически колеблющегося тела.
7. Почему свободные колебания затухают?

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 20014. – 446 с. §14.6.
2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 11 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев,– 9-е изд. – М.: Просвещение, 2002. - § 24.
3. Генденштейн Л.Э., Дик Ю.И. Физика 10 кл.: Учебник базового уровня для общеобразовательных учебных заведений. – 2-е изд.- М.: Илекса, 2006. - §22.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 31-СПО
ПРОВЕРКА ЗАКОНА БОЙЛЯ – МАРИОТТА

Цель работы: изучение связи термодинамических величин при изотермическом процессе в идеальном газе.

Приборы и принадлежности: пластиковый сосуд, медицинский манометр, шприц с оцифрованной шкалой, зажимы, соединительные трубки, тройники.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

При небольших плотностях и средних температурах газы можно рассматривать как совокупность хаотически движущихся частиц малого размера (материальных точек), взаимодействующих при столкновениях как абсолютно-упругие шары и не взаимодействующих между столкновениями (потенциальной энергией взаимодействия молекул пренебрегаем). Такая модель молекулярной системы называется идеальным газом.

Термодинамические параметры: давление P, объем V и абсолютная температура T идеального газа в любом состоянии связаны между собой согласно уравнению Менделеева – Клапейрона:

$$PV = \frac{m}{M} RT, \qquad /31.1/$$

где m - масса газа, M - его молярная масса, R - универсальная газовая постоянная (R = 8,31695· Дж·К$^{-1}$·моль$^{-1}$).

Процессы, протекающие в газах при неизменном значении одного из параметров, называют изопроцессами. Процесс изменения состояния термодинамической системы при постоянной температуре называют изотермическим. Для поддержания температуры газа постоянной необходимо, чтобы он мог обмениваться теплотой с большой системой – термостатом. Иначе при сжатии или расширении температура газа будет меняться. Термостатом может служить атмосферный воздух, если его температура заметно не меняется на протяжении времени проведения эксперимента.

Закон Бойля – Мариотта: для данной массы газа при постоянной температуре произведение давления газа на его объем постоянно.

$$m = const\ ,\ \ T = const\ ,\ \ \ PV = const\ . \qquad /31.2/$$

Закон Бойля – Мариотта справедлив для любых газов и газовых смесей. Лишь при давлениях в сотни атмосфер отклонения от этого закона становятся существенными.

При расширении или сжатии газ совершает работу, что связано с изменением его внутренней энергии. Геометрически работа газа численно равна площади фигуры ограниченной графиком изменения давления P и осью объемов V.

Лабораторный набор «Исследование процессов в газах» Компании ЭДУСТРОНГ представляет собой пластиковый сосуд объемом 40 мл. соединенный длинной трубкой ПВХ (внутренний диаметр 4 мм. длина 25 см.) через тройники и короткие трубки ПВХ (внутренний диаметр 4 мм, длина 4 см) с медицинским манометром и шприцом.

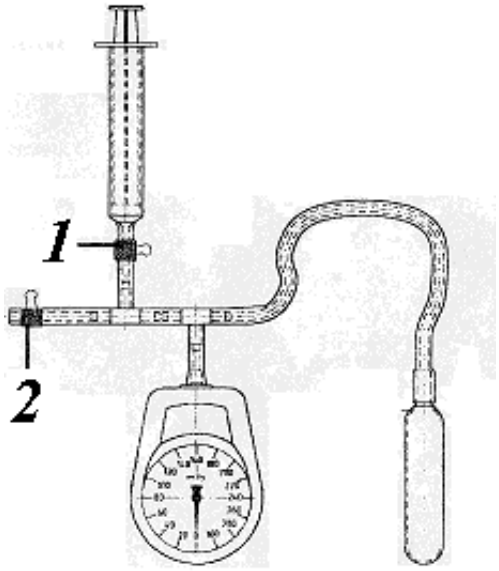


Рис. 31.1

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Снимите оба зажима, и выдвиньте поршень шприца до отметки 10 мл., что соответствует общему начальному объему $V_{0=}$ 55 мл.

1. Определите атмосферное давление P_0 по барометру- анероиду.
2. Поставьте зажим (2) и, медленно вдвигая поршень, уменьшайте объем системы с интервалом 2 мл. Фиксируйте изменение давления с помощью манометра, занося данные измерений в таблицу результатов наблюдений. Поршень необходимо придерживать в каждом положении.
3. Вычислите значения P_n и V_n по формулам:

$$V_n = V_0 - \Delta V_n;$$

$$P_n = P_0 + \Delta P_n. \qquad /31.3/$$

При вычислениях учитывайте, что 1мм.рт.ст. – 133,3 Па. Результаты занесите в таблицу результатов наблюдений.

4. Проверьте, выполняется ли соотношение:

$$P_1V_1 = P_2V_2 = ... = P_nV_n \qquad /31.4/$$

выражающее закон Бойля-Мариотта.

5. Постройте график изотермического процесса в координатах: P = f (V).
6. Вычислите относительную погрешность измерений по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\Delta P}{P_{n\,cp}} + \frac{\Delta V}{V_{n\,cp}} \qquad /31.5/$$

где ΔP = 1 мм.рт.ст.= 133,3 Па , $\Delta V = 1 \cdot 10^{-6}\, м^3$ - абсолютные погрешности измерения давления и объема.

7. Вычислите абсолютную погрешность измерения произведения давления на объем по формуле:

$$\Delta(PV) = (P_nV_n)_{cp} \cdot \varepsilon \qquad /31.6/$$

8. Запишите окончательный результат в виде:

$$PV = (P_nV_n)_{cp} \pm \Delta(PV); \quad \varepsilon = ...\%$$

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

ΔV_n, 10^{-6} м^3	V_n, 10^{-6} м^3	ΔP_n, Па	P_n, Па	P_nV_n,

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое идеальный газ? Какие предположения делаются при введении такой модели описания газа?
2. Запишите уравнение Менделеева-Клапейрона состояния идеального газа.
3. Дайте определение изотермического процесса и запишите закон Бойля - Мариотта.
4. Нарисуйте график изотермического процесса в координатах PV, PT, VT.
5. По шкале Цельсия температура газа равна 123^0C. Чему равна температура этого газа по шкале Кельвина?
6. Температура газа изменилась на 45^0C, каково изменение температуры газа по шкале Кельвина?

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 2014. – 446 с.§4.7, 4.8, 4.10
1. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 10 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский. – 14-е изд. – М.: Просвещение, 2005. - § 70, 71.
1. Генденштейн Л.Э., Дик Ю.И. Физика 10 кл.: Учебник базового уровня для общеобразовательных учебных заведений. – 2-е изд.- М.: Илекса, 2006. - § 24, 27.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 32-СПО
ПРОВЕРКА УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА

Цель работы: на основании уравнения теплового баланса определить теплоемкость термометра.

Приборы и принадлежности: калориметр, нагреватель, термометр, весы, тела различной массы из различных материалов.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Процесс передачи энергии от одного тела к другому без совершения работы называют теплопередачей.

Количество теплоты, которое необходимо передать телу для его нагревания, определяется по формуле:

$$Q = cm(T_0 - T_1), \qquad /32.1/$$

где c - удельная теплоемкость – это количество теплоты, которое получает или отдает 1кг вещества при изменении его температуры на 1К. Размерность удельной теплоемкости - $\left[\frac{Дж}{кг \cdot К}\right]$. Удельная теплоемкость зависит от химического состава и структуры материала.

Теплоемкость тела (C) – это количество теплоты, которое получает или отдает тело при изменении его температуры на 1К. Размерность удельной тепло-

емкости - $\left[\frac{Дж}{К}\right]$. Если тело выполнено из однородного материала, то теплоемкость тела равна произведению удельной теплоемкости тела на его массу

$$C = cm \qquad /32.2/$$

Рассмотрим теплообмен внутри системы, состоящей из нескольких тел, при различных температурах. Если система изолированная, то энергия такой системы остается постоянной, а следовательно остается постоянным количество теплоты в системе.

Уравнение, описывающее обмен теплом между телами до наступления теплового равновесия, называют уравнение теплового баланса:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \cdots + Q_n = 0 \qquad /32.3/$$

Теплоемкость термометра можно рассчитать с помощью уравнения теплового баланса

$$Q_K + Q_B + Q_T + Q_{TM} = 0, \qquad /32.4/$$

где $Q_к$ - количество теплоты полученное калориметром, $Q_в$ – количество теплоты полученное водой, $Q_т$ – количество теплоты отданное нагретым телом, $Q_{ТМ}$ – количество теплоты полученное термометром. При остывании тела, его конечная температура T_2 оказывается меньше начальной температуры T_1 и количество теплоты, отдаваемое телом, отрицательное.

С учетом формул /32.1/ и /32.2/ уравнение /32.4/ приобретает вид:

$$c_K m_K (T_0 - T_1) + c_B m_B (T_0 - T_1) + c_T m_T (T_0 - T_2) + C_{TM} (T_0 - T_1) = 0., \qquad /32.5/$$

где T_1 – начальная температура воды и калориметра, T_2 - начальная температура тела, T_0 – установившаяся температура системы, C_{TM} - теплоемкость термометра. Откуда:

$$C_{TM} = \frac{c_T m_T (T_0 - T_2) + c_K m_K (T_0 - T_1) + c_B m_B (T_{0_1} - T_1)}{T_1 - T_0}. \qquad /32.6/$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Запишите в таблицу результатов наблюдений значения теплоемкостей воды, материала калориметра (алюминия) и материала тела из таблицы 1.
2. Определите массу испытуемого тела взвешиванием на весах (может быть указана преподавателем) и занесите ее в таблицу результатов наблюдений.
3. Определите массу калориметра $m_к$ взвешиванием на весах (может быть указана на калориметре) и массу налитой в него воды $m_в$ путем измерения ее объема мерным цилиндром (масса воды в граммах равна объему в $см^3$). Занести эти величины в таблицу результатов наблюдений.

ТАБЛИЦА 2

УДЕЛЬНЫЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ ВЕЩЕСТВ

Вещество	Алюминий	Вода	Латунь	Медь	Сталь	Бронза
С, 10^3 Джкг$^{-1}$К$^{-1}$	0.896	4.187	0.387	0.390	0.467	0.377

4. Поместите испытуемое тело в стакан с водой и включите нагреватель. После того, как вода закипит, выдержите тело в ней ≈3 мин. до достижения теплового равновесия. Температуру T_2 определите по таблице 2, измерив давление воздуха барометром, и занесите ее в таблицу результатов наблюдений.

ТАБЛИЦА 3

ТЕМПЕРАТУРА КИПЕНИЯ ВОДЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ДАВЛЕНИЯХ

Р, мм. рт. ст.	740	745	750	755	760	765	770	780
Т, К	372.3	372.4	372.6	372.8	373.0	373.2	373.4	373.7

4. Поместите калориметр с водой в полиэтиленовый стакан, что сделает систему почти адиабатически изолированной. Измерьте термометром установившуюся через некоторое время (≈3 мин.) температуру воды в калориметре T_0, а следовательно и температуру калориметра, и занесите ее в таблицу результатов наблюдений. Калориметр держите вдали от нагревателя.

5. Поместите нагретое тело в калориметр, и после установления теплового равновесия (≈3 мин.) измерить температуру системы T_0. Данные занести в таблицу результатов наблюдений.

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Тело, материал	С, 10^{-3} Дж/(кг•К)	m, кг	T_1, К	T_2, К	T_0, К	$C_{ТМ}$, Дж/К
Калориметр						
Вода холодная						
Тело						
Термометр						

7. Рассчитать $C_{ТМ}$ по формуле /32.6/. Промежуточные вычисления округлять до четвертого знака после запятой.

8. Опыты по п.п.1-7 произвести с другими телами из различных материалов (по заданию преподавателя). В качестве тела может быть выбрана и кипящая вода. Ее масса может быть определена путем измерения объема горячей и холодной воды и вычитания объема последней после выполнения п.6.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1.Что называется теплопередачей?

2. Что такое теплоемкость? В каких единицах она измеряется?

3.Что называется удельной теплоемкостью? В каких единицах измеряется удельная теплоемкость?

4.От чего зависит удельная теплоемкость газа?

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 2014. – 446 с.§5.4

2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 10 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский. – 14-е изд. – М.: Просвещение, 2005. - §79.
3. Генденштейн Л.Э., Дик Ю.И. Физика 10 кл.: Учебник базового уровня для общеобразовательных учебных заведений. – 2-е изд.- М.: Илекса, 2006. - § 31.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 33-СПО
ПРОВЕРКА ЗАКОНА ГЕЙ – ЛЮССАКА

Цель работы: изучение связи термодинамических величин при изобарном процессе в идеальном газе.

Приборы и принадлежности: пластиковый сосуд, медицинский манометр, шприц с оцифрованной шкалой, зажимы, соединительные трубки, тройники.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

При небольших плотностях и средних температурах газы можно рассматривать как совокупность хаотически движущихся частиц малого размера (материальных точек), взаимодействующих при столкновениях как абсолютно-упругие шары и невзаимодействующих между столкновениями(потенциальной энергией взаимодействия молекул пренебрегаем). Такая модель молекулярной системы называется идеальным газом.

Термодинамические параметры: давление P, объем V и абсолютная температура T идеального газа в любом состоянии связаны между собой согласно уравнению Менделеева – Клапейрона

$$PV = \frac{m}{M}RT, \qquad /33.1/$$

где m - масса газа, M - его молярная масса, R - универсальная газовая постоянная (R = 8,31695·Дж·К$^{-1}$·моль$^{-1}$).

Процессы, протекающие в газах при неизменном значении одного из параметров, называют изопроцессами. Процесс изменения состояния термодинамической системы при постоянном давлении называют изобарным. Закон Гей – Люссака: для данной массы газа при постоянном давлении отношение объема газа к его абсолютной температуре остается постоянным.

$$m = const, \quad P = const, \quad \frac{V}{T} = const. \qquad /33.2/$$

Закон Гей - Люссака справедлив для любых газов и газовых смесей при не очень больших давлениях. Для температур, при которых газы превращаются в жидкость, данный закон не применяется т.к. данная теория справедлива только для идеального газа.

Работа газа при изобарном процессе может быть вычислена по формуле:

$$A = P \cdot (V_2 - V_1) = P\Delta V. \qquad /33.3/$$

При сжатии газа, когда $\Delta V<0$, работа газа отрицательна (положительную

работу совершают внешние силы), когда ΔV>0, газ расширяется и совершает положительную работу.

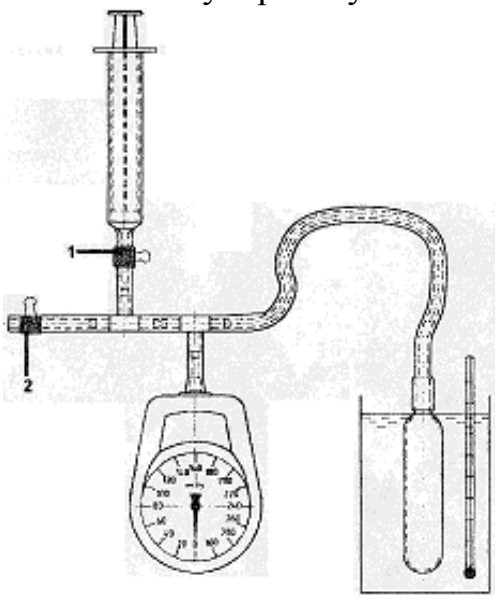


Рис. 33.1

Лабораторный набор «Исследование процессов в газах» Компании ЭДУСТРОНГ (рис. 33.1) представляет собой пластиковый сосуд объемом 40 мл. соединенный длинной трубкой ПВХ (внутренний диаметр 4 мм. длина 25 см.) через тройники и короткие трубки ПВХ (внутренний диаметр 4 мм, длина 4 см) с медицинским манометром и шприцом.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Для получения первого состояния при комнатной температуре снимите оба зажима и выдвиньте поршень шприца до отметки 2 мл., что соответствует общему начальному объему V_0= 47 мл.
2. Определите атмосферное давление P_0 по барометру-анероиду.
3. Залейте в химический стакан воду, температуру которой измерьте термометром.
4. Поставьте зажим (2) и опустив сосуд в стакан с горячей водой, подождите 1мин. Выдвигая поршень, увеличьте объем воздуха в системе до тех пор, пока стрелка манометра снова не вернется к нулевой отметке. Изменение объема занесите в таблицу. Поршень необходимо придерживать в каждом положении.
5. С помощью нагревателя измените температуру воды. Проведите измерения по п.4. повторив 5 – 8 раз при разных температурах. Полученные результаты занесите в таблицу.
6. Вычислите значение V_n по формуле:

$$V_n = V_0 + \Delta V_n \qquad /33.4/$$

Результаты занесите в таблицу.
7. По формуле:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \cdots = \frac{V_n}{T_n} \qquad /33.5/$$

проверьте выполнение закона Гей - Люссака.
8.По формуле /33.3/ вычислите работу газа в каждом опыте, результаты вычислений занесите в таблицу.
9. Вычислить относительную погрешность измерений по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\Delta V}{V_{CP}} + \frac{\Delta T}{T_{CP}}, \qquad /33.6/$$

где $\Delta V = 1 \cdot 10^{-6} м^3$, ΔT = (половина минимального деления шкалы термометра) - погрешности измерения объема и температуры.
10. Вычислите абсолютную погрешность измерений по формуле:

$$\Delta\left(\frac{V}{T}\right) = \frac{V_{ср}}{T_{ср}} \cdot \varepsilon \qquad /33.7/$$

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

T_n, К	$\Delta V_n\ 10^{-6}$, м^3	$V_n\ 10^{-6}$, м^3	V_n / T_n	A_n, Дж

11. Запишите окончательный результат в виде:

$$\frac{V}{T} = \frac{V_{ср}}{T_{ср}} \pm \Delta\left(\frac{V}{T}\right); \quad \varepsilon = ...\%$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1.Что такое идеальный газ? Какие предположения делаются при введении такой модели описания газа?

2.Запишите уравнение Менделеева-Клапейрона состояния идеального газа.

3.Нарисуйте график изобарного процесса в координатах PV, PT, VT.

4.Дайте определение изобарного процесса и запишите закон Гей - Люссака.

5. Температура газа -23^{0}С, чему равна температура этого газа по шкале Кельвина?

6. Температура газа изменилась на 100^{0}С, каково изменение температуры газа по шкале Кельвина?

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф.Дмитриева. –М., И.Ц.Академия, 2014. – 446 с.§4.7, 4.8, 4.10

2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 10 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский. – 14-е изд. – М.: Просвещение, 2005. - § 70, 71.

3. Генденштейн Л.Э., Дик Ю.И. Физика 10 кл.: Учебник базового уровня для общеобразовательных учебных заведений. – 2-е изд.- М.: Илекса, 2006. - §24, 27.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 34-СПО
ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ВОДЫ ОТ ПОВЕРХНОСТНО АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Цель работы: изучение влияния поверхностно активных веществ на коэффициент поверхностного натяжения воды.

Приборы и принадлежности: цилиндр с делениями и краном (бюретка), мензурки, стакан для сбора воды, колбы с водой, жидкое ПАВ, электронные весы.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Силы взаимодействия между молекулами быстро убывают с увеличением расстояния между ними. Поэтому можно считать, что молекулы взаимодействуют только с ближайшими соседями.

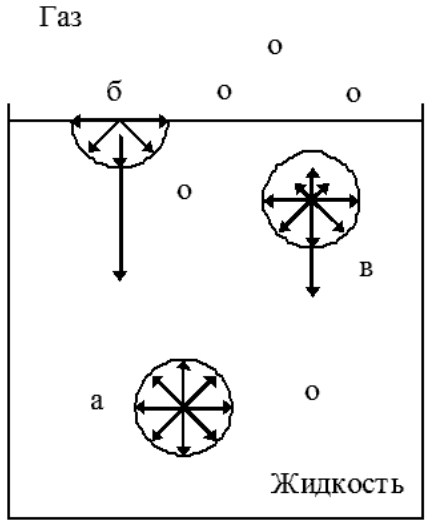


Рис. 34.1

Рассмотрим жидкость, имеющую свободную поверхность (границу раздела фаз жидкость - газ). Молекулы, находящиеся внутри жидкости, окружены соседними со всех сторон симметрично (рис.34.1а). Молекулы, находящиеся в слое толщиной h≈3R вблизи границы раздела фаз жидкость - газ, окружены соседними несимметрично, и на них действуют не скомпенсированные силы, направленные внутрь жидкости (рис.34.1б, в).

Перемещение молекулы в поверхностный слой из глубины жидкости будет сопровождаться совершением работы, величина и знак которой зависят от соотношения сил взаимодействия молекулы соседнего слоя с молекулами «своей» и «чужой» среды. В случае границы раздела «жидкость – газ» эта работа отрицательна, т.к. может совершаться только внешними силами. При этом поверхность будет увеличиваться

$$\Delta A = -\sigma \Delta S . \qquad /34.1/$$

Здесь σ - коэффициент поверхностного натяжения, ΔA=ΔW - работа, необходимая для изотермического увеличения поверхности жидкости на единицу площади или, что тоже самое, свободная энергия единицы поверхности жидкости.

Следовательно, поверхность жидкости обладает избыточной по сравнению с остальной массой жидкости свободной (потенциальной) энергией. Стремясь к минимуму энергии, система, предоставленная самой себе, будет уменьшать свою поверхность до минимально возможной величины (сокращать поверхность). Это означает, что существуют направленные по касательной к поверхности силы поверхностного натяжения $F_н$, стремящиеся сократить (уменьшить) поверхность жидкости, причем

$$\sigma = \frac{\Delta F_.}{\Delta l}, \qquad /34.2/$$

где Δl - длина контура, ограничивающего жидкость. Сила $\Delta F_Н$ перпендикулярна Δl. Отсюда вытекает второе определение коэффициента поверхностного натяжения: он равен силе, действующей по касательной к поверхности жидкости по нормали к контуру, ограничивающему жидкость, приходящейся на единицу длины контура. Следует заметить, что силы поверхностного натяжения не изменяют своего значения по мере уменьшения площади свободной поверхности жидкости.

При медленном вытекании жидкости из узкой трубы капля отрывается в тот момент, когда сила тяжести и сила поверхностного натяжения равны:

$$F_т = F_н. \qquad /34.3/$$

Сила тяжести равна:

$$F_T = m_0 g\,, \qquad /34.4/$$

где m_0 – масса одной капли, g - ускорение свободного падения.

Сила поверхностного натяжения $F_н$ приложена перпендикулярно контуру поперечного сечения шейки капли в момент отрыва (рис.34.2).

$$F_{,H} = \sigma \pi d\,, \qquad /34.5/$$

где d – внутренний диаметр трубы (бюретки).

Приравнивая /34.4/ и /34.5/, получаем формулу для вычисления коэффициента поверхностного натяжения:

$$m_0 g = \sigma \pi d\,; \text{ где } \quad m_0 = \frac{M}{N}\,; \qquad /34.6/$$

где M – масса N капель. Окончательно получаем:

$$\sigma = \frac{Mg}{N\pi d} \qquad /34.6/$$

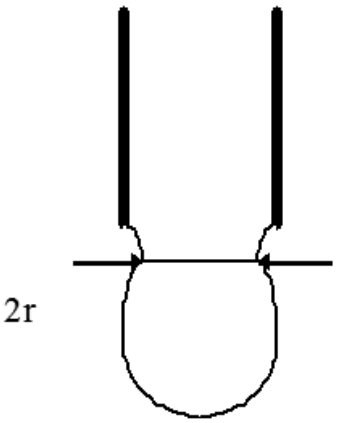


Рис. 34.2

При увеличении температуры коэффициент поверхностного натяжения уменьшается вследствие уменьшения сил межмолекулярного взаимодействия. Коэффициент поверхностного натяжения уменьшается и при добавлении поверхностно активных веществ, например моющих средств. Уменьшают коэффициент поверхностного натяжения также спирты, эфиры, нефть и др. Существуют вещества (сахар, соль), которые увеличивают поверхностное натяжение жидкости благодаря тому, что их молекулы взаимодействуют с молекулами жидкости сильнее, чем молекулы жидкости между собой.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Промойте воронку и бюретку небольшим количеством воды. Использованную воду вылейте.
2. Измерьте штангенциркулем внутренний диаметр бюретки d.
3. Воду, подготовленную для эксперимента, разделите на две части, в одной из которых размешайте ПАВ. Определите массу пустой мензурки на электронных весах.
4. Под кран бюретки поставьте стакан для сбора воды. Медленно открывая кран, добейтесь раздельного падения капель с частотой, удобной для счета (ν = 0,5 ... 1,0 с).
5. Накапайте в пустую мензурку 100 – 200 капель испытуемой жидкости, определите массу мензурки с жидкостью на весах. Определите массу жидкости, находящейся в мензурке.

6. Опыт по п. 5 повторите 5...6 раз. При этом доливайте жидкость (воду) в бюретку после каждого опыта. Между опытами кран бюретки не перекрывайте. Массы воды занесите в таблицу результатов наблюдений.
7. Вычислите среднее значение массы и числа капель по результатам опытов.
8. Вычислите по формуле /34.6/ коэффициент поверхностного натяжения воды, используя среднее значение массы M и числа капель N.

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

№	N	Вода без примесей		Вода с ПАВ	
		M, 10^{-3} кг	$M_{ср}$, 10^{-3} кг	$M_{пав}$, 10^{-3} кг	$M_{пав.ср}$, 10^{-3} кг

9. Повторите измерения по пунктам 1 - 8 порядка выполнения работы для жидкости с добавлением ПАВ.
10. Сравните полученные значения коэффициентов поверхностного натяжения.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается явление поверхностного натяжения?
2. Каков молекулярный механизм поверхностного натяжения?
3. Что такое коэффициент поверхностного натяжения? В каких единицах он измеряется? От чего он зависит?
4. Как и почему изменяется коэффициент поверхностного натяжения при увеличении температуры?
5. Чему равен коэффициент поверхностного натяжения идеального газа?
6. Как изменяется коэффициент поверхностного натяжения при добавлении мыла, соли?

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 2014. – 446 с.§7.1, 7.2.
2. Генденштейн Л.Э., Дик Ю.И. Физика 10 кл.: Учебник базового уровня для общеобразовательных учебных заведений. – 2-е изд.- М.: Илекса, 2006. - § 30.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 35-СПО
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ МЕТОДОМ СТОКСА

Цель работы: изучить явление поверхностного натяжения и определить коэффициент поверхностного натяжения дистиллированной воды.

Приборы и принадлежности: цилиндр с делениями и краном (бюретка), стакан, колбы с водой и испытываемой жидкостью.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Силы взаимодействия между молекулами быстро убывают с увеличением расстояния между ними. Поэтому можно считать, что молекулы взаимодействуют только с ближайшими соседями.

Рассмотрим жидкость, имеющую свободную поверхность (границу раздела фаз жидкость - газ). Молекула, находящаяся внутри жидкости, окружена соседними со всех сторон симметрично (рис.35.1а). Молекулы, находящиеся в слое толщиной h≈3R вблизи границы раздела фаз жидкость - газ, окружены соседними несимметрично, и на них действуют нескомпенсированные силы, направленные внутрь жидкости (рис.35.1б, в).

Перемещение молекулы в поверхностный слой из глубины жидкости будет сопровождаться совершением работы, величина и знак которой зависят от соотношения сил взаимодействия молекулы соседнего слоя с молекулами «своей» и «чужой» среды.

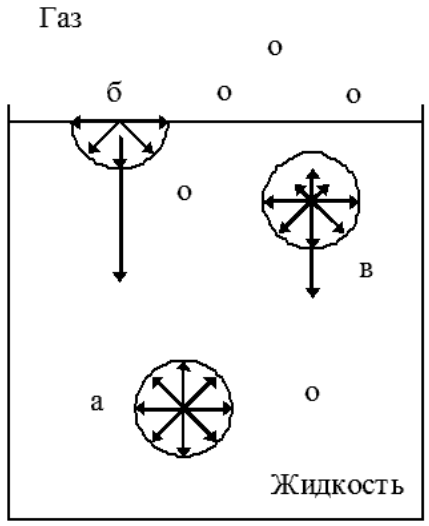


Рис. 35.1

В случае границы раздела жидкость - газ эта работа отрицательна, т.к. может совершаться только внешними силами. При этом поверхность будет увеличиваться

$$\Delta A = -\sigma \Delta S \,. \qquad /35.1/$$

Здесь σ - коэффициент поверхностного натяжения, ΔA=ΔW - работа, необходимая для изотермического увеличения поверхности жидкости на единицу площади или, что тоже самое, свободная энергия единицы поверхности жидкости.

Следовательно, поверхность жидкости обладает избыточной по сравнению с остальной массой жидкости свободной (потенциальной) энергией. Стремясь к минимуму энергии, система, предоставленная самой себе, будет уменьшать свою поверхность до минимально возможной величины (сокращать поверхность). Это означает, что существуют направленные по касательной к поверхности силы поверхностного натяжения $F_н$, стремящиеся сократить (уменьшить) поверхность жидкости, причем

$$\sigma = \frac{\Delta F_н}{\Delta l}, \qquad /35.2/$$

где Δl - длина контура, ограничивающего жидкость. Сила $\Delta F_Н$ перпендикулярна Δl. Отсюда вытекает второе определение коэффициента поверхностного натяжения: он равен силе, действующей по касательной к поверхности жидкости по нормали к контуру, ограничивающему жидкость, приходящейся на единицу длины контура (рис. 35.2).

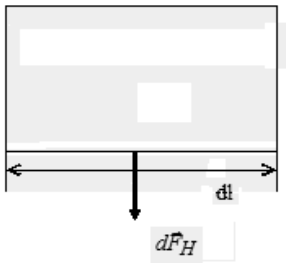


Рис. 35.2

При увеличении температуры коэффициент поверхностного натяжения уменьшается вследствие уменьшения сил межмолекулярного взаимодействия.

В работе коэффициент поверхностного натяжения определяется методом отрыва капель (методом Стокса). При медленном вытекании жидкости из узкой трубы капля отрывается в тот момент, когда сила тяжести и сила поверхностного натяжения равны:

$$F_т = F_н. \qquad /35.3/$$

Сила тяжести равна:

$$F_T = mg = \rho_{ж} V_0 g, \qquad /35.4/$$

где V_0 - объем капли, $\rho_ж$ - плотность жидкости, g - ускорение свободного падения.

Сила поверхностного натяжения $F_н$ приложена перпендикулярно контуру поперечного сечения шейки капли в момент отрыва (рис. 35.3).

$$F_H = \sigma \pi d, \qquad /35.5/$$

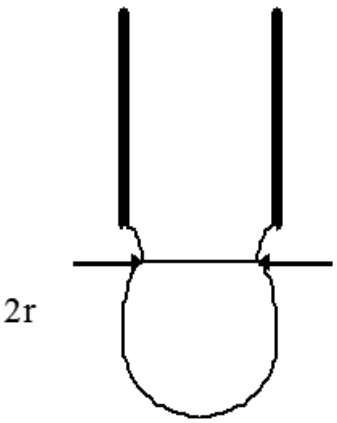


Рис. 35.3

где d – внутренний диаметр бюретки. Приравнивая /35.4/ и /35.5/, получаем формулу для вычисления коэффициента поверхностного натяжения:

$$\rho_{ж} V_0 g = \sigma \pi d \text{ ; где } \qquad V_0 = \frac{V}{N_в} \qquad /35.6/$$

- объем одной капли. Окончательно получаем:

$$\sigma = \frac{\rho_{ж} V g}{N_в \pi d} \qquad /35.7/$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Промойте воронку и бюретку небольшим количеством воды. Использованную воду вылейте.
2. С помощью штангенциркуля измерьте внутренний диаметр бюретки d.
3. Налейте в бюретку воду. Под кран бюретки поставьте стакан для сбора воды.
4. Медленно открывая кран, добейтесь раздельного падения капель с частотой, удобной для счета (ν = 0,5 ... 1,0 с).
5. Определите количество капель N_B, соответствующих вытеканию определенного постоянного во всех опытах количества жидкости ($V_i \sim 2 \cdot 10^{-6}$ м^3).
6. Опыт по п. 4 повторите 5...6 раз. При этом доливайте жидкость (воду) в бюретку после каждого опыта. Между опытами кран бюретки не перекрывайте. Количество капель N_B занесите в таблицу результатов наблюдений.

7. Вычислите среднее значение количества капель по результатам опытов.
8. Вычислите по формуле /35.7/ коэффициент поверхностного натяжения воды, используя данные таблицы 1 и среднее значение числа капель.

Таблица 4

Плотности воды $\rho_в$ при различных температурах

Т, К	277	283	288	293	298	303	308
$\rho_в$, 10^3 кг $м^3$	1,0000	0,99973		0,99823		0,99567	

9.Вычислите среднюю абсолютную погрешность и среднюю относительную погрешность по формулам /35.8/, /35.9/ соответственно:

$$\Delta N_{ср} = t_{\alpha n}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\Delta N_i^2}{n(n-1)}}, \qquad /35.8/$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta\sigma}{\sigma} = \sqrt{\left(\frac{\Delta N_{ср}}{N_{ср}}\right)^2} \qquad /35.9/$$

При этом погрешностями табличных значений можно пренебречь ввиду их малости. Значение надежности выбирается α=0,95 или по заданию преподавателя, а значение коэффициента $t_{\alpha n}$. выбирается по таблице, имеющейся в аудитории. Результат запишите в виде: $\sigma = \sigma \pm \Delta\sigma$ =.....±.....10^{-2} Н/м; ε = …%

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

n	N_B	ΔN_B	$\Delta N_B{}^2$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1.В чем заключается явление поверхностного натяжения?
2.Каков молекулярный механизм поверхностного натяжения?
3.Дайте определение коэффициента поверхностного натяжения? В каких единицах он измеряется? От чего он зависит?
4.Как изменяется коэффициент поверхностного натяжения при увеличении температуры?
5.Чему равен коэффициент поверхностного натяжения идеального газа?

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 2014. – 446 с.§7.1, 7.2.

2. Генденштейн Л.Э., Дик Ю.И. Физика 10 кл.: Учебник базового уровня для общеобразовательных учебных заведений. – 2-е изд.- М.: Илекса, 2006. - § 30.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 36-СПО
ПРОВЕРКА ЗАКОНА ШАРЛЯ

Цель работы: изучение связи термодинамических величин, при изохорном процессе в идеальном газе

Приборы и принадлежности: пластиковый сосуд, медицинский манометр, шприц с оцифрованной шкалой, зажимы, соединительные трубки, тройники.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Процесс изменения состояния термодинамической системы при постоянном объеме называют изохорным.

Закон Шарля: для данной массы газа при постоянном объеме отношение давления газа к его температуре постоянно.

$$m = const\ ,\quad V = const\ ,\quad \frac{P}{T} = const\ . \qquad /36.1/$$

Закон Шарля справедлив для любых газов и газовых смесей при не очень больших давлениях. Увеличение давления газа в любой емкости или в электрической лампочке при нагревании является изохорным процессом.

При расширении или сжатии газ совершает работу, что связано с изменением его внутренней энергии. При изохорном процессе объем газа не меняется, и говорить о расширении или сжатии нельзя, поэтому при изохорном процессе газ работу не совершает.

Лабораторный набор «Исследование процессов в газах» Компании ЭДУСТРОНГ представляет собой пластиковый сосуд объемом 40 мл. соединенный длинной трубкой ПВХ (внутренний диаметр 4 мм, длина 25 см.) через тройники и короткие трубки ПВХ (внутренний диаметр 4 мм, длина 4 см) с медицинским манометром и шприцом.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Для получения первого состояния при комнатной температуре, снимите оба зажима и шприц. Объем системы без шприца V_0 = 45 мл., воздух находится при комнатной температуре T_0 и атмосферном давлении.
2. Определите атмосферное давление по барометру анероиду P_0.
3. Залейте в химический стакан воду, температуру которой измерьте термометром.
4. Поставьте оба зажима на концы открытых трубок, шприц не устанавливайте т.к. объем должен оставаться постоянным, и, опустив сосуд в стакан с горячей водой, подождите 30 сек. Показания манометра занесите в таблицу результатов наблюдений.

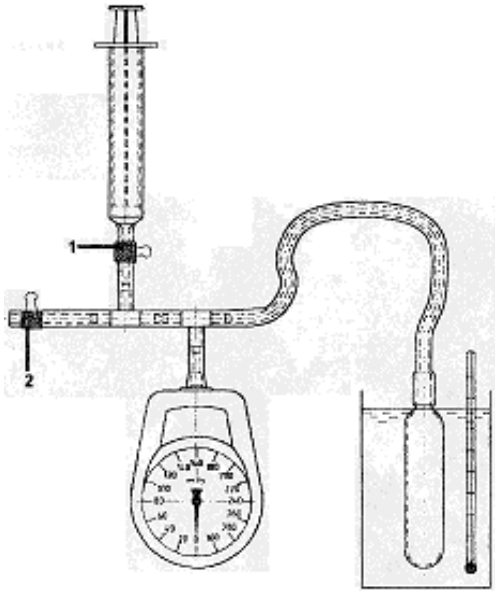


Рис. 36.1

5. С помощью нагревателя измените температуру воды. Проведите измерения по п. п. 3, 4 повторив 5 – 8 раз при разных температурах. Полученные результаты занесите в таблицу результатов наблюдений.

6. Вычислите значение P_n по формуле:

$$P_n = P_0 + \Delta P_n \qquad /36.2/$$

Результаты занесите в таблицу, переведя их в Па (1мм.рт.ст. – 133,3 Па).

7. По формуле:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \cdots = \frac{P_n}{T_n}. \qquad /36.3/$$

Проверьте выполнение закона Шарля.

8. Постройте график зависимости P = f (T).

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

T_n, К	ΔP_n, 10^5 Па	P_n, 10^5 Па	P_n / T_n

9. Вычислите относительную погрешность измерений по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\Delta P}{P_{ср}} + \frac{\Delta T}{T_{ср}}; \qquad /36.4/$$

где ΔP = 1 мм.рт.ст. ΔT = (половина минимального деления шкалы термометра) – абсолютные погрешности измерения давления и температуры.

10. Вычислите абсолютную погрешность измерений по формуле:

$$\Delta\left(\frac{P}{T}\right) = \frac{P_{ср}}{T_{ср}} \cdot \varepsilon \qquad /36.5/$$

11. Запишите окончательный результат в виде:

$$\frac{P}{T} = \frac{P_{ср}}{T_{ср}} \pm \Delta\left(\frac{P}{T}\right) = \qquad \pm \qquad ; \qquad \varepsilon = \ldots.\%$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое идеальный газ? Какие предположения делаются при введении такой модели описания газа?
2. Запишите уравнение Менделеева-Клапейрона состояния идеального газа.
3. Нарисуйте график изохорного процесса в координатах PV, PT, VT.
4. Дайте определение изохорного процесса и запишите закон Шарля.

5. Температура газа -200^{0}С, чему равна температура этого газа по шкале Кельвина?
6. Температура газа изменилась на 20^{0}С, каково изменение температуры газа по шкале Кельвина?

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 2014. – 446 с.§4.7, 4.8, 4.10;
2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 10 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский. – 14-е изд. – М.: Просвещение, 2005. - § 70, 71.
3. Генденштейн Л.Э., Дик Ю.И. Физика 10 кл.: Учебник базового уровня для общеобразовательных учебных заведений. – 2-е изд.- М.: Илекса, 2006. - §24, 27.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 37-СПО
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Цель работы: изучение явления теплового расширения твердого тела и определение коэффициента теплового расширения.

Приборы и принадлежности: испытуемые стержни из различных материалов (сталь, медь, латунь, алюминий, стекло), трубчатый нагреватель с кронштейном (дилатометр), индикатор малых перемещений (микрометрическая головка), пробирки с водой, штангенциркуль, термометр.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Газы, жидкости и твердые тела как фазы вещества обычно различают по их физическим свойствам. Различия этих свойств, кроме внешних условий и химического состава, обусловлены структурой вещества независимо от того, состоит оно из молекул, атомов или ионов. Фазовые состояния различают, прежде всего, по степени упорядоченности расположения структурных единиц вещества в пространстве.

В газе структурные единицы движутся полностью хаотично, что обусловлено большой величиной кинетической энергии структурных единиц по сравнению с потенциальной энергией их взаимодействия. В жидкости имеет место ближний порядок, когда на расстоянии порядка 1.....100 радиусов атомов (молекул, ионов) эти структурные единицы расположены упорядочено. При этом структурные единицы обладают большей потенциальной энергией притяжения друг к другу, чем кинетической энергией поступательного движения. По степени упорядочения структурных единиц к жидкостям примыкают аморфные тела (стёкла, полимеры), которые иногда ошибочно считают твердыми телами.

В твердых или кристаллических телах (реальных кристаллах) имеет место как ближний, так и дальний порядок, т.е. структурные единицы, расположенные упорядоченно в области размером 10^5.....10^7 межатомных расстояний. При

этом структурные единицы совершают колебательные движения вокруг упорядоченно расположенных положений равновесия.

Различные величины межатомных расстояний в различных направлениях обуславливают анизотропию - различие физических свойств кристаллов в различных направлениях. В поликристаллических твердых телах их физические свойства усреднены вследствие того, что кристаллографические направления отдельных зерен ориентированы в пространстве хаотически.

Длина твердого тела, складывающаяся из расстояний между молекулами,

$$L = nr_{CP} \qquad /37.1/$$

при нагревании изменяется. При фазовом переходе вследствие изменения структуры и межатомных расстояний длина твердого тела также изменяется. Поэтому измерения теплового расширения позволяют судить об изменении межатомных расстояний и структуры кристаллических тел.

У большинства веществ в температурной области существования одной фазы длина образца зависит от температуры линейно и обычно увеличивается

$$L = L_0 + L_0\alpha(T - T_0), \qquad /37.2/$$

где T_0 - некоторая начальная температура (комнатная или 273 К), $\alpha = \dfrac{\Delta L}{L_0 \Delta T}$ - коэффициент линейного расширения, равный относительному удлинению тела при нагревании на 1 К, L_0 - начальная длина тела, L- длина тела при температуре Т.

Коэффициент линейного расширения определяют с помощью дилатометров. Используемый в данной работе простейший дилатометр состоит из трубчатого нагревателя, в который помещается пробирка с водой и стержнем из испытуемого материала, и устанавливаемого на кронштейне индикатора малых перемещений (микрометрической головки).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Поместите испытуемый стержень в пробирку с водой на 3....5 мин. (до установления теплового равновесия), после чего измерьте начальную длину стержня L_0 штангенциркулем. Начальную температуру воды T_0 измерьте термометром.
2. Поместите пробирку с водой и стержнем в нагреватель. Приведите в контакт со стержнем микрометрическую головку, для чего оттяните шток индикатора вверх, установите индикатор над стержнем, повернув кронштейн, и опустите шток на конец стержня. Поверните шкалу индикатора до совмещения стрелки с нулевым делением, постукивая при этом по корпусу прибора.
3. Включите нагреватель и после закипания воды в пробирке и наступления теплового равновесия измерьте абсолютное удлинение $L\text{-}L_0=l$. При этом температура образца равна температуре кипения воды T_K=373 К. Данные занесите в таблицу результатов наблюдений.
4. Произведите измерения по пп.1-3 со стержнями из других материалов.
5. Рассчитайте значения коэффициента линейного расширения по формуле

$$\alpha = \frac{l}{L_0 (T_K - T_0)}. \qquad /37.3/$$

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Материал	$L_0, 10^{-2}$ м	$\Delta L_0, 10^{-2}$ м	$1, 10^{-5}$м	$\Delta 1, 10^{-5}$м	T_0,К	Т,К	ΔТ,К

6. Рассчитайте относительную погрешность измерения коэффициента линейного расширения по формуле:

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\Delta\alpha}{\alpha} = \sqrt{\left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \frac{\Delta T_R^2 + \Delta T_0^2}{T_K - T_0}}. \qquad /37.4/$$

Т.к. все измерения проводятся один раз, то за абсолютные погрешности измерения длины стержня, абсолютного удлинения стержня и температуры принимается половина цены деления соответствующего прибора:

$$\Delta L = 5\ 10^{-4}\ \text{м}, \quad \Delta l = 5\ 10^{-6}\ \text{м}, \quad \Delta T = 0.25\ \text{К}.$$

Абсолютную погрешность измерения коэффициента линейного расширения вычислите по формуле

$$\Delta\alpha = \varepsilon_\alpha \alpha. \qquad /37.5/$$

Результат выполнения лабораторной работы запишите в виде

$$\alpha = \alpha_{CP} \pm \Delta\alpha_{CP} = \quad \pm \quad ; \quad \varepsilon = \ldots.\%$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем состоит структурное различие между фазовыми состояниями веществ?
2. Какие свойства веществ обусловлены их фазовыми и структурными различиями.
3. Напишите формулу зависимости длины тела от температуры.
4. Дайте определение коэффициента линейного расширения тела. В каких единицах он измеряется?
5. От чего зависит коэффициент линейного расширения тела?

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 2014. – 446 с.§8.4.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 38-СПО

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КПД НАГРЕВАТЕЛЯ

Цель работы: определение коэффициента полезного действия электроприбора.

Приборы и материалы: Электрический чайник, мерный цилиндр, термометр, секундомер.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Коэффициент полезного действия (КПД) электроприбора равен отношению полезной энергии к затраченной

$$\eta = \frac{Q_П}{W_З} \qquad /38.1/$$

Полезная энергия равна количеству теплоты, затраченному на нагревание воды в чайнике

$$Q_П = mc(T_К - T_Н) \qquad /38.2/$$

где m – масса воды в чайнике, c – удельная теплоемкость воды, $T_К$, $T_Н$ - конечная и начальная температура воды.

Затраченная энергия может быть определена через мощность чайника P и время нагревания Δt

$$W_З = P\Delta t \qquad /38.3/$$

Откуда

$$\eta = \frac{mc(T_К - T_Н)}{P\Delta t} \qquad /38.4/$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. По паспортным данным определите электрическую мощность электрочайника Р.
2. С помощью мерного цилиндра налейте в чайник воду объёмом V ~ 1 л. Масса воды в килограммах будет численно равна объему в литрах. Теплоемкость воды возьмите из таблицы 13 в приложении. Занесите мощность, массу и теплоемкость в таблицу результатов наблюдений.
3. Измерьте с помощью термометра начальную температуру воды $T_Н$.
4. Включите чайник в электрическую сеть и нагрейте воду до кипения. Определите по таблице 14 температуру кипения воды $T_К$.
5. Определите промежуток времени нагревания воды Δt по секундомеру.
6. Повторите измерения по п.2-5 4-5 раз
7. Используя данные измерений, вычислите КПД электрочайника по формуле /38.4/.
8. Найдите среднее значение КПД электрочайника.

Таблица результатов наблюдений

Р, Вт	V, л	С, Дж/кг К	$T_Н$, °С	$T_К$, °С	Δt,с	η

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение КПД электроустановки.
2. Запишите формулу количества теплоты при нагревании.
3. Как рассчитать количество теплоты, выделяющегося в проводнике при протекании по нему тока, зная сопротивление этого проводника?
4. Почему спираль электрочайника изготавливают из проводника большой площади сечения?

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 2014. – 446 с.§3.4,5.4,;
2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 10 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский. – 14-е изд. – М.: Просвещение, 2005. - § 43, 76, 104.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 41-СПО.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА И БАТАРЕИ КОНДЕНСАТОРОВ

Цель работы: определение ёмкости конденсатора и батареи из двух конденсаторов при их параллельном и последовательном соединении.

Приборы и принадлежности: лабораторный модуль «Определение емкости конденсаторов» УНЦ "Физтехприбор", источник питания (ИП), стрелочный микроамперметр.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Система, состоящая из двух проводников, разделенных слоем диэлектрика и расположенных на малом расстоянии друг от друга так, что электрическое поле заключено только в пространстве между проводниками, называется конденсатором. Простейшим является плоский конденсатор, состоящий из двух плоских параллельных друг другу проводящих пластин (обкладок), разделенных тонким слоем диэлектрика.

Конденсаторы количественно характеризуют электроемкостью. Электроемкость конденсатора численно равна отношению заряда q, находящегося на одной из обкладок, к разности потенциалов между этими обкладками

$$C = \frac{q}{U}.$$

/41.1/

В большинстве случаев электроемкость не зависит ни от заряда обкладок, ни от разности потенциалов между обкладками. Электроемкость зависит от формы, размеров конденсатора, материала диэлектрика и его температуры.

Так емкость плоского конденсатора можно вычислить по формуле

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}, \qquad /41.2/$$

где S – площадь обкладок, а d – расстояние между обкладками, причем предполагается, что выполняется соотношение $\sqrt{S} >> d$.

Электроемкость цилиндрического конденсатора вычисляют по формуле:

$$C = \frac{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 \ell}{\ln(r_2/r_1)}, \qquad /41.3/$$

где ℓ - длина образующей цилиндра; r_1 и r_2 – радиусы соответственно внутренней и внешней обкладок;

Несколько конденсаторов можно соединить в батарею. При параллельном соединении емкость батареи равна сумме емкостей каждого из конденсаторов

$$C = \sum_{i=1}^{n} C_i . \qquad /41.4/$$

При последовательном соединении емкость батареи рассчитывают по формуле

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{C_i}. \qquad /41.5/$$

Электрическая схема лабораторного модуля производства НПФ «Эклус» изображена на его передней панели (рис. 42а.1). Внутри лабораторного модуля смонтированы: поляризационное реле типа РПС-32А и два конденсатора. Конденсаторы подключаются к источнику питания с помощью гибких выводов со штекерами. К гнездам *"РА"* подключается микроамперметр. Один из гибких выводов подключён через поляризационное реле, а второй - непосредственно к источнику тока. Переменное питание от источника на реле подается через тумблер "РПС" и кнопку "К" с нормально разомкнутыми контактами.

В первую половину периода замыкаются контакты реле, через которое подается напряжение на гибкие выводы, и конденсатор заряжается. Контакты, в цепь которых включен микроамперметр, разомкнуты. Во вторую половину, периода размыкаются контакты реле, через которые подается напряжение на конденсатор, и замыкаются контакты, через которые к заряженному конденсатору подключается измерительный прибор. Этот процесс проходит с частотой питания обмотки поляризационного реле, равной 50 Гц.



Рис. 42а.1

За период Т перезарядки конденсатора, через микроамперметр пройдёт заряд *Q,* величина которого благодаря подбору параметров кон-

структивных элементов измерительной схемы определяется по формуле

$$Q = IT = \frac{I}{\nu} \qquad /41.6/$$

Откуда

$$C = \frac{I}{U\nu} \qquad /41.7/$$

где ν=50 Гц - частота перезарядки конденсатора, равная частоте питания поляризационного реле.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подсоедините к гнездам "*PA"* микроамперметр.
2. Подключите к лабораторному модулю источник питания ИП.'
3. Включите в сеть лабораторный модуль и источник питания.
4. Включите тумблер "РПС" на лицевой панели модуля.
5. Установите на источнике питания ИП напряжение *U*= 5 В - 10 В.
6. С помощью гибких выводов на панели лабораторного модуля подсоедините конденсатор емкостью C_1 к гнёздам 1 и 2 (рис. 42.1а).
7. Нажав и удерживая кнопку "К" в течение 3 - 4 с, измерьте среднее значение тока разряда конденсатора C_1.
8. Присоединить гибкие выводы к конденсатору C_2 (гнезда 2 и 3) и измерьте его ток разряда.
9. Присоедините гибкие выводы к гнездам 1 и 3 и измерьте ток разряда последовательно соединенных конденсаторов C_1 и C_2.
10. Закоротите гнезда 3 и 4 перемычкой, подсоединить гибкие выводы к гнездам 1 и 2 и измерьте ток разряда параллельно соединенных конденсаторов C_1 и C_2.
11. Результаты измерений занесите в таблицу результатов наблюдений.
12. Повторить пункты 1 - 6, изменяя напряжение на источнике ИП в диапазоне 5 - 10 В с шагом в 1 В.
13. По формуле /41.7/ рассчитайте ёмкости конденсаторов C_1 и C_2 и их параллельного и последовательного соединений по формулам /41.4/ и /41.5/. Ёмкость вычислять с точностью до четвертой значащей цифры после запятой. Результаты расчета занесите в таблицу результатов наблюдений.

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

U, В	***I, C***	C_1	C_2	$C_{пос}$	$C_{пар}$
5	***I***, мкА				
	C, мкФ				
6	***I***, мкА				
	C, мкФ				
7	***I***, мкА				
	C, мкФ				
8	***I***, мкА				
	C, мкФ				
9	***I***, мкА				

	C, мкФ				
10	***I***, мкА				
	C, мкФ				

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫЧИСЛЕНИЙ

N	*C ,мкФ*	ΔC_i , мкФ	$(\Delta C_i)^2$, мкФ^2
1			
2			
3			
4			
5			
6			

14. Рассчитайте среднее значение одной из измеряемых емкостей, абсолютную и относительную погрешности определения одной из ёмкостей по формулам /41.8/ и /41.9/. Результаты расчета занесите в таблицу результатов вычислений.

$$\Delta C_{ср.} = t_{\alpha,n} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta C_i^2}{n(n-1)}} \qquad /41.8/ \qquad \varepsilon_c = {\Delta C_{ср.}}/{C_{ср.}} \cdot 100\% \qquad /41.9/$$

$\boldsymbol{C}$ = (±)·мкФ, $\boldsymbol{\varepsilon_p}$ = %.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение электроёмкости конденсатора. В каких единицах измеряется электроёмкость?
2. От чего зависит электроёмкость конденсатора?
3. Запишите формулу электроёмкости плоского конденсатора.
4. Запишите формулу электроёмкости цилиндрического конденсатора.
5. Запишите формулу для вычисления суммарной ёмкости батареи конденсаторов при их последовательном и параллельном соединении.
6. Выведите формулу для вычисления суммарной ёмкости батареи конденсаторов при их последовательном и параллельном соединении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 2014. – 446 с. §9.10.
2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 10 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев,, Н.Н. Сотский – М.: Просвещение, 2014. - § 97.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 42-СПО.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА

Цель работы: определить удельное сопротивление материала проводника.

Приборы и принадлежности: цифровой амперволтомметр (мультиметр), катушка (обмотка реостата), штангенциркуль, линейка, соединительные провода.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Сопротивление R – это величина, характеризующая потери энергии при протекании тока по проводнику. Его размерность [R]=Ом. Сопротивление зависит от формы, размеров проводника, материала и его температуры. Сопротивление однородного проводника постоянного поперечного сечения можно определить по формуле

$$R = \rho \frac{l}{S}, \qquad /42.1/$$

где ρ - удельное сопротивление материала проводника, l - длина проводника, S – площадь поперечного сечения проводника. Измерив сопротивление, длину и площадь поперечного сечения проводника, можно рассчитать его удельное сопротивление по формуле

$$\rho = \frac{RS}{l}. \qquad /42.2/$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. С помощью мультиметра измерьте сопротивление ***R*** всей обмотки реостата. Измерения производите согласно инструкции, данной на рабочем месте. Данные занесите в таблицу результатов наблюдений.
2. Измерьте внешний диаметр витка ***D*** штангенциркулем и длину намотки реостата ***L*** линейкой. Измерения диаметра витка производите с точностью $\pm 0{,}1$ мм, а длины намотки - с точностью ± 1 мм. Данные занесите в таблицу результатов наблюдений.
3. Подсчитайте число витков ***N***. Данные занесите в таблицу результатов наблюдений 1.
4. Определите диаметр проволоки по формуле /42.3/

$$d = \frac{L}{N} \qquad /42.3/$$

5. Определите средний диаметр витка по формуле /42.4/. Результат вычислений занести в таблицу 1.

$$D_{cp} = D - d. \qquad /42.4/$$

6. Определите удельное сопротивление проводника, из которого изготовлен реостат по формуле /42.5/

$$\rho = \frac{RL^2}{4D_{cp}N^3}$$

/42.5/

7. Определите относительную погрешность удельного сопротивления проводника по формуле /42.6/

$$\varepsilon_\rho = \sqrt{\left[\frac{\Delta R}{R}\right]^2 + 4\cdot\left[\frac{\Delta L}{L}\right]^2 + \left[\frac{\Delta D}{D}\right]^2 + 9\cdot\left[\frac{\Delta N}{N}\right]^2}\,. \qquad /42.6/$$

8. Рассчитайте абсолютную погрешность измерения удельного сопротивления по формуле /42.7/

$$\Delta\rho = \rho\cdot\varepsilon_\rho\,. \qquad /42.7/$$

При вычислении относительной погрешности измерения удельного сопротивления примите:

$\frac{\Delta R}{R}$ = 0,005= ± 0,5 % (относительная погрешность измерения сопротивления определяется по классу точности прибора);

$\Delta L = k_\alpha\frac{\delta}{3}$ - (абсолютная погрешность измерения линейкой δ = ± 0,5мм);

$\Delta D_{ср.} = \Delta D = k_\alpha\frac{\delta}{3}$ - (абсолютная погрешность измерения штангенциркулем δ=±0,05 мм);

k_α = 2 - коэффициент Гаусса при надежности α= 0,95; ΔN = ± 1 виток.

9. Записать окончательный результат в виде

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

R, Ом	$\frac{\Delta R}{R}$	L, м	ΔL,м	$\frac{\Delta L}{L}$	D, 10^{-2}м	ΔD, 10^{-2}м	$\frac{\Delta D}{D}$	N	ΔN	$\frac{\Delta N}{N}$	D_{CP}, 10^{-2}м

$\rho = \rho_{ср} \pm \Delta\rho$; ε_ρ=.....%.

$\boldsymbol{\rho}$ = (±)·10^{-7} Ом·м, ε_ρ = %.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое сопротивление проводника? В каких единицах оно измеряется?
2. От чего зависит сопротивление проводника?
3. Запишите формулу для вычисления сопротивления однородного проводника постоянного сечения.
4. Что такое удельное сопротивление материала? В каких единицах оно измеряется?
5. Запишите формулу для вычисления сопротивления проводников при их последовательном и параллельном соединении.
6. Во сколько раз изменится сопротивление металлической проволоки постоянного сечения при ее прокатке, если ее диаметр уменьшится в n раз?

ЛИТЕРАТУРА
1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 2014. – 446 с. §10.4.
2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 11 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский – М.: Просвещение, 2014. - § 109.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 43-СПО
ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Цель работы: определить удельное сопротивление материала проводника.

Приборы и принадлежности: цифровой ампервольтомметр (мультиметр), катушка, термометр, соединительные провода.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Сопротивление *R* – это величина, характеризующая потери энергии при протекании тока по проводнику. Его размерность [R]=Ом.

При нагревании металлов возрастает средняя скорость хаотического движения электронов. В результате увеличивается частота столкновений свободных электронов с ионами и сопротивление металлов возрастает с увеличением температуры. Зависимость сопротивления металлов от температуры описывается линейной функцией

$$R = R_0 (1+\alpha t), \qquad /43.1/$$

где R – сопротивление проводника при температуре t^0C; R_0 - сопротивление при 0^0C; α - температурный коэффициент сопротивления.

Температурный коэффициент сопротивления численно равен относительному изменению сопротивления при нагревании проводника на 1 К

$$\alpha = \frac{\Delta R}{R \Delta T}. \qquad /43.2/$$

Размерность температурного коэффициента сопротивления в системе СИ $[\alpha]=К^{-1}$.

В данной работе с помощью мультиметра определяется сопротивление катушки металлической проволоки при различной температуре. Используя измеренные значения сопротивления R и температуры t, строят график зависимости R= f(t). Прямую проводят через экспериментальные точки таким образом, чтобы она наилучшим образом соответствовала этим точкам. На прямой выбирают две точки с координатами (R_1,t_1) и (R_2,t_2). Для этих значений справедливы соотношения:

$$R_1 = R_0(1+\alpha t_1) \quad \text{и} \quad R_2 = R_0(1+\alpha t_2), \qquad /43.3/$$

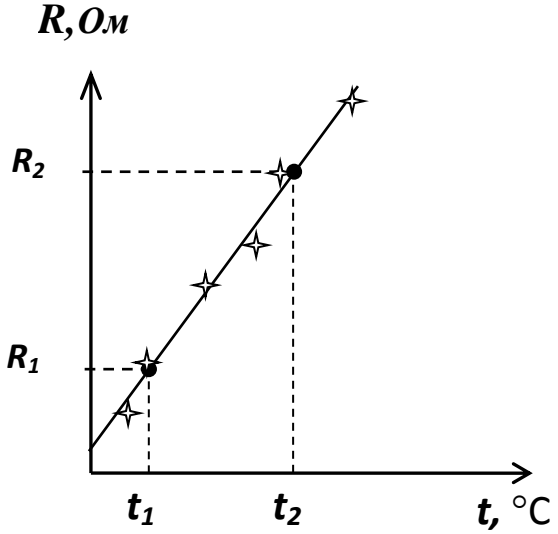


Рис.43.1. Вид графика ***R=f(t)***

из которых вытекает

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 t_2 - R_2 t_1}. \qquad /43.4/$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Опустите в термостат исследуемый проводник и термометр. Когда показания термометра и мультиметра перестанут изменяться, измерьте температуру термометром и сопротивление проводника при данной температуре. Значения сопротивления проводника и температуру запишите в таблицу 1 результатов наблюдений.
2. Включите нагреватель и поднимите температуру в термостате на 4-6 ^{0}C. Измерьте вновь сопротивление и температуру. Повторите измерения 7…10 раз. Значения сопротивления проводника и температуру запишите в таблицу 1 результатов наблюдений.
3. Постройте график зависимости *R=f(t)* (см. примерный вид графика представлен на рис.1).

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

№ п.п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
t^0,C												
R, Ом												

4. Рассчитайте величину температурного коэффициента сопротивления по формуле /43.4/ по координатам двух точек, взятых на графике *R=f(t)*.

$$\alpha = \qquad \cdot 10^{-3}\ \text{К}^{-1}.$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое сопротивление проводника? В каких единицах оно измеряется?
2. Запишите формулу для вычисления сопротивления однородного проводника постоянного сечения?
3. Что такое удельное сопротивление материала? В каких единицах оно измеряется?
4. Запишите формулы и нарисуйте графики зависимости сопротивления и удельного сопротивления металлических проводников от температуры.
5. Каков физический смысл температурного коэффициента сопротивления? В каких единицах измеряется температурный коэффициент сопротивления?
6. От чего зависит удельное сопротивление проводника?
7. От чего зависит отрезок, отсекаемый графиком зависимости сопротивления от температуры на оси сопротивлений. Какими технологическими приемами его можно увеличить, уменьшить?
8. От чего зависит угол наклона графика зависимости сопротивления металла от температуры? Как его можно изменить?
9. Объясните причины зависимости сопротивления металлов от температуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 20014. – 446 с. §10.5.
2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 11 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский –М.: Просвещение, 2014. - § 101.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 44-СПО
ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕДАЧИ МОЩНОСТИ И КПД В ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы: экспериментальное исследование зависимости полной, полезной мощности и КПД источника тока от отношения сопротивления нагрузки и источника.

Приборы и принадлежности: экспериментальная установка, состоящая из миллиамперметра, вольтметра, источника тока, набора сопротивлений.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Источник тока, нагруженный на внешнее сопротивление (рис.44.1), создает в цепи ток, определяемый по закону Ома для замкнутой цепи

$$I = \frac{E}{R + r}, \qquad /44.1/$$

где E – ЭДС источника тока; R – сопротивление нагрузки; r – внутреннее сопротивление источника тока.

Для замкнутой цепи постоянного тока характерны следующие закономерности. Полная мощность, выделяемая во всей цепи

$$P = \frac{A}{t} = E \cdot I = \frac{E^2}{R + r}. \qquad /44.2/$$

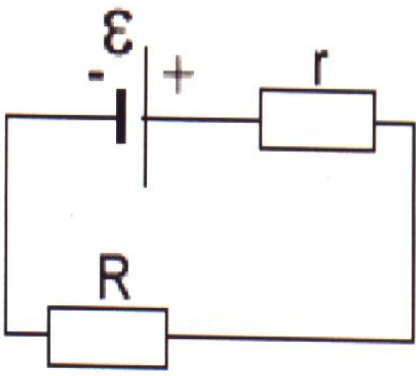


Рис.44.1

В нагрузке на сопротивлении R выделяется только часть этой мощности, называемая полезной мощностью $P_П$

$$P_n = U \cdot I = I^2 R = \frac{E^2}{(R + r)^2} \cdot R = \frac{E^2}{R + r} \cdot \frac{R}{R + r}, \qquad /44.3/$$

Отношение полезной мощности $P_П$ к полной мощности, развиваемой источником в цепи, называется коэффициентом полезного действия (КПД) источника тока η

$$\eta = \frac{P_n}{P} = \frac{R}{R + r}. \qquad /44.4/$$

Из формул /44.2/, /44.3/, /44.4/ видно, что P, $P_П$, η зависят от соотношения между сопротивлениями R и r, то есть R/r.

Полная мощность, развиваемая источником тока, максимальна при коротком замыкании (R = 0); в этом случае она равна

$$P_{\max} = P_{кз} = \frac{E^2}{r}. \qquad /44.5/$$

При коротком замыкании вся мощность выделяется в самом источнике и оказывается бесполезной.

Полезная мощность минимальна и равна нулю при $R = 0$ и $R=\infty$; можно показать, что она достигает максимума при $R=r$ и равна $P_{П\ max}=E^2/4r$. Следовательно максимальная полезная мощность в 4 раза меньше максимальной полной мощности. Согласно /44.4/ КПД составляет $\eta = 0{,}5$ (т.е. 50%).

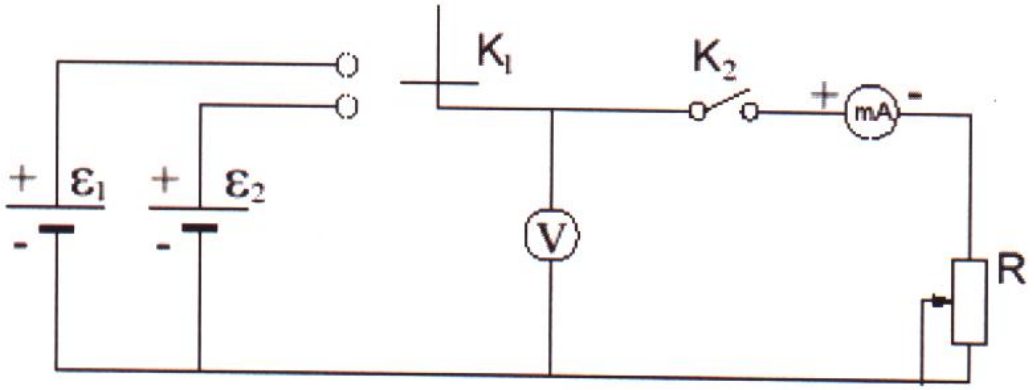


Рис.44.2

Напряжение на нагрузке $U_н$ определяется выражением

$$U = IR = \frac{E}{R+r}R\,. \qquad /44.6/$$

Из него следует, что $U=E$ при $R\to\infty$ и $U = 0$ при коротком замыкании.

Сила тока в цепи максимальна при коротком замыкании $I_{кз}=E/r$ и монотонно убывает до 0 при $R=\infty$ (разомкнутая цепь).

Схема установки для исследования цепи постоянного тока представлена на рис. 44.2. Переключателем $К_1$ источники $Е_1$ и $Е_2$ с различными ЭДС и внутренними сопротивлениями могут быть поочередно подключены к сопротивлению нагрузки R.

Силу тока I и напряжение U на сопротивлении R измеряют миллиамперметром (мА) и вольтметром (V). Режим разомкнутой цепи осуществляется переключателем $К_2$.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Соберите и проверьте схему (рис.44.2).
2. Измерьте ЭДС E_1, включив ключ $К_1$ при разомкнутом ключе $К_2$.
3. Подключите к источнику ЭДС E_1 нагрузку R и, варьируя R от наименьшего до наибольшего значения, измерьте силу тока I и напряжение нагрузки U. Данные записать в таблицу результатов наблюдений.
4. Вычислите для каждого значения силы тока I и напряжения U, значения R по закону Ома ($R=U/I$), P, $P_П$ и η по формулам /44.2/, /44.3/, /44.4/ и занесите их в таблицу результатов наблюдений.
5. По измеренным для двух значений R величинам тока вычислить внутреннее сопротивление источника тока r с помощью формулы, вытекающей из /44.1/

$$r = \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2}. \qquad /44.7/$$

6. Для каждого опыта найдите отношение *R/r*.
7. Постройте на одном рисунке зависимости *P, $P_П$* и η от отношения *R/r*.
8. По построенным графикам определить $P_{П\,max}$ и $P_{к.з.}$

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

U, B	*E*			
I(А)	0			
R (Ом)	∞			
R/r				
P(Вт)				
$P_П$ (Вт)				
η				

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение силы тока, электродвижущей силы источника, падения напряжения, разности потенциалов.
2. Что понимают под сторонними силами и какова их роль в цепи постоянного тока?
3. Постройте график КПД источника тока от величины внешнего сопротивления. Чему равен предельный КПД источников тока.
4. Напишите выражения для полной и полезной мощности в электрической цепи.
5. При каком условии полезная мощность, выделяемая в цепи, максимальна? Чему она равна?
6. Сформулируйте закон Джоуля-Ленца и запишите его математическое выражение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 2014. – 446 с. §10.3-10.11.
2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 10 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский – М.: Просвещение, 2014. - § 104-106.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 45-СПО
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ – АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ЗАВИСИМОСТИ МОЩНОСТИ ОТ НАПРЯЖЕНИЯ НА ЛАМПЕ НАКАЛИВАНИЯ

Цель работы: экспериментальное исследование вольт–амперной характеристики и зависимости мощности от напряжения на лампе накаливания.

Приборы и принадлежности: лампы накаливания различной мощности, амперметр, вольтметр, ЛАТР (лабораторный автотрансформатор).

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Из закона Ома для однородного участка цепи вытекает, что ток I в лампе накаливания прямо пропорционален приложенному напряжению U

$$I = \frac{U}{R}, \qquad /45.1/$$

где R – сопротивление лампы накаливания.

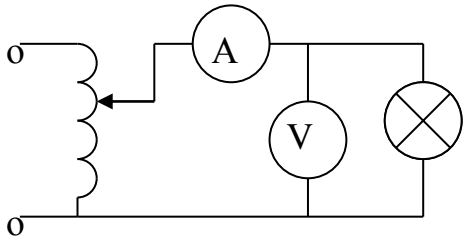


Рис.45.1

Амперметр измеряет не только ток, протекающий через лампу, но и ток, протекающий через вольтметр (рис.45.1). Истинный ток через лампу вычисляется с учетом сопротивления вольтметра

$$I_{Л} = I - \frac{U}{R_V}. \qquad /45.2/$$

Вольт–амперная характеристика лампы накаливания нелинейная, что объясняется зависимостью сопротивления от температуры

$$R=R_0(1+\alpha t), \qquad /45.3/$$

где R – сопротивление при температуре t°C; R_0 – сопротивление при 0°C;

α - температурный коэффициент сопротивления. В свою очередь, температура нити лампы накаливания зависит от выделяющейся в ней электрической мощности, а, следовательно, от приложенного напряжения. Поэтому сопротивление должно зависеть от приложенного напряжения. Так, сопротивление лампы накаливания номинальной мощностью 40 Вт изменяется от R=88,6 Ом при комнатной температуре до 1224 Ом при напряжении на лампе 240 В. Значения сопротивления лампы вычислены по формуле

$$R_{Л} = \frac{U}{I - \frac{U}{R_V}}. \qquad /45.4/$$

Из закона Джоуля–Ленца вытекает, что электрическая мощность, выделяющаяся в лампе равна

$$P_{Л} = \frac{U^2}{R_{Л}}. \qquad /45.5/$$

Используя /45.4/ получим

$$P_{Л} = U(I - \frac{U}{R_V}). \qquad /45.6/$$

Зависимость мощности, выделяемой на лампе, от приложенного напряжения также отличается от квадратичной. Причины этого также связаны с изменением сопротивления при увеличении температуры.

Схема установки для исследования цепи постоянного тока представлена на рис.45.1. Она состоит из лабораторного автотрансформатора (ЛАТРа), амперметра (A) и подключенного параллельно лампе накаливания вольтметра (V).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Соберите и проверить схему (рис.45.1).
2. Определите цену деления амперметра и вольтметра.
3. Изменяя величины подаваемого напряжения ЛАТРом, измерьте величину тока и напряжения для 10÷15 значений напряжения. Данные записать в таблицу результатов наблюдений.

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

U, В										
I, А										
R, Ом										
$I_Л$, А										
$R_Л$, Ом										
$P_Л$, Вт										

4. Вычислите для каждого значения силы тока I и напряжения U значения тока через лампу $I_Л$ по формуле /45.2/, сопротивления лампы $R_Л$ по формуле /45.4/ и мощности, выделяемой на лампе $P_Л$ по формуле /45.6/. Данные занесите в таблицу результатов наблюдений. По полученным данным построить графики $I_Л = f(U)$, $R_Л = f(U)$ и $P_Л = f(U)$. Убедиться в том, что все эти графики нелинейные.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1.Дайте определение силы тока, падения напряжения, сопротивления. В каких единицах они измеряются?
2.Запишите формулу закона Ома для однородного участка цепи.
3.Запишите формулу электрической мощности.
4.Запишите формулы тока, сопротивления и мощности на лампе с учетом сопротивления вольтметра.
5.Постройте график КПД источника тока от величины внешнего сопротивления. Чему равен предельный КПД источников тока?
6.Каковы причины нелинейности вольт–амперной характеристики лампы накаливания?

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 2014. – 446 с. §10.3, 10.5, 10.7, 10.10, 10.11.
2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 10 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский. – М.: Просвещение, 2014. - § 101, 104, 105, 106.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 46-СПО
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Цель работы: ознакомиться с одним из методов определения напряженности магнитного поля Земли.

Приборы и принадлежности: тангенс-гальванометр, амперметр, реостат, источник постоянной ЭДС, переключатель.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Земля представляет собой огромный магнит, полюса которого лежат вблизи географических полюсов. Величину проекции индукции земного магнитного поля ***B*** на горизонтальную плоскость называют горизонтальной составляющей магнитного поля Земли $\mathbf{B}_s$. Направление этой составляющей принимается за направление магнитного меридиана в данной точке, а вертикальная плоскость, проходящая через него, называется плоскостью магнитного меридиана . Магнитная стрелка, которая может вращаться лишь около вертикальной оси, будет отклонятся в горизонтальной плоскости только под действием горизонтальной составляющей магнитного поля Земли.

Эти свойства магнитной стрелки используются в тангенс-гальванометре для определения $\mathbf{B}_s$. Тангенс-гальванометр (рис.46.1) представляет собой плоскую вертикальную катушку К. В центре катушки в горизонтальной плоскости расположена магнитная стрелка. При отсутствии тока в катушке магнитная стрелка установится вдоль магнитного меридиана Земли N-S. Поворотом катушки около вертикальной оси можно добиться совмещения плоскости катушки с плоскостью магнитного меридиана. Если после такой установки катушки по ней пропустить ток, то магнитная стрелка повернется на некоторый угол α. Объясняется это тем, что на магнитную стрелку будут действовать два поля: горизонтальная составляющая индукции поля Земли $\mathbf{B}_s$ и поле, созданное током катушки с индукцией $\mathbf{B}_к$. Под действием этих полей магнитная стрелка займет положение равновесия, при котором равнодействующая двух полей будет совпадать с линией, соединяющей полюса стрелки. На рис.46.1 NS – направление магнитного меридиана Земли, вдоль которого устанавливается первоначально магнитная стрелка, помещенная в центре катушки. Магнитное поле, создаваемое катушкой с током в ее центре (вектор $\mathbf{B}_к$) направлено перпендикулярно к плоскости витков вдоль оси катушки. Из рис.46.1 видно, что $tg\alpha = B_к / B_з$. Следовательно

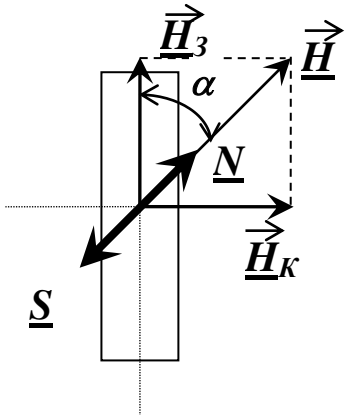


Рис.46.1

$$B_з = B_к / tg\alpha . \qquad /46.1/$$

Величина индукции поля $\mathbf{B}_к$, созданного в центре плоской катушки из N круговых витков с током, находящихся в воздухе, равна:

$$B_к = \frac{\mu_0 IN}{2r}, \qquad /46/2/$$

где I - ток, текущий в катушке, r - радиус витка катушки, N – число витков, μ_0 – магнитная постоянная.

Индукция магнитного поля в катушке с числом витков N вычисляется по формуле /46.3/ с учетом числа витков. Подставляя значение $B_к$ в формулу /46.1/, получим:

$$B_з = \frac{\mu_0 IN}{2rtg\alpha}. \qquad /46.3/$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1.Соберите электрическую цепь по схеме, показанной на рис.46.2

2.Поворачивая тангенс-гальванометр, установите плоскость катушки в плоскости магнитного меридиана.

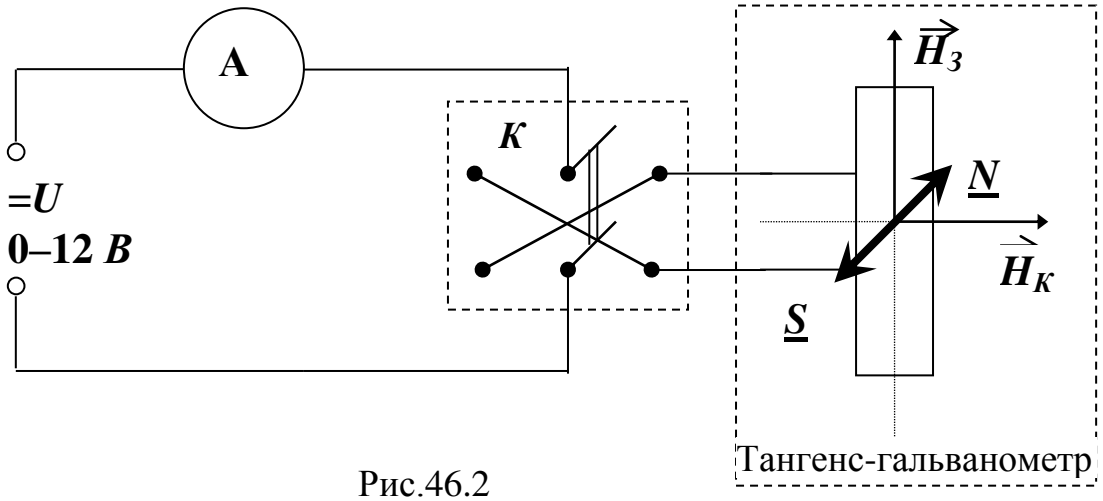


Рис.46.2

3.При помощи движка реостата установите заданное значение тока и измерьте значение угла α_1 положения стрелки гальванометра с точностью до половины углового градуса.

4.При помощи переключателя К измените направление тока в катушке. Определить угол отклонения α_2 при той же величине тока. Величину тока и величины углов α_1 и α_2 занесите в таблицу результатов наблюдений.

5.Повторите опыт по п.п.3,4 при различных значениях тока 5-6 раз. Данные занесите в таблицу результатов наблюдений.

6.Вычислите значения $\alpha_1+\alpha_2$. В случае существенного (на величину более 2 угловых градусов) отличия какого-либо значения такой суммы от остальных, проверить соответствующие величины α_1 и α_2.

7.Постройте график зависимости $tg\alpha=f(I)$. Убедитесь в том, что $tg\alpha$ зависит от тока прямо пропорционально.

8.Вычислите величины $B_З$ по формуле /46.3/ для каждого значения тока. Найдите среднее значение $B_{З\,СР}$.

9.Рассчитайте средние абсолютную и относительную погрешности измерения горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли по формулам /46.4/ и /46.5/

$$\Delta B_з = tg(\alpha, n)\sqrt{\frac{\sum \Delta B_i^2}{n(n-1)}}. \qquad /46.4/ \quad \text{и} \quad \varepsilon_з = \frac{\Delta B_з}{B_{зср}} \qquad /46.5/$$

Значение надежности выберите α=0.95 или по заданию преподавателя.
α= , $t_{\alpha,n}$= . Результаты записать в таблицу результатов наблюдений.

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

n_i	I, A	α_1	α_2	$\alpha_1+\alpha_2$	$\alpha = \frac{\lvert\alpha_1 - \alpha_2\rvert}{2}$	$tg\alpha$	B_i, А/м	ΔB_i, А/м	ΔB_i^2, $А^2/м^2$

10.Окончательный результат записать в виде:

$$B_з = B_{ср} \pm \Delta B_з \text{ А/м}; \qquad \varepsilon_N = \frac{\Delta B_з}{B_з} 100\%.$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое индукция магнитного поля. В каких единицах измеряется индукция магнитного поля в системе СИ?
2. Как определяется направление вектора индукции магнитного поля?
3. Запишите формулы для вычисления индукции кругового тока, отрезка прямого тока, соленоида.
4. Сформулируйте принцип суперпозиции для индукции магнитного поля.
5. Дайте определение линиям индукции магнитного поля. Сформулируйте правило определения направления линий индукции магнитного поля. Нарисуйте линии индукции магнитного поля кругового тока, отрезка прямого тока, соленоида.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 2014. – 446 с. §12.1, 12.2.
2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 11 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, В.М. Чаругин. – М.: Просвещение, 2014. - § 1.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 51-СПО
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ ТОНКОЙ ЛИНЗЫ ПО ФОРМУЛЕ ЛИНЗЫ

Цель работы: изучение закономерностей в простых оптических системах.

Приборы и принадлежности: оптическая скамья с рейтерами, линза, экран, осветитель.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Идеальной оптической системой называют такую, которая дает изображение, геометрически подобное предмету. Идеальная оптическая система с достаточным приближением может быть реализована в виде центрированной системы, центры поверхностей которой лежат на одной прямой - главной оптической оси. Примером центрированной системы является линза – важнейшая деталь многих оптических приборов.

Линзой называется оптически прозрачное тело, ограниченное с двух сторон сферическими (цилиндрическими, плоскими) поверхностями радиусов кривизны R_1 и R_2.

На рис.51.1 показаны кардинальные элементы линзы: главная плоскость (1); главная оптическая ось (2), проходящая через оптический центр (3), перпендикулярная главной плоскости и являющаяся осью симметрии системы; симмет-

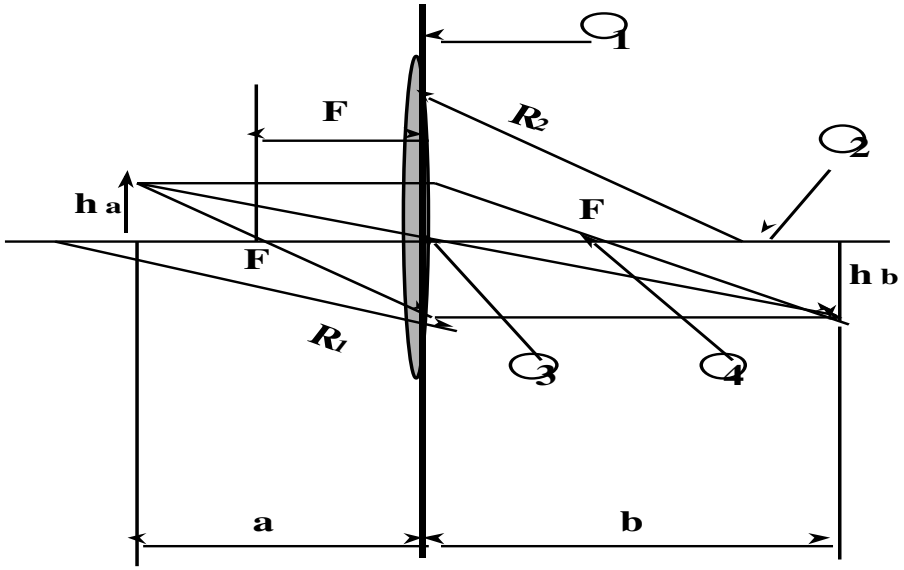


Рис.51.1

рично расположенные относительно оптического центра и лежащие на главной оптической оси главные фокусы (4). Лучи, проходящие до линзы через фокусы, после линзы идут параллельно оптической оси и наоборот. Плоскости, перпендикулярные главной оптической оси и проходящие через фокусы, называются фокальными плоскостями.

Линза считается тонкой, если расстояние между сферическими поверхностями вблизи оптического центра (в наиболее толстой части) много меньше радиусов ее кривизны (рис.51.1). Для такой линзы фокусное расстояние F можно найти по формуле

$$1/F = (n_2/n_1 - 1)\,(1/R_1 + 1/R_2), \qquad /51.1/$$

где n_2 - абсолютный показатель преломления линзы; n_1 – абсолютный показатель преломления среды, окружающей линзу.

Расстояние от предмета до линзы (a), расстояние от изображения до линзы (b) и фокусное расстояние F (рис.51.1), связаны формулой линзы

$$1/F = 1/a + 1/b \qquad /51.2/$$

Эта формула является приближенной. Она справедлива для лучей, идущих под небольшими ($\alpha < 8^o$) углами к главной оси (такие лучи называются параксиальными). Кроме того, она справедлива, строго говоря, для монохроматических лучей.

Если пучок лучей немонохроматический, то вследствие зависимости показателя преломления от длины волны имеет место хроматическая аберрация (наблюдается несколько смещенных друг относительно друга изображений различного цвета - изображение становится нерезким и окрашенным). В связи с этим желательно на осветитель ставить светофильтр.

Формула /51.2/ справедлива для тонких линз, причем величины F, a и b отсчитываются от оптического центра линзы. В практических измерениях делается ошибка порядка толщины линзы.

Изображение называется действительным, если оно построено на действительно идущих лучах, и мнимым, если оно построено на продолжениях действительно идущих лучей. Изображение бывает прямым и перевернутым.

Увеличением линзы Г называется отношение высоты изображения h_b к высоте предмета h_a, причем справедливо соотношение

$$\Gamma = h_b/h_a = b/a. \qquad /51.3/$$

При Г>1 изображение увеличенное, при Г<1 - уменьшенное.

Фокусное расстояние линзы определяется следующим способом.

Производятся измерения a и b, и фокусное расстояние вычисляется с помощью формулы линзы /51.2/. Одновременно, измеряя размер изображения и предмета, определяют увеличение линзы. При этом существенно, чтобы указатель на рейтере располагался против центра линзы.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1.Перед началом измерений центры предмета (стрелки на матовой бумаге осветителя), линзы и экрана установите на одной высоте относительно оптической скамьи. Плоскости предмета, линзы и экрана установите перпендикулярно оптической оси, параллельной оптической скамье.

2.Отсчет расстояний между элементами оптической системы производите по линейке, имеющейся на оптической скамье с помощью указателей на рейтерах с точностью $\pm$ 1 мм.

3.Установите экран на расстоянии L = 0,75 ... 0,90 м от предмета.

4.Перемещая линзу вдоль скамьи, получите резкое изображение предмета. Полученные значения a, b, h_a (измеряется линейкой) и h_b (измеряется с помощью миллиметровой бумаги на экране) занесите в таблицу результатов наблюдений

5. Измерения по п.2,3 повторите 6...8 раз, изменяя величину L и выполняя измерения как при увеличенном, так и при уменьшенном изображении.

6.Произведите вычисления F по формуле /51.2/. Рассчитайте значение $F_{ср}$.

7.Рассчитайте значение Fср, среднюю абсолютную $\Delta F_{СР}$ и среднюю относительную $\varepsilon_{СР}$ погрешности измерения фокусного расстояния линзы по формулам

$$\Delta F_{cp} = t_{\alpha,n}\sqrt{\frac{\sum(\Delta F_i)^2}{n(n-1)}}. \qquad /51.4/ \text{ и} \qquad \varepsilon_N = \frac{\Delta F_{CP}}{F_{CP}}100\% \qquad /51.5/$$

Значение надежности α= выберите по заданию преподавателя, а значение коэффициента $t_{\alpha,n}$= выберите по таблице с помощью преподавателя. Результаты запишите в таблицу результатов наблюдений.

8.Справедливость формулы /51.2/ можно проверить графически, откладывая точки в координатах 1/a и 1/b. Полученный график отсечет на обеих осях отрезки, равные 1/F.

9.Рассчитайте увеличение линзы по обоим вариантам формулы /51.3/ и занесите в таблицу результатов наблюдений. Для каждого из положений предмета, линзы и экрана эти значения должны быть близки.

10. Запишите окончательный результат в виде $F = F_{ср} \pm \Delta F_{ср}$, ε = ...%.

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

N п/п	a, м	b, м	F, м	Δ F,м	$(\Delta F)^2$, м	Γ= b/a	h_b, м	h_b, м	$\Gamma=h_b/h_a$
1									
2									
3									
4									
5									
6									
			$F_{ср}$=		$\Sigma(\Delta F)^2$=				

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое линза? При каком условии линзу можно считать тонкой?
2. Покажите на чертеже кардинальные элементы линзы.
3. Сформулируйте правила построения изображений в линзе и покажите на чертеже, как они выполняются.
4. Запишите формулу для определения фокусного расстояния линзы.
5. Запишите формулу тонкой линзы. При каких условиях она справедлива?
6. Как классифицируются изображения в линзах?
7. Как определить увеличение тонкой линзы?

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 2014. – 446 с. §18.1, 18.2, 18.4.

2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 11 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, В.М. Чаругин. – М.: Просвещение, 2014. - § 47, 50,51

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 52-СПО

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ ТОНКОЙ ЛИНЗЫ ПО ИЗМЕРЕНИЮ УВЕЛИЧЕННОГО И УМЕНЬШЕННОГО ИЗОБРАЖЕНИЙ

Цель работы: изучение закономерностей в простых оптических системах.

Приборы и принадлежности: оптическая скамья с рейтерами, линза, экран, осветитель.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Теория тонкой линзы изложена в лабораторной работе №51. Для такой линзы фокусное расстояние F можно найти по формуле

$$1/F = (n_2/n_1 - 1)\,(1/R_1 + 1/R_2), \qquad /52.1/$$

где n_2 - абсолютный показатель преломления линзы; n_1 – абсолютный показатель преломления среды, окружающей линзу.

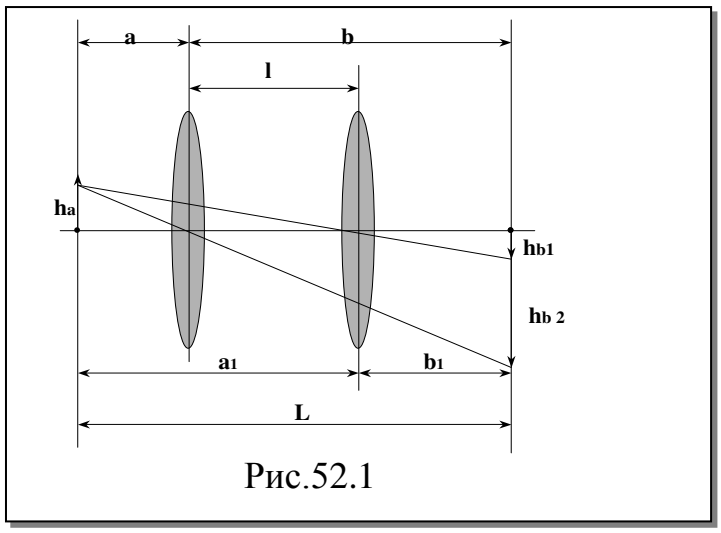


Рис.52.1

Расстояние от предмета до линзы (a), расстояние от изображения до линзы (b) и фокусное расстояние F (рис.52.1), связаны формулой тонкой линзы

$$1/F = 1/a + 1/b \qquad /52.2/$$

Формула /52.2/ справедлива для тонких линз, причем величины F, a и b отсчитываются от оптического центра линзы. В практических измерениях делается ошибка порядка толщины линзы.

В данной лабораторной работе фокусное расстояние линзы определяют следующим способом. Пусть расстояние между предметом и экраном L достаточно велико (L>4F). При этом найдутся два положения линзы, при которых наблюдаются увеличенное и уменьшенное изображения линзы (рис.52.1), (a и b соответствуют увеличенному изображению, a_1 и b_1 – уменьшенному). Из закона обратимости световых пучков (симметрии предмета и изображения) вытекает, что $a=b_1$, $a_1=b$.

Согласно рис.52.1 $a+b=a_1+b_1=L.$ /52.3/

Откуда $a=(L-1)/2,\ b = (L+1)/2.$ /52.4/

Подставляя эти выражения в /52.2/ получим

$$F=(L^2 - 1^2) / 4L. \qquad /52.6/$$

При измерении таким способом несовпадение указателя рейтера и центра линзы не сказывается на результате.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1.Перед началом измерений центры предмета (его роль играет стрелка на матовой бумаге осветителя), линзы и экрана установите на одной высоте относительно оптической скамьи. Плоскости предмета, линзы и экрана установите перпендикулярно оптической оси, параллельной оптической скамье.

2.Отсчет расстояний между элементами оптической системы производится по линейке, нанесенной на оптической скамье с помощью указателей на рейтерах с точностью ± 1 мм.

3.Установите экран на расстоянии L=0,90 ... 1,10 м от предмета. Перемещая линзу вдоль скамьи, получите резкие увеличенное и уменьшенное изображения предмета. Полученные значения L, *a* для увеличенного и a_1 для уменьшенного изображения предмета занесите в таблицу результатов наблюдений. Измерения повторить 6 ...8 раз, изменяя величину L.

4.Вычислите значения $l = a_1 - a$ и значения F по формуле /52.6/.

5. Рассчитайте значение Fср, среднюю абсолютную ΔF_{CP} и среднюю относительную ε_{CP} погрешности измерения фокусного расстояния линзы, по формулам

$$\Delta F_{cp} = t_{\alpha,n}\sqrt{\frac{\sum(\Delta F_i)^2}{n(n-1)}}. \qquad /52.7/ \qquad \varepsilon_N = \frac{\Delta F_{CP}}{F_{CP}}100\% \qquad /52.8/$$

Значение надежности α= выберите по заданию преподавателя, а значение коэффициента $t_{\alpha,n}$= выберите по таблице с помощью преподавателя. Результаты запишите в таблицу результатов наблюдений. Запишите окончательный результат в виде $F = F_{ср} \pm \Delta F_{ср} =$ ± , ε = ...%.

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

$N_{опыта}$	L, м	a, м	a_1, м	$l=a_1-a$, м	F, м	Δ F,м	$(\Delta F)^2$, $м^2$
1							
2							
					$F_{ср}$=		$\Sigma(\Delta F_i)^2$=

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое линза? При каком условии линзу можно считать тонкой?
2. Покажите на чертеже кардинальные элементы линзы.
3. Сформулируйте правила построения изображений в линзе и покажите на чертеже, как они выполняются.
4. Запишите формулу для определения фокусного расстояния линзы.
5. Запишите формулу тонкой линзы. При каких условиях она справедлива?
6. Как классифицируются изображения в линзах?
5. Как определить увеличение тонкой линзы?

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 2014. – 446 с. §18.1, 18.2, 18.4.

2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 11 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, В.М. Чаругин. – М.: Просвещение, 2014. - § 47, 50,51

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 53-СПО.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СТЕКЛА С ПОМОЩЬЮ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ

Цель работы: изучение законов геометрической оптики.

Приборы и принадлежности: плоскопараллельная пластина из стекла или оргстекла, лазерный осветитель или лазерная ручка, штангенциркуль, миллиметровая бумага, шпильки, скрепки.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Геометрической оптикой называется раздел физики, описывающий законы распространения электромагнитных волн (обычно света в видимой глазом области), справедливые при предположении, что длина волны стремится к нулю $\lambda \to 0$.

Закон прямолинейного распространения света: в однородной среде луч света распространяется прямолинейно.

Закон независимости световых пучков: эффект, производимый одним световым лучом не зависит от действия других лучей.

Закон обратимости световых лучей: если луч A, падая на оптическую систему, порождает луч B, выходящий из системы, то, направив на систему луч C по лучу B в обратном направлении, на выходе получим луч D, идущий по лучу A в обратном направлении (см. рис. 53.1).

Отметим, что здесь мы рассматриваем идеальные оптические системы, когда на один падающий на систему луч возникает один выходящий из системы луч.

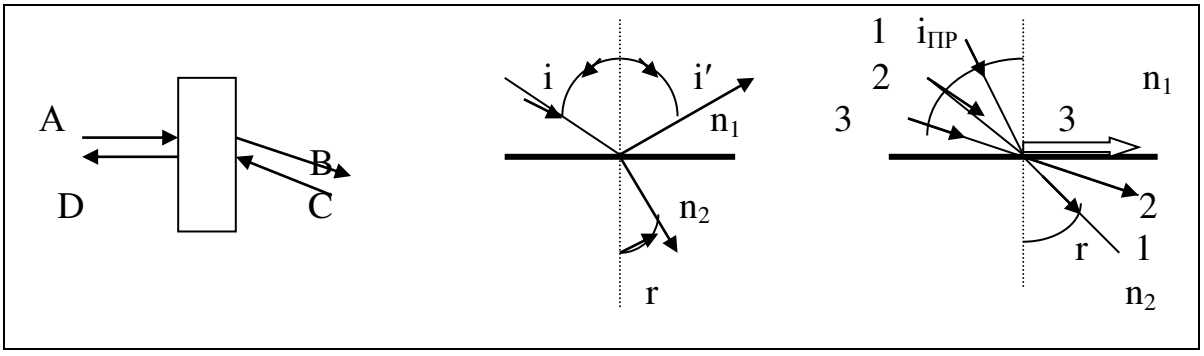


Рис.53.1

Рис.53.2

Рис.53.3

Закон отражения: луч падающий, луч отраженный и перпендикуляр к границе раздела сред в точке падения лежат в одной плоскости, углы отсчитываются от перпендикуляра, угол падения i равен углу отражения i', т.е. i=i' (рис.53.2).

Закон преломления Снеллиуса-Декарта: луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр к границе раздела сред в точке падения лежат в одной плоскости, углы отсчитываются от перпендикуляра, отношение синуса угла падения к синусу угла преломления *r* для данной пары сред - величина постоянная (см. рис.53.2).

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1}, \qquad /53.3/$$

где n_{21} – относительный показатель преломления пары сред с абсолютным показателем преломления среды, откуда луч выходит (n_1) и абсолютным показателем преломления среды, куда луч входит (n_2). Если свет падает из воздуха $n_1=1$, то формула /53.3/ позволяет вычислить абсолютный показатель преломления среды, куда луч входит n_2

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_2, \qquad /53.4/$$

Отметим, что углы падения и преломления отсчитываются от перпендикуляра к границе раздела сред в точке падения.

Если $n_1>n_2$, то угол преломления больше угла падения. Тогда при некотором $i_{ПР}$, когда $r=\pi/2$ и $\sin r=1$, наблюдается явление полного внутреннего отражения. В этом случае свет не выходит во вторую среду и распространяется по границе раздела сред (рис.53.3).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Накройте резиновый коврик листом миллиметровой бумаги и закрепите его четырьмя скрепками.
2. Отметьте точки А, В и Д шпильками.
3. Включите лазер и направьте луч на плоскопараллельную пластину вдоль направления АВ.
4. Отметьте шпилькой место С выхода луча из плоскопараллельной пластины.
5. Штангенциркулем измерьте отрезки FB=b, FA=a, CD=c и толщину плоскопараллельной пластины d.

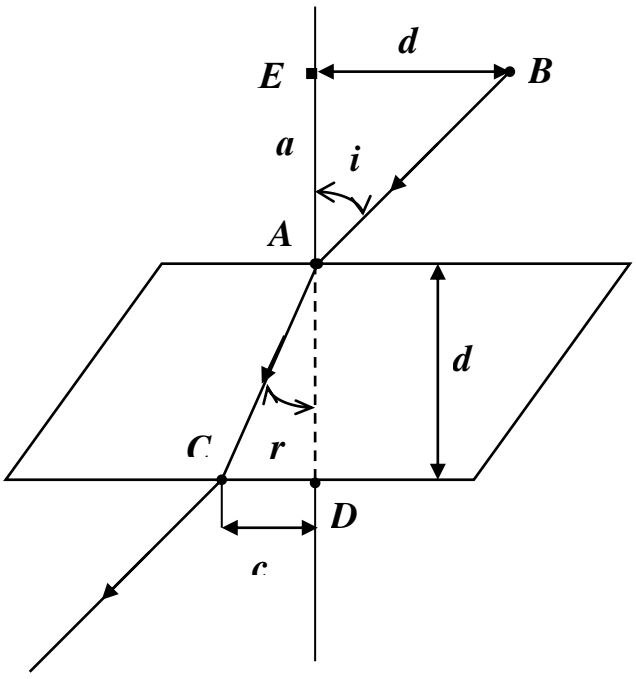


Рис.53.4

6. Повторите 5-6 раз измерения по пп.2-4 меняя положение шпильки В. Занесите полученные величины в таблицу результатов наблюдений.
7. Из рис.53.4 следует, что формула 53.3 приобретает вид

$$n = \sqrt{\frac{1+\left(\frac{d}{c}\right)^2}{1+\left(\frac{a}{b}\right)^2}} \qquad /53.5/$$

.

8. По формуле /53.5/ вычислите абсолютный показатель преломления материала пластины n. Вычислите его среднее значение n_{CP}.
9. Рассчитайте средние абсолютную и относительную погрешности измерения абсолютного показателя преломления материала по формулам /53.6/ и /53.7/

$$\Delta n_{CP} = tg(\alpha, m)\sqrt{\frac{\sum \Delta n_i^2}{m(m-1)}}. \qquad /53.6/ \qquad \varepsilon_N = \frac{\Delta n_{CP}}{n_{CP}} 100\% \qquad /53.7/$$

Значение надежности α=…. выберите по заданию преподавателя, а значение коэффициента $t_{\alpha,m}$= выберите по таблице с помощью преподавателя. Результаты запишите в таблицу результатов наблюдений. Запишите окончательный результат в виде $n = n_{ср} \pm \Delta n_{ср} =$ $\pm$, ε = ...%.

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

a,мм	b,мм	c,мм	d,мм	n_i	Δn_i	Δn_i^2
				n_{CP}=	Δn_{CP}=	

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что изучает геометрическая оптика?
2. Сформулируйте законы геометрической оптики.
3. Сформулируйте правило отсчета углов в геометрической оптике.
4. Что такое абсолютный показатель преломления? Какова его размерность?
5. Что такое относительный показатель преломления? Какова его размерность?
6. От чего зависит абсолютный показатель преломления среды?
7. В чем заключается явление полного внутреннего отражения?

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 2014. – 446 с. §18.2.
2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 11 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, В.М. Чаругин. – М.: Просвещение, 2014. - § 45,47

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 54-СПО
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСА КРИВИЗНЫ СФЕРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Цель работы: наблюдение интерференции на сферической поверхности (колец Ньютона) и определение радиуса кривизны одной из поверхностей линзы.

Приборы и принадлежности: линза на плоской стеклянной пластине в оправе, микроскоп с осветителем отраженного света, объект-микрометр.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

При отражении от тонких слоев некогерентный пучок света расщепляется рис. 54.1 .

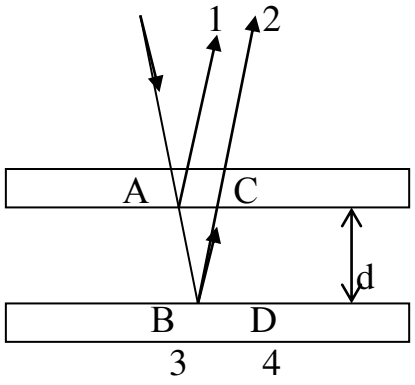


Рис. 54.1

Оптическая разность хода Δ лучей 1 и 2, отраженных от верхней и нижней поверхности тонкого слоя равна Δ=2nd+λ/2, где d - толщина пленки, n - абсолютный показатель преломления материала слоя, λ - длина волны падающего света. Условием минимума (ослабления) света при интерференции является

$$\Delta_{min}=(2k+1)\lambda/2, \qquad /54.1/$$

где k - целое число. Эта разность хода соответствует толщине слоя $d_{min}=\frac{k\lambda}{2n}$. /54.2/

Условия максимума будут иметь вид

$$\Delta_{max}=2k\lambda/2, \quad \text{и} \quad d_{max}=(2k+1)\lambda/2. \qquad /54.3/$$

В данной работе изучается интерференция лучей, отраженных от воздушного клина с n=1 между плосковыпуклой сферической линзой и плоской стеклянной пластинкой. Интерференционная картина, которую они образуют, имеет вид чередующихся темных и светлых концентрических колец с общим центром в полюсе линзы *P* (рис.54.2). Эта картина получила название колец Ньютона.

Пусть нормальный пучок света падает на линзу, лежащую на плоской стеклянной подложке, в точке *A* (рис.54.2). Рассмотрим условие, при котором в точке А отраженные от воздушного клина лучи 1 и 2 будут гасить друг друга, т.е. условие при котором через точку А проходит темное кольцо. Из ΔOAB следует, что

$$R^2-(R-d)^2=r^2, \qquad /54.4/$$

где *R* - радиус кривизны поверхности линзы; *r* - радиус кольца; *d* - толщина воздушного зазора вблизи точки А.

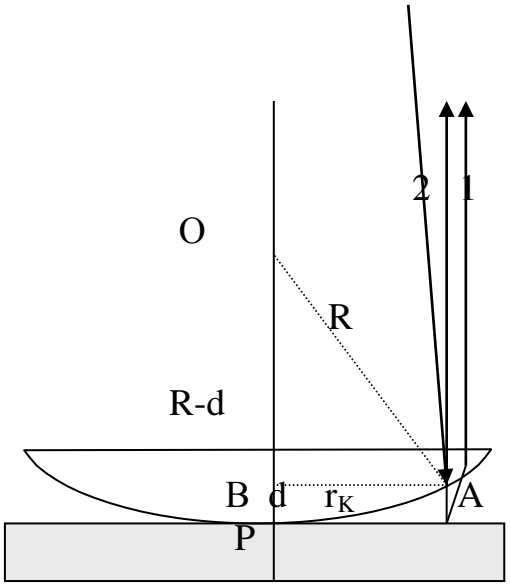


Рис.54.2

Из выражения /54.4/ следует, что при d<<R будет выполняться условие

$$r^2=2Rd. \qquad /54.5/$$

Согласно условию минимума /54.3/ радиус k–го темного кольца r_K будет связан с его номером k соотношением

$$r_K^2=R\lambda k, \qquad /54.6/$$

т.е. квадрат радиуса темного кольца Ньютона пропорционален его номеру.

Если линза прижата к подложке так, что она вблизи полюса деформирована, воздушный зазор толщиной d_K окажется дальше от центра, и *k*–е темное кольцо будет иметь больший радиус, чем при отсутствии деформации. Если же между линзой и подложкой будет зазор, радиусы колец будут, наоборот, меньше. Поэтому в общем случае зависимость r_K от k можно записать в виде

$$r_k^2 = R\lambda k + C, \qquad /54.7/$$

где C - константа, зависящая от деформации линзы. Формула /54.7/ позволяет определить радиус кривизны поверхности линзы *R,* если известен номер кольца k, длина волны света λ, радиус кольца r_k, константа C. Измерения радиусов колец производятся окулярным микрометром и выражаются числом делений его шкалы n. Если цена деления окулярного микрометра равна $C_{ок}$, то радиус кольца будет равен $r=C_{ок}n$. Подставляя в /54.7/, получаем $n_k^2 C_{ок}^2 = R\lambda k + C$, откуда получаем

$$n_k^2 = R\lambda k / C_{ок}^2 + C', \qquad /54.8/$$

где C' - новая постоянная. Типичные зависимости (1), (2), (3), соответствующие /54.8/, показаны на рис.54.3.

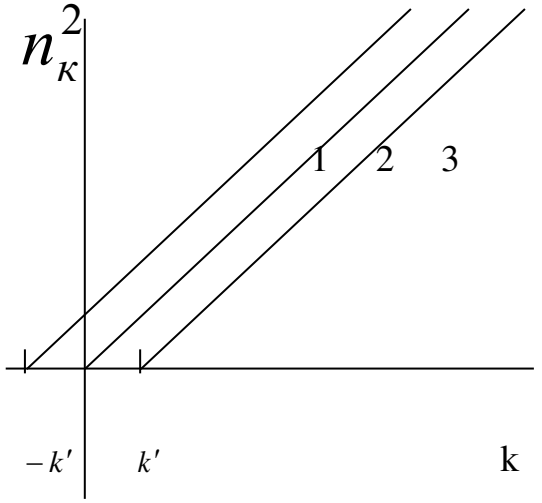


Рис.54.3

Чтобы исключить из расчета константу C', определение которой по графику недостаточно надежно, следует подставить в формулу /54.8/ два значения k_1 и k_2 и соответствующие им радиусы колец, выраженные в делениях окулярного микрометра - n_1 и n_2. Вычитая из одного выражения другое, получим расчетную формулу

$$R = \frac{n_2^2 - n_1^2}{k_2 - k_1} \cdot \frac{C_{OK}^2}{\lambda}. \qquad /54.9/$$

С помощью графика зависимости n^2 от k можно определить причину искажений интерференционной картины и найти величину деформации или толщину зазора d'. Для этого по графику (рис.54.3) определяется значение k'. Из /54.2/ находим, что

$$d' = k'\lambda./2. \qquad /54.10/$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Поместите на предметный столик микроскопа оправу с линзой на подложке и включите питание осветителя.
2. Вращением или поступательным перемещением оправы окуляра (зависит от его конструкции) добейтесь максимально резкого изображения шкалы окулярного микрометра.
3. Вертикальным перемещением тубуса микроскопа найдите и сделайте резкой интерференционную картину. Перемещением оправы линзы по предметному столику выведите центр колец как можно точнее на перекрестие диаметральных линий окулярного микрометра.
4. Запишите в таблицу результатов наблюдений номера колец, считая их от центра, и координаты диаметрально противоположных точек этих колец $n_{пр}^{\ k}$ и $n_л^{\ k}$ с точностью до половины малого деления шкалы окулярного микрометра.

Отсчет координат делайте от нуля шкалы окулярного микрометра. Данные занесите в таблицу результатов наблюдений.

5. Произведите проверку измерений. Для этого рассчитайте суммы $n_{пр}{}^{k}+n_{л}{}^{k}$, которые в идеале должны быть равными. Величину допустимого разброса согласуйте с преподавателем и, если имеется значительное расхождение результатов, повторите измерения.

6. Цену деления шкалы окуляра $C_{ОК}$ и длину волны света запишите по указанию преподавателя.

7. Определите в делениях шкалы окуляра радиусы n_K колец $n_K = \left(n_{ПР}^{k} - n_{Л}^{k}\right)/2$ и их квадраты $n_K{}^2$.

8. Постройте график зависимости $n_K^2 = f(k)$ и убедиться в его линейности (рис.54.3). Выберите на графике 2 точки, максимально удаленные друг от друга, и, подставив их координаты в формулу /54.9/, рассчитайте радиус кривизны линзы R. По графику определить искажения интерференционной картины. Найдите k' и по формуле /54.10/ вычислите величину зазора или деформации линзы d'.

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

k	$n_{пр.}$	$n_{л..}$	$n_{пр.}+n_{л.}$	$n_к$	$n_к{}^2$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте условия когерентности волн.
2. Что такое геометрическая и оптическая разности хода лучей? В каких единицах они измеряются?
3. Сформулируйте условия максимума и минимума интенсивности при интерференции.
4. Запишите формулу оптической разности хода лучей, отраженных от тонкого слоя.
5. Почему свет, отраженный от плоской поверхности линзы, не участвует в образовании интерференционной картины?
6. Запишите формулу для радиусов колец Ньютона.
7. Как по графику $n^2=f(k)$ можно определить величину деформации линзы?
8. Какие интерференционные схемы существуют?
9. Назовите области применения явления интерференции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 2014. – 446 с. §19.1, 19.2, 19.3, 19.4.

2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 11 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, В.М. Чаругин. – М.: Просвещение, 2014. - § 54, 55.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 55-СПО
ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЕТКА

Цель работы: наблюдения спектра, полученного с помощью дифракционной решетки, и измерение длины волны спектральных линий.

Приборы и принадлежности: дифракционная решетка, оптическая скамья и лазерный источник света.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

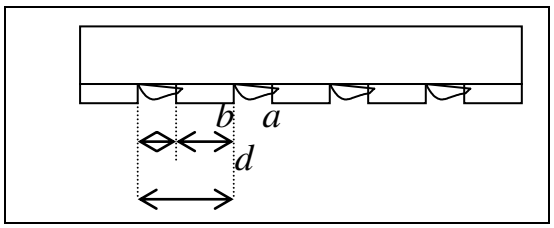


Рис.55.1

Дифракционная решетка представляет собой периодическую структуру в виде пластины, на поверхности которой нанесены с постоянным шагом параллельные штрихи (рис.55.1). Свет проходит только сквозь нетронутые резцом участки, и решетка является системой с параллельными щелями шириной a, разделенными непрозрачными промежутками шириной b. Период решетки равен $d=a+b$. Вместо периода часто задают число штрихов на единице длины $n=1/d$.

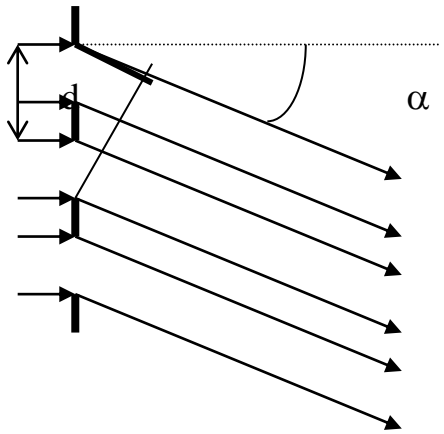


Рис.55.2

Угол наблюдения максимума дифрагированных лучей $\alpha_к$ определяется формулой дифракционной решетки /55.1/:

$$(a+b)\sin\alpha_k = d\sin\alpha_k = k\lambda. \qquad /55.1/$$

Угол наблюдения дифракционного максимума зависит от длины волны. Поэтому при освещении решетки монохроматическим светом лазера дифракционная картина представляет собой систему максимумов, расположенных симметрично относительно центральной (нулевой) полосы, которой соответствует k=0 и $\alpha_0=0$ в /4/ (рис.55.3). По значению k максимумы бывают 1–го, 2–го и

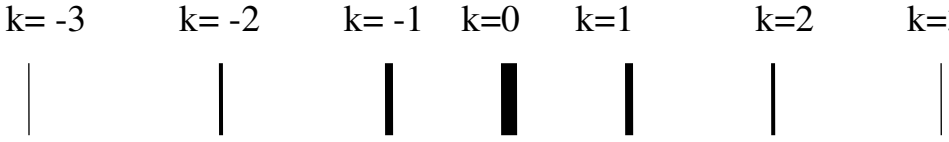


Рис.55.3

т.д. порядков.

В лабораторной работе используется оптическая скамья микролаборатории для выполнения лабораторных работ по оптике школьного курса физики произ-

водства ФГУП “Центр МНТП”. В качестве источника света используется лазер, дающий в видимой части спектра одну монохроматическую линию, длину волны которой предлагается определить.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Установите на оптической скамье источник света и дифракционную решетку.
2. Подключите источник света к батарее «Крона». На экране появится изображение нескольких максимумов.
3. С помощью линейки на оптической скамье определите расстояние L между дифракционной решеткой и экраном с точностью $\pm 10^{-3}$ м.
4. С помощью линейки измерьте расстояния x_k от центров дифракционных максимумов ±1-го, ±2-го и т.д. порядков справа и слева от центра «нулевого» максимума. Данные занесите в таблицу результатов наблюдений.
5. Произведите контроль измерений вычислением разностей x_k-x_{-k}. Если полученные разности существенно отличаются от нуля, повторите измерения.
6. Определите значение периода решетки для каждого из дифракционных максимумов (для каждого из +к и –к)По формуле

$$d = k\lambda\sqrt{1+\left(\frac{L}{x_k}\right)^2}\,. \qquad /55.2/$$

7. Рассчитайте средние абсолютную и относительную погрешности измерения абсолютного показателя преломления материала по формулам /55.3/ и /55.4/

$$\Delta d_{CP} = tg(\alpha, n)\sqrt{\frac{\sum \Delta d_i^2}{n(n-1)}}\,. \qquad /55.3/ \qquad \varepsilon_N = \frac{\Delta n_{CP}}{n_{CP}}100\% \qquad /55.4/$$

Значение надежности α выберите α=….. по заданию преподавателя, а значение коэффициента $t_{\alpha,m}$= выберите по таблице с помощью преподавателя. Результаты запишите в таблицу результатов наблюдений. Запишите окончательный результат в виде $n = n_{ср} \pm \Delta n_{ср} =$ ± , ε = ...%.

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

k	x_k,мм	L,мм	$x_k - x_{-k}$	d,10^{-7} м	Δd_i	Δd_i^2
1						
-1						
2						
-2						
3						
-3						

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие волны называют когерентными?
2. Что такое дифракция по Фраунгоферу?
3. Что такое дифракционная решетка? Для каких целей применяется дифракционная решетка?

4. Запишите формулу дифракционной решетки. Выразите период решетки через число штрихов на единицу длины.
5. Какие изменения в дифракционной картине происходят при изменении длины волны, ширины дифракционной решетки?

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 2014. – 446 с. §19.5, 19.7.
2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 11 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, В.М. Чаругин. – М.: Просвещение, 2014. - § 56.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 56-СПО
ИЗУЧЕНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОЭЛЕМЕНТОВ

Цель работы: изучить явление внешнего фотоэффекта, ознакомиться с принципом действия фотоэлементов и экспериментально исследовать зависимость фототока от напряжения.

Приборы и материалы: вакуумный и газонаполненный фотоэлементы, микроамперметр и вольтметр постоянного тока, реостат, источник постоянного тока, источник света (электрическая лампа), оптическая скамья со штативом, источник питания лампы с регулируемым напряжением.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Фотоэффект заключается в переводе электронов (фотоэлектронов) на более высокие энергетические уровни под действием квантов электромагнитного излучения (фотонов). Если электроны вылетают за пределы материала, то наблюдается внешний фотоэффект.

Столетов экспериментально установил следующие закономерности внешнего фотоэффекта:
1. Существует длинноволновая (“красная”) граница фотоэффекта, зависящая от рода металла, так что при $\lambda > \lambda_{кр}$ фотоэффект не наблюдается.
2. Максимальная скорость (кинетическая энергия) фотоэлектрона, выбитого из металла, зависит только от длины волны падающего света.
3. Максимальный фототок (фототок насыщения) прямо пропорционален световому потоку.

Эти закономерности объясняются на основании закона сохранения энергии, сформулированного Эйнштейном: $$\mathrm{E}_{ф} = A + K_{m}, \qquad /56.1/$$

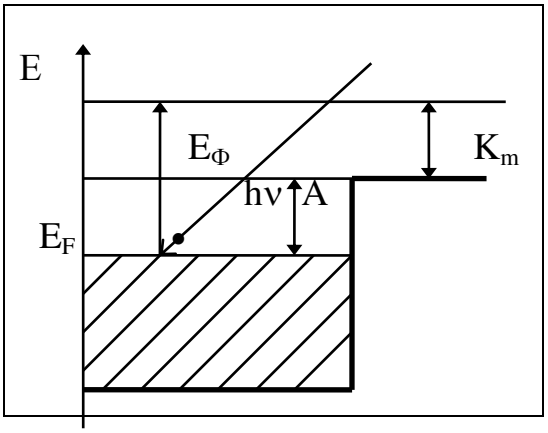


Рис.56.1

где $E_ф$ – энергия фотона, A - работа выхода электрона из металла, K_m - максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона. Графически уравнение Эйнштейна можно проиллюстрировать с помощью энергетической диаграммы (рис.56.1).

Энергия фотонов $E_ф$ передается в основном электронам, находящимся у поверхности металла и обладающим энергией, близкой к E_F – энергии Ферми. Получив энергию $E_ф$, электрон переходит на уровень $E= E_F + E_ф$, и если $E > 0$, электрон покидает металл с кинетической энергией $K_m = E_ф – A$. Если в процессе выхода фотоэлектрон передает часть энергии кристаллической решетке (сообщая ей тепловое движение) или если он выбивается с энергетического уровня ниже E_F, то его кинетическая энергия меньше, $K<K_m$.

Энергия фотона равна:

$$E_ф = h\nu = \frac{hc}{\lambda}, \qquad /56.2/$$

где h – постоянная Планка, c - скорость света, λ - длина волны света. С увеличением λ при

$$\lambda_{кр} = \frac{hc}{A} \qquad /56.3/$$

электроны перестанут вылетать из металла, т.к. $K=0$, что объясняет первый закон Столетова.

Второй и третий законы Столетова объясняются гипотезой Эйнштейна о том, что поглощение света электроном происходит порциями - квантами. Поэтому кинетическая энергия фотоэлектрона не зависит от общего количества энергии (числа фотонов), поглощенного металлом. Количество фотоэлектронов (величина фототока) прямо пропорционально световому потоку (количеству поглощенных фотонов). Сила фототока равна:

$$J = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{e\Delta N_e}{\Delta t} \sim \frac{\Delta N_ф}{\Delta t} = \frac{ФS}{E_ф}, \qquad /56.4/$$

где: ΔN_e - количество фотоэлектронов с зарядом e, $\Delta N_ф$ - количество фотонов, $Ф$ - световой поток (количество лучистой энергии, падающей в единицу времени), S - площадь электрода. Откуда $J \sim Ф$.

Явление внешнего фотоэффекта используется для создания фотоэлементов (рис.56.2). Свет, попадая на катод, выбивает фотоэлектрон, движущийся под

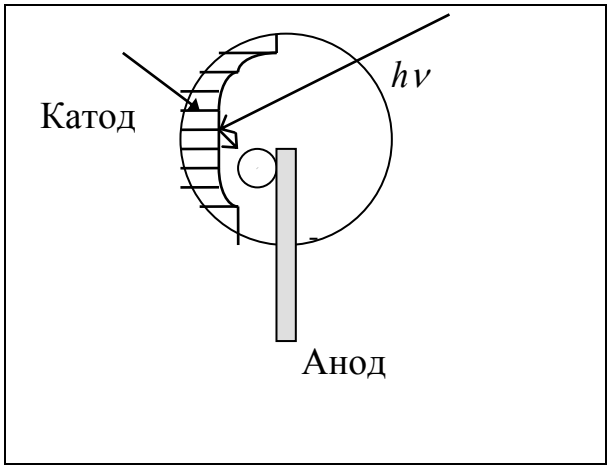


Рис.56.2

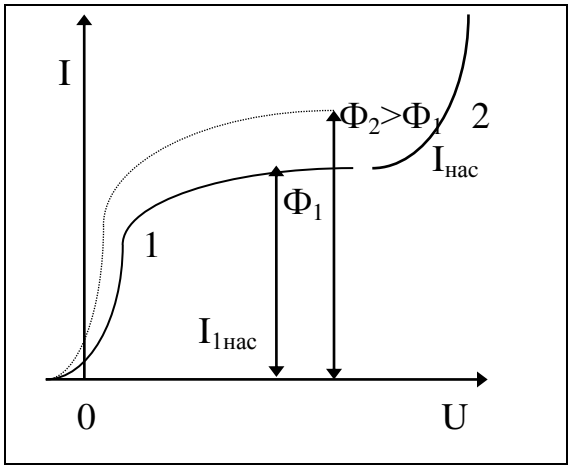


Рис.56.3

действием электрического поля к аноду. Вольт-амперная характеристика вакуумного фотоэлемента показана на рис.56.3, участок 1 сплошной кривой. В отсутствие внешнего поля $U = 0$, на катод попадают электроны за счет своей кинетической энергии и течет небольшой ток. Для его прекращения необходимо напряжение обратной полярности $U_з$, так что

$$eU_з = \frac{hc}{\lambda} - A = K_m. \qquad /56.5/$$

С увеличением приложенного напряжения ток возрастает и достигает насыщения, когда все выбитые электроны попадают на анод.

Для получения больших токов используют эффект газового усиления в газонаполненных фотоэлементах. Вольт-амперная характеристика такого элемента представлена на рис.56.3, участок 2 сплошной кривой. Эффект газового усиления возникает, когда фотоэлектрон в промежутке между столкновениями с молекулами газа приобретает энергию, большую энергии ионизации:

$$elE \geq e\varphi_{кон}, \qquad /56.6/$$

где e – заряд электрона; l - длина свободного пробега фотоэлектрона; E - напряженность внешнего поля; $\varphi_{ион}$ - потенциал ионизации. По мере роста напряжения на аноде условие ионизации /56.7/ выполняется в большей части объема и ток ионизации $J_{кон}$ возрастает так, что суммарный ток равен

$$J=J_ф+J_{ион}. . \qquad /56.7/$$

В том случае, когда конечная энергия электрона $E < 0$, возможен переход электронов на другие энергетические уровни из валентной зоны в зону проводимости и наблюдается внутренний фотоэффект. В твердых полупроводниках и диэлектриках при этом может возникать явление фотопроводимости или вентильный (фотогальванический) эффект.

Задача студента состоит в измерении величины тока в цепи вакуумного и газонаполненного фотоэлементов в зависимости от напряжения на аноде и в проверке пропорциональности фототока $J_ф$ и светового потока $Ф$, падающего на анод.

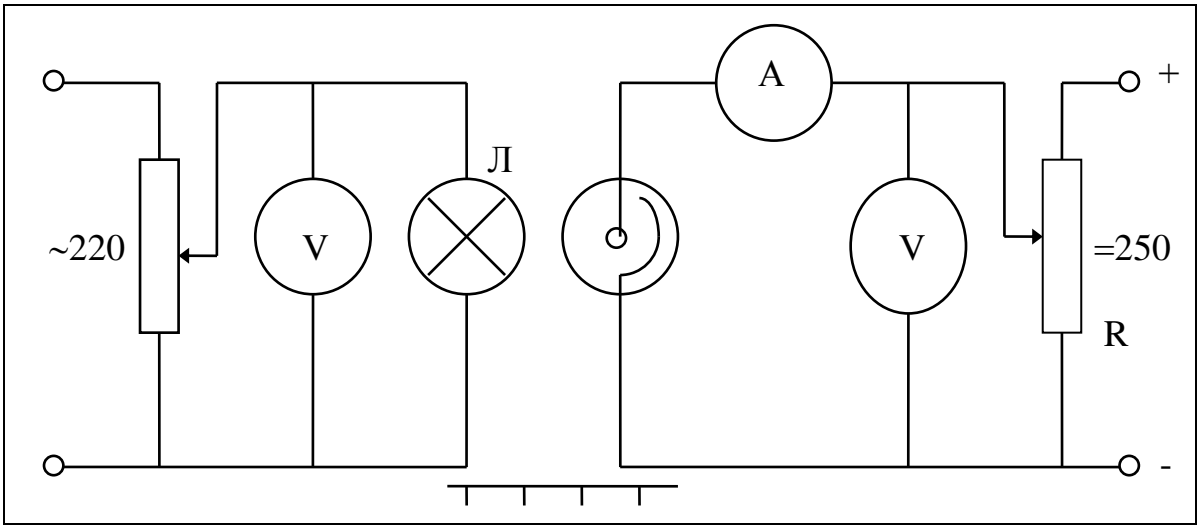


Рис.56.4

Схема установки представлена на рис.56.4. На оптической скамье на штативах с указателями положения располагается лампа *Л* и фотоэлемент *Ф* . Там же имеется измерительная линейка. Ток и напряжение на фотоэлементе изменяются делителем *R* и измеряются микроамперметром *A* и вольтметром *V*.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Собрать цепь фотоэлемента, соблюдая полярность подключения приборов. Движок реостата установить в положение, соответствующее минимальному подаваемому напряжению. Начинать работу с вакуумного фотоэлемента.
2. Отодвинуть фотоэлемент на максимальное расстояние от лампы, подать напряжение 150-200 В на фотоэлемент. Приближать фотоэлемент к лампе до достижения максимального тока через амперметр. Зафиксировать положение фотоэлемента и уменьшить напряжение до нуля.
3. Увеличивать напряжение, фиксируя величину тока через амперметр и показания вольтметра. В интервале 0…50 В напряжение менять с шагом 5 В, в интервале 60…200 В – с шагом 20 В. Величины тока и напряжения занести в таблицу результатов наблюдений. Построить график зависимости $I_Ф=f(U)$ – вольт-амперную характеристику вакуумного фотоэлемента.
4. Сменить фотоэлемент на газонаполненный и повторить операции по п. 2, 3. Величины тока и напряжения занести в таблицу результатов наблюдений. Построить график зависимости $I_Ф=f(U)$ – вольт-амперную характеристику вакуумного фотоэлемента.

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Вакуумный фотоэлемент

U, В														
$I_Ф$, мкА														

Газонаполненный фотоэлемент

U, В														
$I_Ф$, мкА														

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое фотоэффект? Что такое внутренний и внешний фотоэффект?
2. Сформулируйте законы Столетова для внешнего фотоэффекта.
3. Нарисуйте электрическую схему установки для исследования фотоэффекта.
4. Нарисуйте вольт-амперную характеристику внешнего фотоэффекта.
5. Сформулируйте и запишите уравнение Эйнштейна для фотоэффекта.
6. Объясните законы Столетова для фотоэффекта с помощью уравнения Эйнштейна.
7. Нарисуйте энергетическую диаграмму для фотоэффекта.
8. От чего зависит ток насыщения и задерживающая разность потенциалов на вольт-амперной характеристике фотоэффекта?
9. Чем и по каким причинам отличаются вольт-амперные характеристики вакуумного и газонаполненного фотоэлементов?

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 2014. – 446 с. §20.2, 20.3.
2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 11 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, В.М. Чаругин. – М.: Просвещение, 2014. - § 69, 70.

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. ПРАВИЛА ПРИБЛИЖЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ И ОКРУГЛЕНИЯ

Все цифры, приводимые в записи результата эксперимента, должны быть обоснованы, поскольку количество указанных в числе значащих разрядов связано с точностью определения данного числа. Принято считать, что если в числе указано некоторое количество разрядов (значащих цифр), то за абсолютную погрешность определения этого числа принимается половина значащего разряда после последнего указанного. Например: Указано число 3,14. Тогда за абсолютную погрешность определения этого числа принимается величина 0,005. Если берется приближенное значение некоторой табличной величины, взятое из справочника, где оно округлено до необходимого количества значащих цифр, и отброшенная при округлении цифра не известна, то за абсолютную погрешность берется половина значащего разряда после последнего указанного. Например, в справочнике дана плотность некоторого вещества ρ=0,96*10^3 кг/м^3. Тогда $\Delta\rho$=0,005*10^3 кг/м^3. Если отброшенная значащая цифра известна, то в качестве погрешности берется ее значение. Например, если π = 3,14, то $\Delta\pi$ = 0,002.

Значащие цифры, приводимые в исходных данных, определяются точностью приборов, использованных при измерениях. При этом необходимо стремиться указать измеряемую величину с максимальной точностью, которую допускает используемый для измерения прибор.

Проводя вычисления при обработке результатов измерений (проделав арифметические действия над числами) с использованием вычислительной техники, мы, как правило, получаем результат с излишним количеством значащих цифр. Высокая точность вычислений не может привести к увеличению точности результата измерений.

Поэтому при выполнении измерений, заполнении таблиц результатов наблюдений и указании результатов вычислений следует руководствоваться следующими правилами.

1. За абсолютную погрешность определения числа, заданного заранее, принимается половина значащего разряда после последнего указанного.

2. Точность табличных данных выбирается такой же, как и точность экспериментальных данных.

3. В одной графе таблицы результаты должны быть указаны с точностью до одного общего низшего разряда (количество значащих цифр в одном столбце должно быть одинаково). Если у некоторых значений измеренной величины цифры в последних разрядах нули, они также указываются.

4. При сложении (вычитании) результат округляется до общего низшего разряда, имеющегося в исходных данных. В этом случае абсолютная погрешность результата совпадает с наибольшей абсолютной погрешностью, с которой указаны исходные данные.

5. При умножении (делении, возведении в степень, логарифмировании и т.п.) результат округляется до того минимального количества значащих цифр, которое имеется у исходных данных. В этом случае относительная погрешность результата совпадает с наибольшей относительной погрешностью, с которой указаны исходные данные.

6. Абсолютная и относительная погрешности измерений округляется до одной (первой) значащей (ненулевой) цифры.

7. В среднем значении результата измерений последняя значащая цифра оставляется в том же десятичном разряде, что и значащая цифра абсолютной погрешности. При этом общий множитель, указывающий порядок величины, выносится за скобки. В большинстве случаев при выполнении лабораторных работ точность измерений можно считать правильной, если данные указаны с тремя значащими цифрами.

Примеры:

Неправильно:	Правильно:
1. (47,243 ± 0,0472) В	(47,24 ± 0,05) В
2. (12,534 ± 0,63) А	(12,5 ± 0,6) А
3. (85,26 ± 5,754) с	(85 ± 6) с
4. (1285,6 ± 354,75) мкА	$(13 \pm 4)\ 10^8$А
5. (15,035 ± 0,318) г	(15,0 ± 0,3) г

Напомним правила округления и определения числа значащих цифр.

1. Если в числе первая отбрасываемая цифра больше или равна 5, то последняя оставляемая увеличивается на единицу.

2. Если в числе первая отбрасываемая цифра меньше 5, то последняя оставляемая не изменяется.

3. Ноль является значащей цифрой, если он стоит в середине или справа в числе.

2. ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

При изучении теории электрических явлений в процессе выполнения лабораторных работ студенты проводят измерения физических величин с помощью электроизмерительных приборов. При этом они должны научиться определять тип прибора по обозначениям на них и т.п.

Электроизмерительные приборы классифицируют по следующим признакам:

1) по роду измеряемой величины;
2) по виду тока;
3) по типу отсчетного устройства;

Классификация основных типов электроизмерительных приборов по роду измеряемой величины приведена в таблице 3.

По виду тока электроизмерительные приборы подразделяются на предназначенные для измерения постоянного тока (обозначение на шкале прибора – (—)), переменного (~), трехфазного и т.п.

По типу отсчетного устройства электроизмерительные приборы бывают стрелочные, цифровые, самопишущие, цифропечатающие, осциллографы и др.

Таблица 5

Род измеряемой величины	Название прибора	Условное обозначение на шкале прибора
Сила тока I	Амперметр	A
Сила тока I	Килоамперметр	kA
Сила тока I	Миллиамперметр	mA
Сила тока I	Гальванометр	G
Напряжение U	Вольтметр	V
Напряжение U	Киловольтметр	kV
Напряжение U	Милливольтметр	mV
Сопротивление R	Омметр	Ω
Сопротивление R	Мост сопротивлений	Ω
Электрическая мощность P	Ваттметр Киловаттметр	W kW
Электрическая энергия W	Счетчик ватт-часов киловатт-часов	Wh kWh

3. МНОГОПРЕДЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Часто требуется измерять электрические величины в широких пределах с достаточной степенью точности в каждом интервале. Для этой цели удобны многопредельные приборы, в которых изменение пределов достигается включением различных шунтов для амперметров или добавочных сопротивлений

для вольтметров. Такие наборы различных шунтов или добавочных сопротивлений устанавливают внутри прибора. На панели прибора имеется несколько клемм: одна общая (обозначаемая значками (-) или (*)), а остальные подключены к различным шунтам или добавочным сопротивлениям с соответствующим пределом измерения. Может быть также только пара клемм, и в этом случае изменение пределов измерения производится переключателем на панели прибора.

Как правило, многопредельные приборы имеют одну шкалу, цена деления прибора изменяется при переключении предела. Поэтому цену деления прибора необходимо определять для каждого предела.

Многопредельный прибор надо включать так, чтобы относительная погрешность измерения была близкой к классу точности прибора.

При пользовании многопредельными приборами необходимо руководствоваться следующими правилами:

а) если заранее не известен диапазон измеряемых величин, прибор первоначально включают на максимальный предел во избежание порчи;

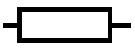
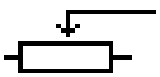
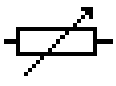
б) до начала измерений определяют приближенное значение измеряемой величины на максимальном пределе, а затем переключают прибор на тот предел, значение которого ближе всего к значению измеряемой величины, оставаясь больше нее.

в) если измеряемая величина увеличивается в процессе эксперимента, то измерения на выбранном пределе продолжают до тех пор, пока стрелка не дойдет до конца шкалы, а затем переходят на следующий предел.

При переходе с одного предела измерения на другой необходимо определять цену деления шкалы на каждом пределе.

Цена деления определяется как отношение предела измерения, на котором работает прибор, к числу делений его шкалы.

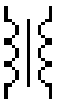
4. ОБОЗНАЧЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ

Наименование	Обозначение
1. Гальванический элемент Примечание: знаки полярности можно не ставить.	
2. Постоянный резистор (сопротивление постоянное)	
3. Реостат (сопротивление переменное) (при последовательном включении реостата для регулирования тока один отвод можно не показывать)	
Допускаемое обозначение переменного сопротивления (реостата), включаемого в цепь последовательно	
4. Конденсатор постоянной емкости	

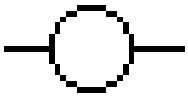
Конденсатор переменной емкости 

5. Катушка индуктивности (дроссель) без сердечника 

Катушка индуктивности (дроссель) с ферромагнитным сердечником 

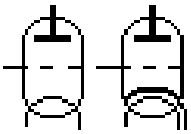
6. Трансформатор с сердечником 

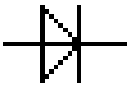
Трансформатор без сердечника 

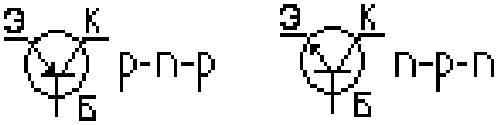
7. Прибор измерительный 

8. Диод вакуумный прямого накала 

косвенного накала 

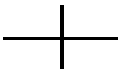
9. Триод вакуумный 

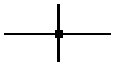
10. Диод полупроводниковый 

11. Транзистор 

12. Лампа накаливания 

13. Лампа сигнальная 

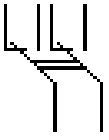
14. Пересечение проводов, электрически не соединенных 

15. Электрические провода с соединением 

16. Заземление 

17. Соединение с корпусом 

18. Выключатель однополюсный (ключ) 

19. Выключатель двойной (на два положения) 

5. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Каждый студент, выполняющий лабораторный практикум по физике, ведет два журнала: журнал наблюдений и журнал отчетов. Журнал наблюдений и журнал отчетов могут быть выполнены в виде папки или тетради и должны вестись аккуратно.

В журнале наблюдений приводятся следующие сведения:

1. Номер и название лабораторной работы.
2. Расчетные формулы.
3. Таблицы результатов наблюдений.
4. Результаты вычисления искомых физических величин.
5. Конечные результаты.

В журнале отчетов приводятся следующие сведения:

1. Номер и название лабораторной работы.
2. Цель работы.
3. Краткая теория с чертежом и принципиальной схемой лабораторной установки.
4. Таблица результатов наблюдений.
5. Графики, выполненные только на миллиметровой бумаге (если иное не предусмотрено в работе). Правила построения графиков см. ниже.
6. Результат и выводы.

Каждая лабораторная работа визируется преподавателем после выполнения (снятия данных) подписью в журнале наблюдений и после оформления - подписью в журнале отчетов. Отчеты без подписи в журнале наблюдений не принимаются. Журнал наблюдений и журнал отчетов студент сдает преподавателю в конце семестра.

6. ПРАВИЛА ПОСТРОЕНИЯ ГРАФИКОВ

Графиком называется документ, изображающий функциональную зависимость одной переменной величины от другой (или нескольких других) в системе координат.

Графики позволяют:

1. Глубже понять и наглядно представить функциональную связь физических величин (функции и аргумента).
2. Производить фактическое усреднение значений функции.
3. Производить вычисление значений функции при различных значениях аргумента.
4. Производить вычисление значений тангенса угла наклона графика к оси абсцисс (скорости изменения функции при изменении аргумента).
5. Производить вычисление значений отрезков, отсекаемых на осях координат (значения функции при нулевом значении аргумента и значения аргумента при нулевом значении функции, имеющих самостоятельный физический смысл).
6. Производить вычисление площади под графиком функции и др.

Графики выполняются после получения экспериментальных данных с соблюдением следующих правил:

1. Графики выполняются на миллиметровой бумаге (или на специальной бумаге с логарифмическим или полулогарифмическим масштабом).
2. График должен иметь размеры 10...15 см по каждой из осей. Поэтому лист миллиметровой бумаги должен иметь размеры 12...17 см по каждой из осей.
3. Независимую переменную (аргумент) следует откладывать на горизонтальной оси (оси абсцисс), а связанную с ней функцию - на вертикальной оси (оси ординат).

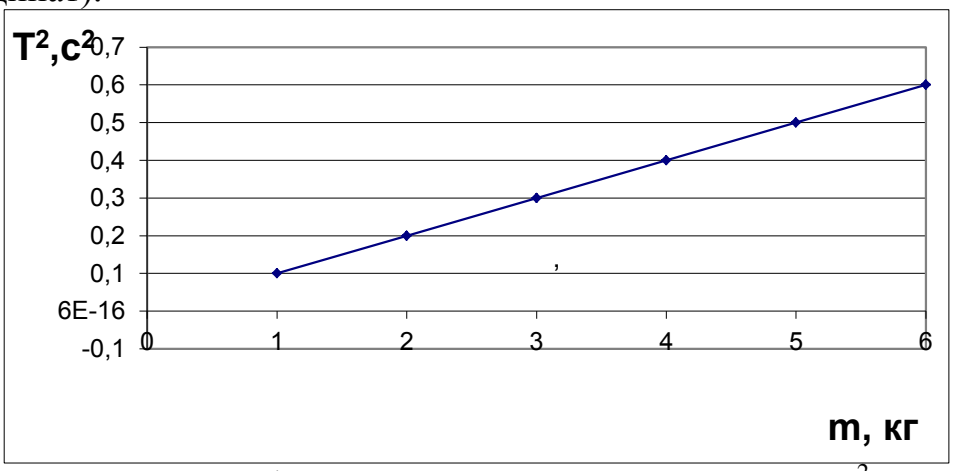


Рис.6 - График зависимости квадрата периода T^2 пружинного маятника от массы тела m

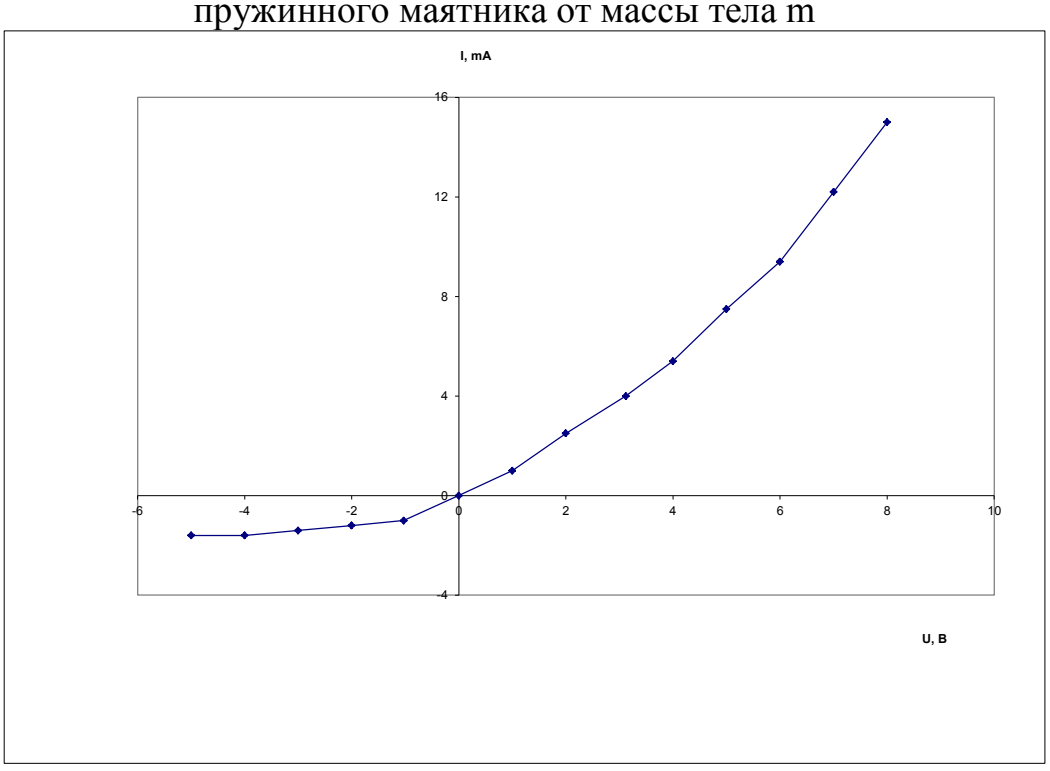


Рис.7 - Вольт-амперная характеристика полупроводникового диода

4. Направление возрастания аргумента выбирается на оси абсцисс слева направо, а функции - на оси ординат снизу вверх. Оси координат заканчиваются стрелками.
5. Точка пересечения осей координат выбирается с отступом 1-1.5 см вверх и вправо от левого нижнего угла листа (рис.6).

При наличии положительной и отрицательной ветвей графика точку пересечения осей координат удобно смещать к центру листа. При этом на графике будут построены обе ветви одновременно (рис.7).

6. Не требуется, чтобы точка пересечения осей координат обязательно совпадала с началом координат. Целесообразно, чтобы точка пересечения осей координат соответствовала или была близка к минимальным значениям аргумента и функции (рис. 9).

7. Масштаб выбирается так, чтобы у концов осей стояли значения аргумента и функции, немного превышающие те, которые наблюдались в лабораторной работе. Перед выбором масштаба необходимо определить диапазоны значений аргумента и функции. Каждый из этих диапазонов разбивается на 5...15 частей из соображений удобства. Одна такая часть выбирается в качестве единичного масштабного отрезка, соответствующего 1 см на оси координат. В результате выбирается один из следующих наиболее удобных и употребляемых масштабов: 1:10, $1:2{,}5*10^n$, $1:5*10^n$, где n=0, 1, 2, и т.д. Масштабы $1:3*10^n$, $1:7*10^n$ и т.п. неудобны и неприемлемы. При выполнении п.п. 6,7 график занимает все поле чертежа и нагляден. Его угол наклона к оси абсцисс составляет 30°..60°, так что точность определения абсциссы и ординаты близка.

8. Если обе или одна из величин изменяются в большем интервале (в пределах нескольких порядков), целесообразно применять логарифмический или полулогарифмический масштабы.

9. Масштабные отрезки отмечаются штрихами на осях координат.

10. Значения величин масштаба осей наносятся за пределами квадранта, в котором находится график (обычно ниже оси абсцисс и левее оси ординат). Таких значений на каждой оси должно быть не менее трех и не более пяти...семи через равные интервалы. Недопустимо вместо чисел, обозначающих масштаб, наносить значения величин, взятых из таблицы результатов.

11. Буквенное обозначение функции и аргумента и через запятую - кратный множитель и обозначение единиц измерения наносятся за пределами квадранта, в котором находится график, рядом со стрелками. Обозначение аргумента и функции допускается писать словами.

12.При построении на одном графике двух различных функциональных зависимостей ось ординат имеет две масштабные шкалы слева и справа. Тогда обозначения величин наносятся с соответствующей стороны.

13. Для построения прямолинейного графика необходимо не менее 3-х (лучше 5...7 и более) экспериментальных точек, а для криволинейного - 10...20 точек в зависимости от сложности.

14. На одном листе можно (и целесообразно) строить несколько вариантов одной функциональной зависимости, соответствующих различным случаям. Тогда точки на различных графиках обозначают разными символами (*, +, о и т.д.) или разным цветом (рис.9). Обозначения точек, соответствующих каждому из случаев, указывают на свободном поле графика.

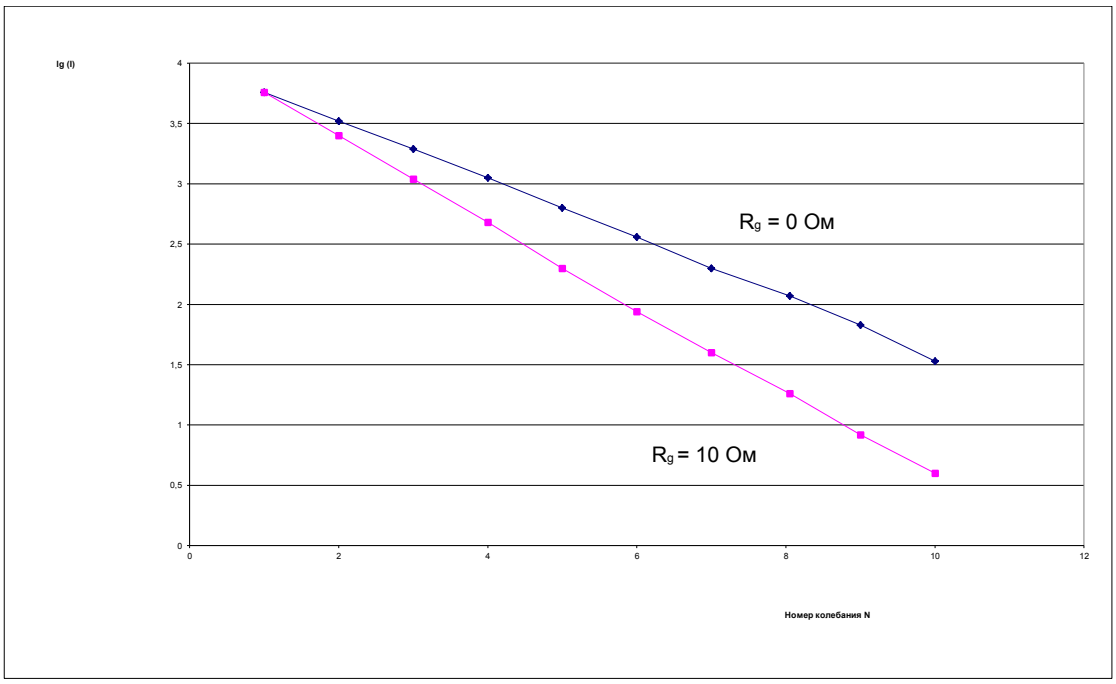


Рис.9. График зависимости натурального логарифма амплитуды затухающих колебаний 1пI от номера колебания N

15.Величину ошибки эксперимента указывают либо соответствующим размером экспериментальной точки, либо отрезками, параллельными осям координат, с длиной, равной величине погрешности. Если погрешности во всех точках одинаковы, достаточно указать такие отрезки для одной точки.

16. После нанесения всех экспериментальных точек график аппроксимируется прямой или, как правило, гладкой кривой. При этом в первом приближении количество точек с одной стороны линии примерно равно их количеству с другой стороны. Значительное удаление одной из точек от графика либо указывает на неточность измерений, либо должно быть подтверждено проверкой и объяснено.

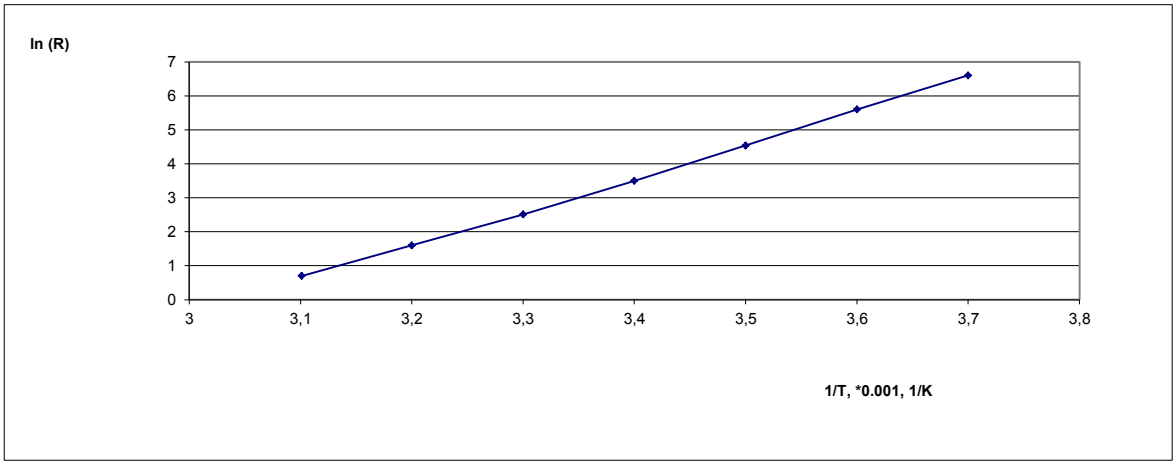


Рис. 10 - График зависимости натурального логарифма значения сопротивления полупроводника lnR от величины обратной абсолютной температуры

Более точно график строится с помощью метода наименьших квадратов, согласно которому сумма квадратов расстояний всех точек от графика должна быть минимальной;

17. Линия графика проводится сплошной линией.

18. Если в некоторой области две различные линии графика совпадают, вычерчивается одна. При совпадении линии функциональной зависимости с осью координат вычерчивается линия функциональной зависимости.

19. В подрисуночной подписи дается нумерация графика и поясняется изображенная функциональная зависимость, а если их несколько - условия, при которых они получены (рис.9).

20. На свободном поле графика необходимо пояснить все примененные на графике обозначения. Пересечение подписей и линий не допускается и при необходимости последние разрываются.

21. При вычислении физической величины, равной тангенсу угла наклона прямолинейного участка графика, экспериментальные точки, координаты которых подставляются в рабочую формулу, выбираются возможно более удаленными друг от друга (рис.6).

7.ТАБЛИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Таблица 5. Физические постоянные (константы).

Физическая постоянная	Обозначение	Значение постоянной
Элементарный заряд (электрона)	e	$1{,}60218\cdot10^{-19}$ Кл
Масса покоя электрона	m_e	$9{,}10939\cdot10^{-31}$ кг=5,48580 10^{-4} а.е.м.
Масса покоя нейтрона	m_n	$1{,}67493\cdot10^{-27}$ кг=1,008665 а.е.м.
Масса покоя протона	m_p	$1{,}6726210^{-27}$ кг=1,007276 а.е.м.
Скорость света в вакууме	c	2,99792 10^8 м/с
Постоянная Больцмана	k	$1{,}38066\cdot10^{-23}$ Дж/К
Газовая постоянная (молярная)	R	8,31451 Дж/(моль·К)
Гравитационная постоянная	G	6,67260 10^{-11} Н·м^2/кг^2
Постоянная Планка	h	$6{,}62608\cdot10^{-34}$ Дж·с
Абсолютный нуль температуры	T_0	0К=-273,15 ^{0}С
Постоянная Авогадро	N_A	$6{,}02214\cdot10^{26}$кг·моль$^{-1}$
Число Лошмидта	N_L	2,68676 10^{25} м$^{-3}$
Нормальный молярный объём	$V_н$	22,41383 м^3/моль
Постоянная Вина	b	$2{,}89776\cdot10^{-3}$м·К
Постоянная Стефана-Больцмана	σ	$5{,}67051\cdot10^{-8}$ Вт/(м^2 К)
Постоянная Ридберга	R	109737310^{-1}
Ускорение свободного падения	g	9,80665 м/с^2
Электрическая постоянная	ε	8,85419 10^{-12} Ф/м
Магнитная постоянная	μ	1,2566370 10^{-6} Гн/м
Число Фарадея	F	9,648456 10^4 Кл/моль
Атомная единица массы	а.е.м.	1,66054 10^{-27} кг
Радиус ядра водорода		1,45 10^{-15} А м.

Таблица 6. Характеристики Солнца, Земли, Луны

Физические параметры	Солнце	Земля	Луна
Радиус (по экватору) км	696000	6378,3	1738
Средняя плотность, кг/м^3	1390	5518	3350

Расстояние до Земли (среднее),км.	149,46 10^6		384440
Масса, кг	1,984 10^{30}	5,976 10^{24}	7,35 10^{22}
Период вращения вокруг оси		23ч.56м.4,1 с.	

Таблица 7. Коэффициент сухого трения качения.

Материалы	μ 10^{-4} м
Автомоб. шина легковая /грунт	5
Автомоб. шина легковая /асфальт	1,5
Автомоб. шина грузовая /мостовая	4
Автомоб. шина грузовая / асфальт	2,5

Таблица 8. Коэффициент трения покоя и трения скольжения μ_0 и μ

Материалы	Трение покоя μ_0	Трение скольжение μ		
		сухое	со смазкой	с водяной смазкой
Сталь/сталь	0,15	0,03-0,09	0,01	0,25
Сталь/железо		0,19		
Сталь/лед				0,02-0,03
Металл /металл		0,15-0,20	0,15-0,20	
Металл/дерево	0,5…0,6	0,4-0,5	0,03-0,08	0,25
Дерево/дерево	0,65	0,20-0,50	0,1	0,25
Шина автомоб./асфальт	0,55	0,50-0,70	0,15	0,35-0,45
Шина автомоб./грунт		0,40-0,60		
Шина автомоб./лед		0,15-0,20		
Подшипник скольжения			0,02-0,08	

Таблица 9. Ускорение свободного падения на различных широтах на уровне моря g, 10^{-2} м/с^2

Широта	0^0	1^0	2^0	3^0	4^0	5^0	6^0	7^0	8^0	9^0
0^0	978,030	,032	,036	,044	,055	,069	,086	,107	,130	,156
10^0	978,186	,218	,253	,291	,332	,376	,422	,471	,523	,577
20^0	978,634	,693	,754	,818	,884	,952	,022	,094	,168	,244
30^0	979,321	,400	,481	,563	,646	,730	,815	,902	,989	,077
40^0	980,166	,255	,345	,435	,525	,616	,706	,797	,887	,977
50^0	981,066	,155	,244	,331	,418	,504	,588	,672	,754	,835
60^0	981,914	,992	,068	,142	,215	,285	,355	,420	,485	,547
70^0	982,606	,663	,718	,770	,820	,867	,911	,952	,990	,026
80^0	983,058	,088	,115	,138	,159	,176	,190	,201	,209	,214
90^0	983,216									

Нормальное значение ускорения свободного падения g Земли, м/с^2. 9,80665
Формула для вычисления ускорения силы тяжести в любом месте Земли:
g =980,616-2,5928 cos (2*широта)+0,0068 cos^2 (2*широта)-0,0003 (высота м).

Таблица 10. Упругая постоянная Модуль Юнга Е твёрдых веществ

Упругие константы материала зависят от технологии обработки. Приводимые значения приближённые.

Вещество	Е, 10^{10} Н/м^2
Алюминий	7,05
Дюралюминий	7,0

Железо	21,2
Сталь	20,9
Сталь литая (отпущенная)	20,0 (22,0)
Стали легированные	21,0-22,0
Стали углеродистые	20,0-21,0
Медь	12,98
Латунь	9,7-10,2

Таблица 11. Плотность ρ при 20^0C, температурные коэффициенты линейного α и объемного β расширения (при 0-100^0C) веществ и материалов

Вещество, материал	ρ, 10^3 кг/м^3	α, 10^{-5} ^{0}C^{-1}	β, 10^{-5} ^{0}C^{-1}
Алюминий	2,71	2,38	
Дюралюминий (95%Al,4%Cu)	2,79	2,26	
Железо кованое	7,874	1,19	
Железо литое	7,85	1,02	
Чугун	7,6	1,00	
Сталь углеродистая	7,85	1,17	
Сталь нержавеющая	7,70-7,90	1,06-1,60	
Медь	8,96	1,66	
Латунь	8,30-8,70	1,84	
Бронза (80%Cu, 20%Sn)		1,75	
Титан	4,5		
Свинец	11,350	2,90	
Лёд	0,917		
Кирпич (при t=20^0C)		0,3-0,9	
Гравий(насыпная)	1,50-1,70		
Земля сухая(насыпная)	1,40-1,60		
Песок сухой(насыпная)	1,20-1,65		
Кварцевое стекло	0,6	0,6	
Стекло лабораторное		0,79-0,85	
Стекло оконное (20-200^0C)		1,0	
Фарфор		0,25-0,40	
Масло касторовое	0,960		
Трансформаторное масло	0,884.		
Керосин	0,800		96,0
Бензин			100-124
Этиловый спирт	0,789-0,791		108

Таблица 12. Коэффициент линейного расширения α,10^{-6} К$^{-1}$ при различных температурах

Материалы	Температура, К				
	0	40	100	200	300
Алюминий	0	1	11	19,5	23
Медь	0	1	9,5	15	17,5
Сталь	0	0,5	5	10	11,5
Стекло (пирекс)	0	-0,5	1,6	2,5	3,2

Таблица 13.Плотность дистиллированной воды при различных температурах

t, ^{0}C	T, К	ρ, 10^3 кг/м^3	t, ^{0}C	T, К	ρ, 10^3 кг/м^3
-10	263	0,998150	24	297	0,997299
-5	268	0,999300	25	298	0,997047
0	273	0,999841	26	299	0,996785
1	274	0,999901	27	300	0,996515
2	275	0,999941	28	301	0,996235
3	276	0,999965	29	302	0,995946

4	277	0,999973	30	303	0,995649
5	278	0,999965	31	304	0,99537
6	279	0,999941	32	305	0,99505
7	280	0,999902	33	306	0,99472
8	281	0,999849	34	307	0,99440
9	282	0,999782	35	308	0,99406
10	283	0,999701	40	313	0,992210
11	284	0,999606	50	323	0,98804
12	285	0,999498	60	333	0,98231
13	286	0,999377	70	343	0,97779
14	287	0,999244	80	353	0,97180
15	288	0,999099	90	363	0,96531
16	289	0,998943	100	373	0,95835
17	290	0,998775	150	423	0,9173
18	291	0,998596	200	473	0,8628
19	292	0,998406	250	523	0,794
20	293	0,998205	300	573	0,810
21	294	0,997994	350	623	0,574
22	295	0,997772	374,15	647,15	0,307
23	296	0,997540			

Таблица 14.Зависимость плотности этилового спирта от температуры

t, ^{0}C	10	15	20	25	30	35
T,K	283	288	293	298	303	308
ρ, 10^3 кг м$^{-3}$	0,7979	0,7936	0,7893	0,7851	0,7809	0,7767

Таблица 15.Удельная теплоёмкость воды и скорость звука в воде при различных температурах

t, ^{0}C	c, 10^3 Дж/кг К	v, м/с	t, ^{0}C	c, 10^3 Дж/кг К	v, м/с
0	4,2174	1407	60	4,1841	1556
10	4,1919	1445	70	4,1893	1561
20	4,1816	1484	80	4,1961	1557
30	4,1782	1510	90	4,2048	
40	4,1783	1528	99	4,2145	
50	4,1804	1544			

Зависимость скорости звука в воздухе от температуры t: 331,36+0,54t

Таблица 16. Удельная теплоёмкость веществ c, температура плавления $t_{пл}$ удельная теплота плавления λ, температура кипения t_k, удельная теплота парообразования L, (давление 101,3 кПа)

Вещество	t, ^{0}C	c, 10^3 Дж/(кг·К)	$t_{пл}$, ^{0}C	λ 10^3 Дж/кг	t_k, ^{0}C	L, 10^3 Дж/кг
Алюминий	20	0,896	660,1	322-394	2330	9220
Алюминий	0-200	0,92				
Железо чистое	0-100	0,465	1537	270-293	2450	6300
Железо	100-500	0,54				
Сталь 0,07-0,25% C	0-300	0,46-0,50	1350	205		
Чугун	20	0,540				
Медь	0-500	0,385	1084,5	213	2360	5410
Латунь (60%Cu, 40%Ni)	20	0,385				
Вода	20	4,19	0	333,7	100	2256
Вода	0					2500
Лёд	-40 ... 0	2,10	0	333,7		
Золото	20		1063	65,7	2700	1650

Серебро	20		960,8	104,5		
Цинк	20		419,5	111	908	
Свинец	20-100		327,3	23,0	1750	8600
Никель	15-100		1453	203	2800	6480
Стекло	20	0,67-0,84				
Фарфор	20	1,10				
Бетон	18	0,92				
Глицерин	0-100	2,43				
Керосин.	0-100	2,09				
Спирт этиловый	20	2,43-2,47	-114	66,6	78,3	846

Таблица 17.Удельная теплота сгорания q различных видов топлива

Топливо	q, МДж/кг	Топливо	q, МДж/кг
Каменный уголь	26,8-31,4	Керосин	44-46
Дрова -сухие	8,4-11	Нефть	43,5-46
Бензин	44-47	Газ природный	41-50
Дизельное	42,7		

Таблица 18.Температура кипения воды при различных давлениях

P, мм.рт.ст.	t, ^{0}C	P, мм.рт.ст.	t, ^{0}C	P, мм.рт.ст.	t, ^{0}C
680	96,9138	725	98,6846	770	100,3666
685	96,1153	730	98,8757	775	100,5484
690	97,3156	735	99,0657	780	100,7293
695	97,5146	740	99,2547	785	100,9092
700	97,7125	745	99,4426	790	101,0881
705	97,9072	750	99,6294	795	101,2661
710	98,1048	755	99,8152	799	101,4079
715	98,2992	760	100,0000		
720	98,4925	765	100,1838		

Зависимость точка кипения воды давления $t_p = 100+0,0367\ (p-760)-2,3\ 10^{-5}\ (p-760)^2$

Таблица 19.Температура кипения воды $t_{кип}$ при низких давлениях

p	t,^{0}C	p	t,^{0}C	p	t,^{0}C
кПа		кПа		кПа	
0,6	0	53,7	83	147,1	110,79
0,981	6,698	58,84	85,45	196,1	119,62
1,2	10	68,65	89,45	245,2	126,79
1,961	17,20	70,1	90	294,2	132,88
2,3	20	78,45	92,99	392,3	142,92
3,923	28,64	84,5	95	490,3	151,11
4,2	30	88,26	96,18	588,4	158,08
7,4	40	90,7	96,9	686,5	164,17
9,807	45,45	93,3	97,7	784,5	169,61
12,3	50	94,7	98,1	882,6	174,53
19,61	59,67	96,0	98,5	980,7	179,04
29,42	68,68	97,3	98,9	1961	211,38
31,1	70	98,7	99,3	2452	222,90
38,5	75	100,0	99,6	4903	262,70
39,23	75,42	98,07	99,09	9807	309,53
49,03	80,86	101,325	100,00		

Таблица 20.Коэффициент поверхностного натяжения жидкостей σ, мН/м

Вещество	0^0C	10^0C	20^0C	30^0C	40^0C	50^0C	60^0C
Ацетон CH_3COCH_3	25,21	25,0	23,32	22,01	21,16	19,9	18,61
Керосин	28,9		24				
Глицерин			59,4				
Масло касторовое			36,4				
Масло оливковое			33,06				
Спирт метиловый			22,6				
Спирт пропиловый			23,8				

Таблица 21.Коэффициент поверхностного натяжения воды и этилового спирта при различных температурах

Вещество	t ^{0}C	0	5	10	15	20	25
Вода	$\sigma 10^{-3}$ н/м	75,60	74,83	74,22	73,33	72,71	71,81
Спирт этиловый	$\sigma 10^{-3}$ н/м	24,22		23,14		22,32	
	t ^{0}C	30	35	40	45	50	60
Вода	$\sigma 10^{-3}$ н/м	71,17	70,29	69,55	68,60	67,91	66,18
Спирт этиловый	$\sigma 10^{-3}$ н/м	21,70		20,60		19,80	19,10
	t ^{0}C	70	80	90	100	120	150
Вода	$\sigma 10^{-3}$ н/м	64,42	62,61	60,75	58,85	54,9	48,63
Спирт этиловый	$\sigma 10^{-3}$ н/м			16,4		13,4	10,1
	t ^{0}C	180	210	240	300	370	
Вода	$\sigma 10^{-3}$ н/м	42,25	35,4	28,57	14,40	0,47	
Спирт этиловый	$\sigma 10^{-3}$ н/м	6,7	3,3	0,1			

Таблица 22.Увеличение коэффициента поверхностного натяжения воды при добавлении солей

Для каждого *г* безводной соли на 100 см^3 воды следует прибавить к значению для дистиллированной воды:

$CaCl_2$	$CuSO_4$	KCl	KOH	NaCl	NaOH	NH_4Cl
0,29	0,11	0,19	0,35	0,28	0,50	0,26

Таблица 23. Диаметры молекул газов

Вещество	d, 10^{-9} м	Вещество	d, 10^{-9} м
Азот	0,37	Метан	0,444
Аргон	0,36	Неон	0,354
Водород	0,27	Окись углерода	0,370
Гелий	0,215	Ртуть	0,30
Кислород	0,356	Углекислый газ	0,454
Криптон	0,314	Хлор	0,544

Таблица 24.Свойства электроизолирующих материалов

Диэлектрическая проницаемость ε, напряжённость пробивного электрического поля $E_п$, плотность ρ', удельное сопротивление ρ веществ (при 20 ^{0}C)

Материал	t ^{o}C	ε	$E_п$, 10^6 В/м	ρ', 10^3 кг/м^3	ρ, Ом м
Воздух		1,0006			
Бумага	18	2-2,5			
Карболит			10-14,5	1,2-1,3	
Текстолит					10^8-10^9
Плексиглас		3,0-3,9	18,5	1,2	10^{11}-10^{13}
Гетинакс		3,5-6,5			
Полистирол		2,2-2,8	25-50	1,05-1,65	510^{13}-510^{15}

Полиэтилен		2,7-3,5			10^{12}-10^{14}
Слюда	18	4,5-8	50-200	2,3-3,2	10^{13}-10^{16}
Кварц					1-3 10^{16}
Стекло		5-10	30-150	2,2-4,0	10^{6}-10^{15}
Фторопласт		2,5-2,7		2,14	1,2 10^{16}
Эбонит		2,5-4,5	25-100	1,3	2 10^{16}
Янтарь		2,7-2,9	20-30	1,06-1,11	5 10^{18}
Резина		2,2-3,0	16-40		10^{13}
Парафин	20	2,0-2,5	15-50		10^{14}-10^{18}
Фарфор	18	4,4-6,8			7 10^{12}-4 10^{13}
Титанат бария	20	1200			

Таблица 25.Диэлектрическая проницаемость ε жидкостей при различных температурах

Вещество	t, ^{0}C						
	0	10	20	25	30	40	50
Вода	87,83	83,86	80,08	78,25	76,47	73,02	69,73
Глицерин		56,2	39,1		39,1		
Нефть, керосин		4,7	2,05				
Масло касторовое		4,8	4,5				
Масло трансформаторное			2,1-2,5				
Спирт этиловый (14,7 ^{o}C)		26,8					

Таблица 26.Удельное сопротивление и температурный коэффициент сопротивления металлов и сплавов (при 20^{0}C)

Вещество	t, ^{0}C	ρ, 10^{-8} Ом·м	α,10^{-3} K^{-1}
Алюминий		2,82-3,21	3,862-4,9
Железо		9,8	5,0
Железо (0,1%C)		12,0	6,2
Сталь легированная		4,5	1,5
Золото		2,42	3,6
Серебро		1,62	3,6
Медь		1,75	3,9-4,15
Латунь		2,5-8	1,5-7
Бронза оловянистая		18	
Никель		7,24	5,4
Графит		1300	
Манганин (3%Ni, 12%Mn, 85%Cu)	100	42-48	0,02-5
Нейзильбер (65%Cu, 15%Ni, 20%Zn)	150-200	28-35	0,04-0,33
Константан (40%Ni, 1,2%Mn, 58,8%Cu)	500	44,0-52	0,03-1
Нихром (67,5%Ni, 1,5%Mn, 16%Fe, 15%Cr)	1000	110-112	0,17-0,25
Никелин (54Cu, 20Zn, 26Ni)	150-200	0,39-0,45	0,02-0,23
Инвар		78	2,0
Копель(43%Ni, 0,5%Mn, 56,5%Cu)		47	
Фехраль(3,5%Al, 80%Fe, 15%Cr)		130	

Таблица 27.Коэрцитивная сила, остаточная намагниченность, индукция насыщения и магнитная проницаемость некоторых веществ

Ферромагнетик	$H_к$ Эрст	$B_{ост}$ Гс	$B_{макс}$ Гс	$\mu_{макс}$
Жёсткие ферромагнетики				
Магнетит (FeO Fe_2O_3)	50	6000		
Углеродистая сталь (1%C)	40-60	9000-7000		
Хромовая сталь (3%Cr, 1%C)	60-80	10500-8500		

Мягкие ферромагнетики				
Чистое железо (отжиг в водороде	0,025	2000	21600	280000
Мягкое железо	0,5	8400	21500	8000
Трансформаторное кремнистое железо (1%Si)	0,7	15000	25000	10000
Трансформаторное железо (4%Si)	0,35	5000	20000	15000
Углеродистое железо (0,1%C)	3,0	10000	18000	3000
Чугун отожжённый (3%C)	4,6	4000	16000	2000
Пермаллой (78%Ni, 22%Fe)	0,06	5000	10000	80000

Напряжённость магнитного поля на магнитном экваторе - ~ 27,1А/м, у магнитных полюсов - ~ 52,5А/м. В районе Курской магнитной аномалии ~ 160А/м.

Таблица 28.Показатель преломления n (относительно воздуха при 20^0C 101,3 кПа для λ= 589,3 нм)

Вещество	n	Вещество	n
Алмаз	2,4173	Каменная соль	1,5443
Лёд	1,31	Слюда	1,56-1,60
Вода	1,33299	Канадский бальзам	1,542
Глицерин	1,4695	Кварцевое стекло	1,4584
Исландский шпат, необыкновенный луч	1,48643	Этиловый спирт	1,3617
Исландский шпат, обыкновенный луч	1,65836	Кронглас FK 3 Кронглас BK 1	1,46444 1,51002
Флинтглас F 3 Флинтглас SF 4	1,61279 1,75496	Кронглас BK 7 Кронглас SK 1	1,51625 1,61016
Спирт метиловый	1,33	Спирт этиловый	1,362

Таблица 29.Показатель преломления стекол для различных длин волн (20^0C).

Стекло	7590 Å красный	6563 Å	5893 Å жёлтый	4861 Å голубой	4340 Å	3970 Å фиолетовый
Легкий крон	1,510	1,5136	1,5160	1,5217	1,5262	1,531
Тяжелый крон		1,5852	1,5881	1,5949	1,6003	
Лёгкий флинт		1,5746	1,5787	1,5888	1,5973	
Тяжелый флинт		1,6415	1,6469	1,6607	1,6724	

Таблица 30.Таблица элементов Менделеева

17. Периодическая система химических элементов Д. И. Менделеева

Период	Ряд	ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ								
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
I	1	(H)						H 1 1,00797 Водород	He 2 4,0026 Гелий	
II	2	Li 3 6,939 Литий	Be 4 9,0122 Бериллий	B 5 10,811 Бор	C 6 12,01115 Углерод	N 7 14,0067 Азот	O 8 15,9994 Кислород	F 9 18,9984 Фтор	Ne 10 20,179 Неон	
III	3	Na 11 22,9898 Натрий	Mg 12 24,305 Магний	Al 13 26,9815 Алюминий	Si 14 28,086 Кремний	P 15 30,9738 Фосфор	S 16 32,064 Сера	Cl 17 35,453 Хлор	Ar 18 39,948 Аргон	
IV	4	K 19 39,102 Калий	Ca 20 40,08 Кальций	21 44,956 Sc Скандий	22 47,90 Ti Титан	23 50,942 V Ванадий	24 51,996 Cr Хром	25 54,9380 Mn Марганец	26 55,847 Fe Железо	27 58,9330 Co Кобальт	28 58,71 Ni Никель
	5	29 63,546 Cu Медь	30 65,37 Zn Цинк	Ga 31 69,72 Галлий	Ge 32 72,59 Германий	As 33 74,9216 Мышьяк	Se 34 78,96 Селен	Br 35 79,904 Бром	Kr 36 83,80 Криптон		
V	6	Rb 37 85,47 Рубидий	Sr 38 87,62 Стронций	39 88,905 Y Иттрий	40 91,22 Zr Цирконий	41 92,906 Nb Ниобий	42 95,94 Mo Молибден	43 [99] Tc Технеций	44 101,07 Ru Рутений	45 102,905 Rh Родий	46 106,4 Pd Палладий
	7	47 107,868 Ag Серебро	48 112,40 Cd Кадмий	In 49 114,82 Индий	Sn 50 118,69 Олово	Sb 51 121,75 Сурьма	Te 52 127,60 Теллур	I 53 126,9044 Иод	Xe 54 131,30 Ксенон		
VI	8	Cs 55 132,905 Цезий	Ba 56 137,34 Барий	57 138,91 La* Лантан	72 178,49 Hf Гафний	73 180,948 Ta Тантал	74 183,85 W Вольфрам	75 186,2 Re Рений	76 190,2 Os Осмий	77 192,2 Ir Иридий	78 195,09 Pt Платина
	9	79 196,967 Au Золото	80 200,59 Hg Ртуть	Tl 81 204,37 Таллий	Pb 82 207,19 Свинец	Bi 83 208,980 Висмут	Po 84 [210]* Полоний	At 85 [210] Астат	Rn 86 [222] Радон		
VII	10	Fr 87 [223] Франций	Ra 88 [226] Радий	89 [227] Ac** Актиний	104 [261] Rf Резерфордий	105 [262] Db Дубний	106 [263] Sg Сиборгий	107 [262] Bh Борий	108 [265] Hs Хассий	109 [266] Mt Мейтнерий	110

Обозначение элемента — Атомный номер

Li 3 6,939 Литий

Относительная атомная масса

Лантаноиды*	58 140,12 Ce Церий	59 140,907 Pr Празеодим	60 144,24 Nd Неодим	61 [147]* Pm Прометий	62 150,35 Sm Самарий	63 151,96 Eu Европий	64 157,25 Gd Гадолиний	65 158,924 Tb Тербий	66 162,50 Dy Диспрозий	67 164,930 Ho Гольмий	68 167,26 Er Эрбий	69 168,934 Tm Тулий	70 173,04 Yb Иттербий	71 174,97 Lu Лютеций
Актиноиды**	90 232,038 Th Торий	91 [231] Pa Протактиний	92 238,03 U Уран	93 [237] Np Нептуний	94 [244] Pu Плутоний	95 [243] Am Америций	96 [247] Cm Кюрий	97 [247] Bk Берклий	98 [252]* Cf Калифорний	99 [254] Es Эйнштейний	100 [257] Fm Фермий	101 [257] Md Менделевий	102 [255] No Нобелий	103 [256] Lr Лоуренсий

Таблица 31.Показатель преломления воды при различных длинах волн (20^0C)

λ, А	n	λ, А	n	λ, А	n
3082	1,3567	4861	1,3371	7590	1,3290
3611	1,3474	5460	1,3345	7682	1,3289
3970	1,344	5893	1,3330	10280	1,3245
4341	1,3403	6562	1,3311		

Таблица 32.Показатель преломления воды при различной температуре t^0C

Длина волны	0	10	15	20	25	30	40
6563 λ Å		1,3318	1,3315	1,33115	1,3307	1,3302	
5863 λ Å	1,3339	1,33374	1,33341	1,33299	1,33252	1,33192	1,3306
4861 λ Å		1,3378	1,3375	1,33714	1,3366	1,3360	
4340 λ Å		1,3411	1,3408	1,34055	1,3398	1,3392	
Длина волны	50	60	70	80	90	100	
5863 λ Å	1,3289	1,3272	1,3251	1,3229	1,3205	1,3178	

Таблица 33.Зависимость показателя преломления от длины волны

Об-ласть волн	λ	Стекло (15^0C)		Кварц (18^0C)		Плав. кварц	Вода 20^0C	Сильви-нит (KCl) 18^0C
		Лёгк. крон	Тяжёл крон	n_o	$n_н$			
ИК	9429							1,4587
	4200			1,4569				1,4720
	2172	1,4946	1,6153	1,5180	1,5261		1,3210	1,4750
	1256	1,5042	1,6268	1,5316	1,5402			1,4778
Види-ди-мые	670,8	1,5140	1,6434	1,5415	1,5505	1,4561	1,3308	1,4866
	643,8	1,5149	1,6453	1,5423	1,5514	1,4568	1,3314	1,4877
	589,3	1,5170	1,6499	1,5443	1,5534	1,4585	1,3330	1,4904
	486,4	1,5230	1,6637	1,5497	1,5590	1,4632	1,3371	1,4983
	404,7	1,5318	1,6852	1,5572	1,5667	1,4697	1,3428	1,5097
УФ	303,4	1,5552		1,5770	1,5872	1,4869	1,3581	1,5440
	185,2			1,6759	1,6901	1,5743		1,8270

Таблица 34.Длины волн характерных спектральных линий некоторых элементов в видимой части спектра λ А

H	6562,784	4861,327	4340,466	4340,466		
Hg	4046,56	4077,81	4347,50	4358,35	4916,04	5460,74
Hg	5675,86	5769,59	5789,66	5790,66	6123,46	6907,16
Na	4668,60	4982,84	5149,09	5153,64	5688,22	5688,22
Na	5889,965	5895,932	6154,23	6160,76		

Серия Бальмера в спектре водорода возбуждается в газовом разряде

Таблица 35.Работа выхода электронов из металлов

Металл	Алюминий	Железо	Медь	Серебро	Цинк
A, эВ	4,23	4,77	4,24	4,45	4,39

ЛИТЕРАТУРА

Фундаментальные физические константы ГСССД 1-87 /М.: Госкомстандарт СССР. 1987.

Гольдин Л. Руководство к лабораторным занятиям по физике / Л.Л. Гольдин - М.: Наука, 1973.

Кухлинг Х. Справочник по физике / Х. Кухлинг. - М.: Мир, 1982.

Скороходов Е.А. Общетехнический справочник / Е.А. Скороходов. -М.: Машиностроение, 1982.

Кошкин Н.И., Справочник по элементарной физике / Н.И. Кошкин, М.Г. Ширкевич. - М.: Наука, 1980.

Чайлдс У. Физические постоянные / У. Чайлдс. - М.: ГИЗ, 1962.

Карякин Н.И., Краткий справочник по физике. / Н.И. Карякин, К.Н. Быстров, П.С. Киреев. - М. ВШ, 1964.

Енохович А.С. Справочник по физике и технике /. А.С Енохович. - М.: Просвещение, 1983.

Учебное издание

Леонтьев Николай Георгиевич
канд. физ. мат. наук, доцент
Белоусов Александр Васильевич
канд. физ. мат. наук, доцент
Портаков Александр Борисович
канд. техн. наук, доцент

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ПРОГРАММАМ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Часть 1. Механика. Часть 2. Механические колебания. Часть 3. Молекулярная физика и термодинамика. Часть 4. Электромагнетизм. Часть 5. Геометрическая, волновая и квантовая оптика

Редакция авторская

Объём ЭИ: 2,683 Мб.
Формат ЭИ: Portable Document Format (PDF).

© Азово-Черноморский инженерный институт
ФГБОУ ВО Донской ГАУ
347740, г. ЗЕРНОГРАД Ростовской области, ул. Ленина,21.