

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания по выполнению
лабораторных работ по дисциплине «Физика»
для студентов направления подготовки 09.03.01 Информатика и
вычислительная техника,
направленность (профиль) Программное обеспечение средств
вычислительной техники и автоматизированных систем

Ставрополь, 2026

Введение

Актуальность учебной дисциплины «Физика» обусловлена необходимостью формирования у будущих специалистов теоретико-методологических компетенций, практических умений на которых базируется их профессиональная деятельность. В современных условиях важнейшим элементом подготовки бакалавров является формирование у них самостоятельности и культуры научного мышления, способности вести научную и профессиональную деятельность, навыков постановки целей, задач при решении проблемных ситуаций.

Целью лабораторных занятий является формирование профессиональных компетенций бакалавра по направлению подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника, связанных с приобретением знаний о методах научного познания природы; о современной физической картине мира; свойствах вещества и поля; об основах фундаментальных физических теорий; пространственно-временных закономерностях; динамических и статистических законах природы; элементарных частицах и фундаментальных взаимодействиях; строении и эволюции Вселенной.

Основные задачи дисциплины:

- овладение умениями проводить наблюдения, планировать и выполнять эксперименты, обрабатывать результаты экспериментов, применять теоретические знания при решении задач;
- развитие творческих способностей в процессе решения физических задач, выполнении экспериментальных заданий, подготовки рефератов, докладов;
- воспитание убежденности о необходимости разумного использования достижений науки и технологий для дальнейшего развития общества; отношения к физике как элементу общечеловеческой культуры;
- применение знаний по физике для объяснения явлений природы, принципов работы технических устройств, самостоятельного приобретения знаний, использования современных информационных технологий для поиска, переработки и представления информации по физике;
- использования приобретенных знаний и умений для решения задач, возникающих в профессиональной деятельности.

В результате изучения дисциплины у обучающихся формируются следующие компетенции (в соответствии с образовательным стандартом):

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ОПК-1. Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности.	ИД-1 _{ОПК-1} понимает основы высшей математики, физики, основы вычислительной техники и программирования. ИД-2 _{ОПК-1} решает стандартные профессиональные задачи с применением естественнонаучных и общетехнических знаний, методов математического анализа и моделирования. ИД-3 _{ОПК-1} осуществляет теоретические и экспериментальные исследования объектов профессиональной деятельности.	Понимает основы физики. Решает стандартные профессиональные задачи с применением физических знаний. Использует законы физики при теоретических и экспериментальных исследованиях объектов профессиональной деятельности.

1 СЕМЕСТР

Лабораторная работа № 1

ИЗУЧЕНИЕ КИНЕМАТИКИ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ВОЗДУШНОЙ ДОРОЖКЕ

Цель работы – экспериментальная проверка основных уравнений и законов поступательного движения тела на специально сконструированной для этого лабораторной установке – воздушной дорожке.

Оборудование и материалы: воздушная дорожка с ползуном и набором аксессуаров, секундомер с 4 измерительными датчиками, набор грузов известной массы, набор перегрузков, весы

Теория

Любое физическое явление или процесс в окружающем нас материальном мире представляет собой закономерный ряд изменений, происходящих во времени и пространстве. Механическое движение, то есть изменение положения данного тела (или его частей) относительно других тел, – это простейший вид физического процесса. Механическое движение тел изучается в разделе физики, который называется механикой. Основная задача механики – определить положение тела в любой момент времени.

Одна из основных частей механики, которая называется **кинематикой**, рассматривает движение тел без выяснения причин этого движения. Кинематика отвечает на вопрос: как движется тело?

При поступательном движении тела все точки тела движутся одинаково, и, вместо того чтобы рассматривать движение каждой точки тела, можно рассматривать движение только одной его точки.

Основные характеристики движения материальной точки: траектория движения, перемещение точки, пройденный ею путь, координаты, скорость и ускорение.

Линию, по которой движется материальная точка в пространстве, называют траекторией.

Перемещением материальной точки за некоторый промежуток времени называется вектор перемещения $\Delta \vec{r} = \vec{r} - \vec{r}_0$, направленный от положения точки в начальный момент времени к ее положению в конечный момент (рис. 1).

Скорость материальной точки представляет собой вектор, характеризующий направление и быстроту перемещения материальной точки относительно тела отсчета. Вектор ускорения характеризует быстроту и направление изменения скорости материальной точки относительно тела отсчета.

Равномерным прямолинейным движением называется такое прямолинейное движение, при котором материальная точка (тело) движется по прямой и в любые равные промежутки времени совершает одинаковые перемещения.

Вектор скорости равномерного прямолинейного движения материальной точки направлен вдоль ее траектории в сторону движения. Вектор скорости при равномерном прямолинейном движении равен вектору перемещения за любой промежуток времени, деленному на этот промежуток времени:

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

Движение, при котором за равные промежутки времени тело совершает неравные перемещения называют неравномерным или переменным. Средней скоростью $\langle \vec{v} \rangle$ называется величина, равная отношению перемещения тела $\Delta \vec{r}$ за некоторый промежуток времени Δt к этому промежутку:

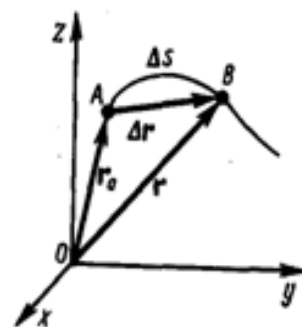


Рис. 1

$$\langle \vec{v} \rangle = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

Модуль средней скорости определяется как отношение пути ΔS , пройденного телом за некоторый промежуток времени, к этому промежутку:

$$\langle v \rangle = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Направление вектора средней скорости $\langle \vec{v} \rangle$ совпадает с направлением $\Delta \vec{r}$ (рис. 2).

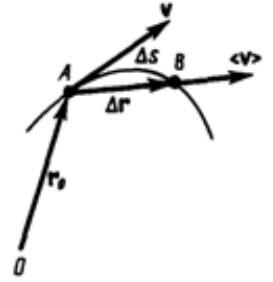


Рис. 2

При неограниченном уменьшении Δt , $\langle \vec{v} \rangle$ стремится к предельному значению, которое называется мгновенной скоростью. Итак, мгновенная скорость $\vec{v}$ есть предел, к которому стремится средняя скорость $\langle \vec{v} \rangle$, когда промежуток времени движения стремится к нулю:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

Из курса математики известно, что предел отношения приращения функции к приращению аргумента, когда последний стремится к нулю представляет собой первую производную этой функции по данному аргументу. Поэтому:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

Мгновенная скорость $\vec{v}$ есть векторная величина, равная первой производной радиуса-вектора движущейся точки по времени. Так как секущая в пределе совпадает с касательной, то вектор скорости $\vec{v}$ направлен по касательной к траектории в сторону движения (рис. 2).

При неравномерном движении тела его скорость непрерывно изменяется. Как быстро изменяется скорость тела, показывает величина, которая называется ускорением. Средним ускорением неравномерного движения в интервале от t до $t + \Delta t$ называется векторная величина, равная отношению изменения скорости $\Delta \vec{v}$ к интервалу времени Δt :

$$\langle \vec{a} \rangle = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

Мгновенным ускорением $\vec{a}$ в момент времени t будет предел среднего ускорения:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \langle \vec{a} \rangle = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Таким образом, ускорение есть векторная величина, равная первой производной скорости по времени.

Согласно второму закону Ньютона, описывающего движение материальной точки массой m под действием силы $\vec{F}$ имеет следующий вид:

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (1)$$

где $\vec{a} = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2}$ – ускорение тела.

В случае когда сила постоянна, решение уравнения (1) имеет вид:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t; \quad \vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2} \quad (2)$$

где $\vec{r}_0$ и $\vec{v}_0$ – радиус-вектор и скорость тела в момент времени $t=0$.

В настоящей работе исследуется движение тела массой M (ползуна), движущегося по горизонтальной поверхности под действием силы натяжения нити, перекинутой через блок, к концу которой привязан груз массой m (см. рис.3).

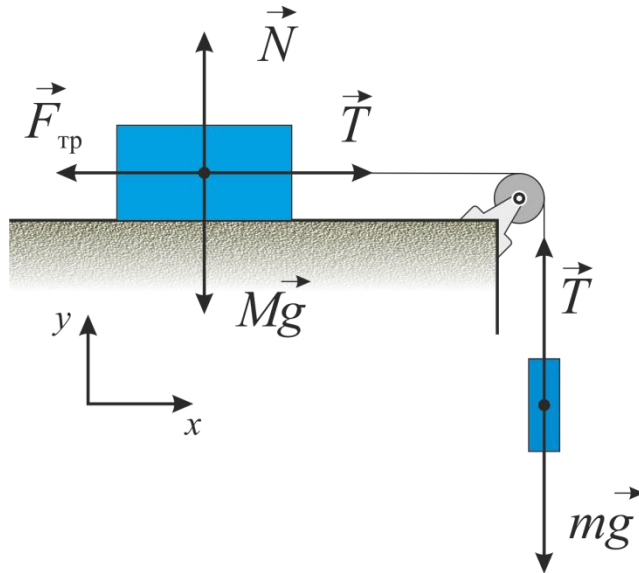


Рис. 3

При движении системы тел (груза и ползуна) связанных нитью, на груз действует сила тяжести $m\vec{g}$ и сила натяжения нити $\vec{T}$ его ускорение направленно вертикально вниз по оси y . На ползун действует сила тяжести $M\vec{g}$, сила реакции опоры $\vec{N}$, сила натяжения нити $\vec{T}$ и сила трения скольжения $\vec{F}_{тр}$. При движении ползуна на воздушной подушке сила трения скольжения сводится к минимуму, и ей можно пренебречь, по сравнению с другими силами.

Если нить считать нерастяжимой, то модули ускорений ползуна и груза будут равны. Так как масса блока, нити и сила трения в блоке малы по сравнению с массами ползуна и груза, модули сил натяжения нити будут одинаковы.

Выберем систему координат, как показано на рис.3. тогда второй закон Ньютона для груза в проекции на ось y имеет вид:

$$T - mg = -ma \quad (3)$$

а для ползуна в проекции на ось x

$$T = Ma \quad (4)$$

Решая эту систему уравнений, получим

$$a = \frac{m}{m+M}g \quad (5)$$

Стартовая система установлена таким образом, что спусковое устройство спускает ползун, не сообщая ему начальной скорости. В этом случае система уравнений будет иметь вид:

$$v = at \quad (6)$$

$$S = \frac{at^2}{2} \quad (7)$$

где $S = x - x_0$, x_0 – координата в точке пуска.

Экспериментальная установка

Экспериментальная установка представлена на рис.4. она состоит из трека 1, в котором есть отверстия для создания воздушной подушки. Воздух в трек поступает через воздухопровод 2. Ползун 3 соединен с грузом 4 нитью перекинутой через блок 5. Для запуска ползуна служит стартовая система 6, а для его остановки - передвинутый в упор 7. Время движения ползуна измеряется электронным секундомером 8, к которому присоединены фотодатчики 9-12.

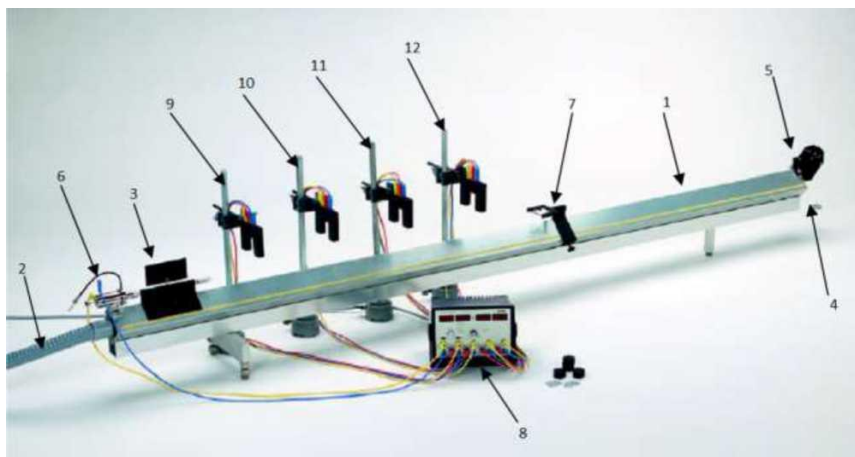


Рис.4. Экспериментальная установка для изучения равноускоренного движения

Масса ползуна может регулироваться при помощи гирь, которые надеваются на прикрепленные к нему с обеих сторон стержни. Оба стержня следует нагружать одинаково. Силу натяжения нити, действующую на ползун, можно изменять, вешая дополнительные гири на держатель.

Для взведения стартовой системы следует нажать на её стержень со стороны ползуна до упора. Излишних усилий прилагать не нужно. Запуск ползуна осуществляется нажатием на кнопку расположенную на гибком тросике стартовой системы.

Проведение эксперимента

Задание. Исследование зависимости пройденного пути и скорости ползуна от времени.

1. Расположить весы горизонтально поверхности, снять защитную крышку, включить их с помощью кнопки on/off.
2. В отсутствии груза весы должны показывать ноль. Аккуратно положить ползун без добавочных грузов на весы, и зафиксировать его массу M_0 . Таким же образом измерить массу держателя грузов m_0 .
3. Поставьте ползун на трек в точке запуска, зафиксировав его в начальном положении нажатием на стержень стартовой системы. Определите по шкале, нанесенной на трек, координату переднего края экрана ползуна в точке пуска x_0 , а также координаты фотодатчиков $x_1, \dots, x_n$.
4. Расположите четыре световых барьера таким образом, чтобы они разделяли измеряемое расстояние на отрезки примерно равной длины. Например: $S_1 = x_1 - x_0 = 20$ см, $S_2 = x_2 - x_0 = 40$ см, $S_3 = x_3 - x_0 = 60$ см, $S_4 = x_4 - x_0 = 80$ см. Последний барьер расположите так, чтобы ползун с экраном проходил под ним перед тем, как ускорющаяся гиря коснется пола. Расположите переставной упор с вилкой и гнездом на треке таким образом, чтобы ползун легко ударялся о резиновую ленту перед тем, как ускорющаяся гиря коснется пола. Проведите все последующие измерения, не изменяя положения световых барьеров.
5. Включить секундомер. Нажав кнопку «Mode» один раз, перевести его в режим измерения времени (● ) , при этом загорится лампочка у пиктограммы этого режима. Нажать два раза кнопку «Reset».
6. Перекинуть нить через блок. Нажав кнопку на тросике стартовой системы, освободить ползун. Медленно передвигая ползун вдоль трека, убедиться, что он может беспрепятственно достигнуть фотодатчиков, а держатель груза не достаёт до пола. Убедиться также в том, что световые датчики фиксируют моменты прохождения мимо них переднего края экрана.
7. Включить воздуходувку нажатием кнопки на её задней панели. Медленно повернуть ручку мощности наддува до положения 2. Подождать несколько секунд, после чего медленно повернуть ручку до положения 4.
8. С помощью гирь установить массу груза $m = 10$ г и массу ползуна $M = 210$ г. Перед запуском закрепить ползун в стартовом положении, сбросить показания секундомера, нажав кнопку

«Reset». Убедившись, что ползун и груз покоятся, нажать кнопку на тростике стартовой системы и запустить ползун. После прекращения движения снять показания секундомера t_1, t_2, t_3, t_4 . Повторить измерения четыре раза. Результаты измерений занести в таблицу отчета.

9. Постройте график зависимости пройденного пути от времени t .
10. Рассчитайте средние скорости на каждом отрезке по формуле $\langle v \rangle_i = \frac{s_i}{\langle t \rangle_i}$.
11. Результаты занести в таблицу отчета.
12. Для равноускоренного движения эти скорости равны соответствующим мгновенным скоростям $v(t)$ на этих участках в моменты времени

$$t = \frac{t_i}{2} \quad (9)$$

13. Построить график зависимости мгновенной скорости v от времени t . Убедиться, что это зависимость линейная.
14. По наклону этого графика определить ускорение системы $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, и сравнить его с теоретическим значением, рассчитанным по формуле (5).

Контрольные вопросы.

1. Что называется радиус-вектором, скоростью, ускорением материальной точки?
2. Приведите примеры движения тела под действием постоянной силы. Какова в общем случае форма его траектории и почему?
3. Как зависит координата от времени при движении с постоянным ускорением?
4. Как зависит скорость от времени при движении с постоянным ускорением?
5. Как будет зависеть ускорение линейно зависеть от массы груза при фиксированной массе ползуна?
6. Почему средняя скорость при равноускоренном движении на участке пути ΔS равна мгновенной скорости в момент времени $t = \frac{\Delta t}{2}$, где Δt - время движения на этом участке пути?

Лабораторная работа № 2

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ВОЗДУШНОЙ ДОРОЖКЕ

Цель работы – экспериментальная проверка основных уравнений и законов поступательного движения тела на специально сконструированной для этого лабораторной установке – воздушной дорожке.

Оборудование и материалы: воздушная дорожка с ползуном и набором аксессуаров, секундомер с 4 измерительными датчиками, набор грузов известной массы, набор перегрузков, весы

Теория

Любое физическое явление или процесс в окружающем нас материальном мире представляет собой закономерный ряд изменений, происходящих во времени и пространстве. Механическое движение, то есть изменение положения данного тела (или его частей) относительно других тел, – это простейший вид физического процесса. Механическое движение тел изучается в разделе физики, который называется механикой. Основная задача механики – определить положение тела в любой момент времени.

Часть механики, в которой изучаются причины, вызвавшие движение, называется динамикой. Динамика отвечает на вопрос: почему тело движется именно так, а не иначе? В основу динамики взяты три закона Ньютона.

Первый закон Ньютона.

Существуют такие системы отсчета, относительно которых тело движется равномерно и прямолинейно, если на него не действуют другие тела, или действия других тел компенсируются; эти системы отсчета называются инерциальными. Не все системы отсчета являются инерциальными.

Если система отсчета является инерциальной, то любая другая система отсчета, движущаяся относительно нее равномерно и прямолинейно, также инерциальна. Системы отсчета, движущиеся относительно инерциальной системы с ускорением, являются неинерциальными.

Принцип относительности Галилея: во всех инерциальных системах отсчета при одинаковых начальных условиях все механические явления протекают одинаково.

Инерция – это явление сохранения скорости тела. Поэтому первый закон Ньютона называют законом инерции.

Инертность – это свойство тела, заключающееся в его способности сохранять скорость. Более инертными являются тела, которые медленнее изменяют свою скорость. Мерой инертности является масса.

Масса тела – физическая величина, количественно характеризующая инертность тела.

Сила – это количественная мера взаимодействия тел. Сила является причиной изменения скорости тела. В механике Ньютона силы могут иметь различную физическую природу: сила трения, сила тяжести, упругая сила и т.д. Сила является векторной величиной. Векторная сумма всех сил, действующих на тело, называется равнодействующей силой.

Согласно второму закону Ньютона, описывающего движение материальной точки массой m под действием силы $\vec{F}$ имеет следующий вид:

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (1)$$

где $\vec{a} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$ – ускорение тела.

Если равнодействующая сила равна нулю, то тело будет оставаться в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения. Таким образом, формально второй закон Ньютона включает как частный случай первый закон Ньютона, однако первый закон Ньютона имеет более глубокое физическое содержание – он постулирует существование инерциальных систем отсчета.

Согласно третьему закону Ньютона, тела действуют друг на друга с силами, равными по модулю и противоположными по направлению.

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2 \quad (1)$$

Силы, возникающие при взаимодействии тел, всегда имеют одинаковую природу. Они приложены к разным телам и поэтому не могут уравнивать друг друга. Складывать по правилам векторного сложения можно только силы, приложенные к одному телу.

В случае когда сила постоянна, решение уравнения (1) имеет вид:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t; \quad \vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0t + \frac{\vec{a}t^2}{2} \quad (2)$$

где $\vec{r}_0$ и $\vec{v}_0$ – радиус-вектор и скорость тела в момент времени $t=0$.

В настоящей работе исследуется движение тела массой M (ползуна), движущегося по горизонтальной поверхности под действием силы натяжения нити, перекинутой через блок, к концу которой привязан груз массой m (см. рис.1).

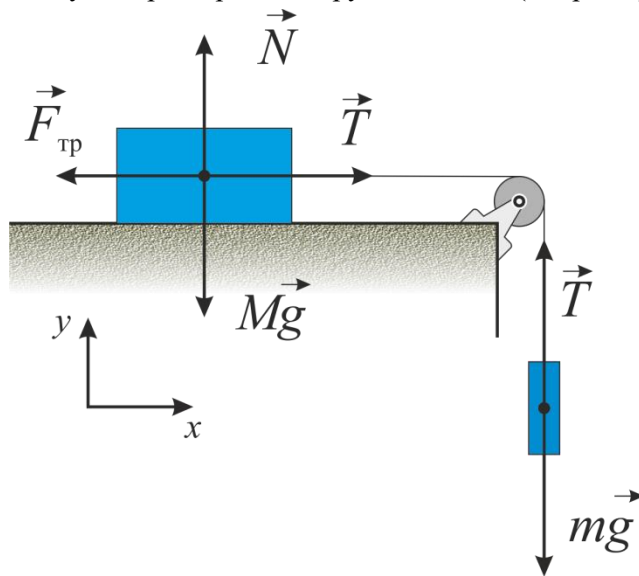


Рис. 1

При движении системы тел (груза и ползуна) связанных нитью, на груз действует сила тяжести $m\vec{g}$ и сила натяжения нити $\vec{T}$ его ускорение направленно вертикально вниз по оси y . На ползун действует сила тяжести $M\vec{g}$, сила реакции опоры $\vec{N}$, сила натяжения нити $\vec{T}$ и сила трения скольжения $\vec{F}_{тр}$. При движении ползуна на воздушной подушке сила трения скольжения сводится к минимуму, и ей можно пренебречь, по сравнению с другими силами.

Если нить считать нерастяжимой, то модули ускорений ползуна и груза будут равны. Так как масса блока, нити и сила трения в блоке малы по сравнению с массами ползуна и груза, модули сил натяжения нити будут одинаковы.

Выберем систему координат, как показано на рис.1. тогда второй закон Ньютона для груза в проекции на ось y имеет вид:

$$T - mg = -ma \quad (3)$$

а для ползуна в проекции на ось x

$$T = Ma \quad (4)$$

Решая эту систему уравнений, получим

$$a = \frac{m}{m+M}g \quad (5)$$

Стартовая система установлена таким образом, что спусковое устройство спускает ползун, не сообщая ему начальной скорости. В этом случае система уравнений будет иметь вид:

$$v = at \quad (6)$$

$$S = \frac{at^2}{2} \quad (7)$$

где $S = x - x_0$, x_0 – координата в точке пуска.

Экспериментальная установка

Экспериментальная установка представлена на рис. 2. она состоит из трека 1, в котором есть отверстия для создания воздушной подушки. Воздух в трек поступает через воздуховод 2. Ползун 3 соединен с грузом 4 нитью перекинутой через блок 5. Для запуска ползуна служит

стартовая система 6, а для его остановки - передвинутый в упор 7. Время движения ползуна измеряется электронным секундомером 8, к которому присоединены фотодатчики 9-12.

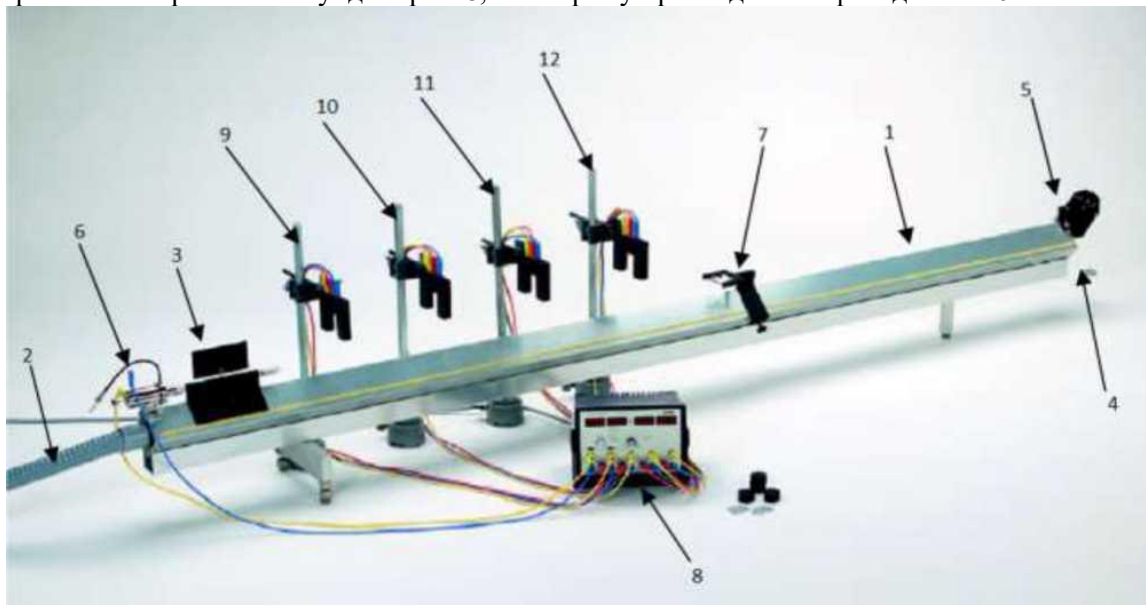


Рис.2. Экспериментальная установка для изучения равноускоренного движения

Масса ползуна может регулироваться при помощи гирь, которые надеваются на прикрепленные к нему с обеих сторон стержни. Оба стержня следует нагружать одинаково. Силу натяжения нити, действующую на ползун, можно изменять, вешая дополнительные гири на держатель.

Для взведения стартовой системы следует нажать на её стержень со стороны ползуна до упора. Излишних усилий прилагать не нужно. Запуск ползуна осуществляется нажатием на кнопку расположенную на гибком тросике стартовой системы.

Проведение эксперимента

Задание 1. Исследование зависимости ускорения ползуна от массы груза m при постоянной суммарной массе $M + m$.

1. Расположить весы горизонтально поверхности, снять защитную крышку, включить их с помощью кнопки on/off.
2. В отсутствии груза весы должны показывать ноль. Аккуратно положить ползун без добавочных грузов на весы, и зафиксировать его массу M_0 . Таким же образом измерить массу держателя грузов m_0 .
3. Поставьте ползун на трек в точке запуска, зафиксировав его в начальном положении нажатием на стержень стартовой системы. Определите по шкале, нанесенной на трек, координату переднего края экрана ползуна в точке пуска x_0 , а также координаты фотодатчиков $x_1, \dots, x_n$.
4. Расположите четыре световых барьера таким образом, чтобы они разделяли измеряемое расстояние на отрезки примерно равной длины. Например: $S_1 = x_1 - x_0 = 20$ см, $S_2 = x_2 - x_0 = 40$ см, $S_3 = x_3 - x_0 = 60$ см, $S_4 = x_4 - x_0 = 80$ см. Последний барьер расположите так, чтобы ползун с экраном проходил под ним перед тем, как ускоряющаяся гиря коснется пола. Расположите переставной упор с вилкой и гнездом на треке таким образом, чтобы ползун легко ударялся о резиновую ленту перед тем, как ускоряющаяся гиря коснется пола. Проведите все последующие измерения, не изменяя положения световых барьеров.
5. Включить секундомер. Нажав кнопку «Mode» один раз, перевести его в режим измерения времени ($\frac{\text{5}}{\text{1 2 3 4}}$), при этом загорится лампочка у пиктограммы этого режима. Нажать два раза кнопку «Reset».
6. Перекинуть нить через блок. Нажав кнопку на тросике стартовой системы, освободить ползун. Медленно передвигая ползун вдоль трека, убедиться, что он может

- беспрепятственно достигнуть фотодатчиков, а держатель груза не достаёт до пола. Убедиться также в том, что световые датчики фиксируют моменты прохождения мимо них переднего края экрана.
7. Включить воздуходувку нажатием кнопки на её задней панели. Медленно повернуть ручку мощности наддува до положения 2. Подождать несколько секунд, после чего медленно повернуть ручку до положения 4 или 5.
 8. С помощью гирь установить массу груза $m = 8$ г и массу ползуна с дополнительными гирями $M = 320$ г. Перед запуском закрепить ползун в стартовом положении, сбросить показания секундомера, нажав кнопку «Reset». Убедившись, что ползун и груз покоятся, нажать кнопку на тростике стартовой системы и запустить ползун. После прекращения движения снять показания секундомера t_1, t_2, t_3, t_4 . Повторить измерения четыре раза. Результаты измерений занести в таблицу 1.
 9. Повторить измерения для масс груза в диапазоне от 8 г до 16 г с шагом в 2 г. При этом нужно переносить гири ползуна на подставку груза, так чтобы суммарная масса $M+m=328$ г оставалась неизменной. Результаты занести в таблицу 1.
 10. Рассчитать ускорение на каждом отрезке пути по формуле (см.(7)):

$$a_i = \frac{2S_i}{t_i^2} \quad (10)$$

и определить среднее значение ускорения для каждой массы m .

11. Построить график зависимости ускорения от массы груза m . Убедиться, что эта зависимость является линейной.

Задание 2. Исследование зависимости ускорения от суммарной массы ползуна и груза при постоянной массе груза.

1. С помощью гирь установить массу груза $m=10$ г и суммарную массу ползуна и груза $M + m = 210$ г.
2. Прodelать измерения времен t_1, t_2, t_3, t_4 . Результаты измерений занести в таблицу 2.
3. Повторить измерения для масс $M + m$ в диапазоне от 210 г до 330 г с шагом 30 г. Результаты занести в таблицу 2.
4. Определить ускорение на каждом участке пути по формуле (10), и определить среднее ускорение для каждой массы $M + m$.
5. Построить график зависимости ускорения от обратной массы $\frac{1}{M+m}$. Убедиться, что зависимость является линейной (см.(5)).
6. По наклону прямой графика зависимости a от $\frac{1}{M+m}$ определить ускорение свободного падения (см.(5))

$$g = \frac{1}{m} \frac{\Delta a}{\Delta \left(\frac{1}{M+m} \right)}$$

7. Сравнить полученное значение с табличным. Сделать выводы.

Контрольные вопросы.

1. Какая система отсчета называется инерциальной? неинерциальной?
2. Сформулируйте первый закон Ньютона.
3. Что собой представляют свойства симметрии пространства и времени?
4. Что называется силой? массой? Как они вводятся в физику?
5. Сформулируйте второй закон Ньютона.
6. Сформулируйте третий закон Ньютона.
7. Как ставится основная задача динамики материальной точки?
8. Опишите экспериментальную установку и методику проведения эксперимента.
9. При каком условии силы натяжения нити по разные стороны блока можно считать одинаковыми?

10. При каком условии можно пренебречь моментом инерции блока машины, не допуская большой ошибки в расчете ускорения тел системы?

Лабораторная работа № 3

ИЗУЧЕНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Цель работы: *Изучение основных закономерностей колебательного движения математического маятника.*

Идея эксперимента

Колебательным движением механической системы называется периодическое движение системы в окрестности положения равновесия.

Время T , за которое совершается одно полное колебание, называется периодом колебаний. Величина ν , обратная периоду, называется частотой колебаний $\nu = 1/T$, а величина $\omega = 2\pi\nu$ – циклической частотой.

В настоящей лабораторной работе изучаются колебания математического маятника.

В эксперименте исследуется колебательное движение груза, подвешенного на длинной нити. Соотношение его элементов таково, что этот физический маятник с достаточной степенью точности может считаться моделью математического маятника.

Теория

Маятник – тело, совершающее колебательное движение под действием квазиупругой силы. Если подвес нерастяжим, размеры груза пренебрежимо малы по сравнению с длиной подвеса и масса нити пренебрежимо мала по сравнению с массой груза, то груз можно рассматривать как материальную точку, находящуюся на неизменном расстоянии l от точки подвеса O . Такой маятник называется *математическим*.

На маятник действуют силы: натяжения нити $\vec{T}$ и тяжести $m\vec{g}$, которые в положении равновесия компенсируют друг друга $\vec{R} = \vec{T} + m\vec{g} = 0$. Для возбуждения колебаний маятник выводят из положения равновесия (рис.1). Теперь $\vec{R} \neq 0$ и маятник обладает избыточной потенциальной энергией mgh по отношению к положению равновесия. Эта энергия обуславливает колебание, происходящее по окружности и описываемое основным уравнением динамики вращательного движения:

$$\vec{M} = I\vec{\varepsilon}, \quad (1)$$

где $\vec{M}$ – результирующий вращающий момент, $\vec{\varepsilon}$ – угловое ускорение, $I = ml^2$ – момент инерции шарика относительно оси OO' , проходящей через точку подвеса O , перпендикулярно плоскости колебаний (плоскости чертежа). Результирующий момент силы натяжения нити и силы тяжести равен

$$\vec{M} = \vec{M}_T + \vec{M}_g \quad (2)$$

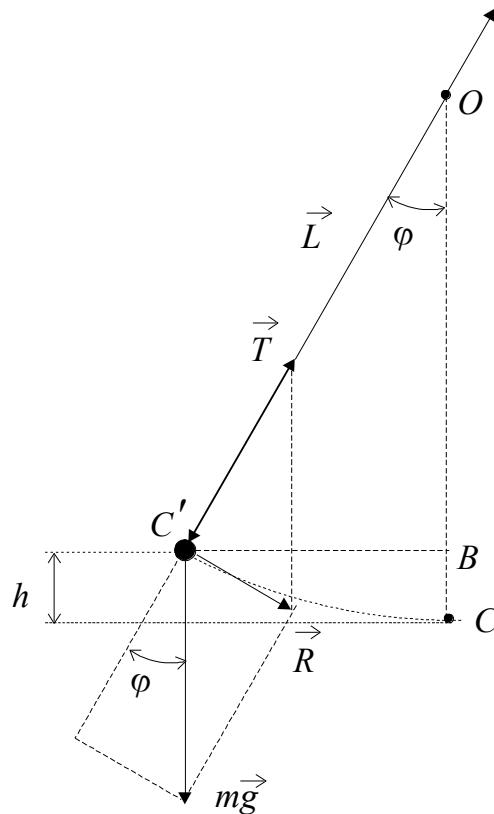


Рис. 1. Математический маятник

Тогда

$$I\vec{\varepsilon} = \vec{M}_T + \vec{M}_g \quad (3)$$

Угол $\vec{\varphi}$ – вектор, направленный от читателя вглубь, так как отсчет угла ведется по часовой стрелке. Векторы $\vec{\varepsilon}, \vec{M}_T, \vec{M}_g$ направлены по оси вращения.

Спроецируем выражение (3) на ось OO' . Примем за положительное направление оси направление вектора $\vec{\varphi}$. Тогда

$$I\varepsilon = mgl \cdot \sin(\vec{L}, \vec{g}) + \pi l \cdot \sin(\vec{T}, \vec{l}), \quad (4)$$

где $\vec{L}$ – радиус-вектор точки, модуль которого равен длине подвеса $|\vec{L}| = l$.

Очевидно, что угол $(\vec{L}, \vec{g}) = -\varphi$, а угол $(\vec{T}, \vec{l}) = 0$. Тогда

$$I\varepsilon = -mg \cdot \sin \varphi \quad (5)$$

Или, так как $\varepsilon = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \omega_0^2 \cdot \sin \varphi = 0 \quad (6)$$

Для достаточно малых углов $\sin \varphi \approx \varphi$, тогда

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \omega_0^2 \varphi = 0, \quad (7)$$

где $\omega_0^2 = \frac{g}{l}$.

Решение уравнения (7) представляет собой гармоническую функцию, соответствующую гармоническому колебанию

$$\varphi = \varphi_0 \cos(\omega_0 t + \alpha_0), \quad (8)$$

где φ_0 – амплитуда, ω_0 – частота так называемых собственных колебаний, α_0 – начальная фаза.

Период колебаний связан с циклической частотой соотношением $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$, тогда период математического маятника:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (9)$$

Из равенства (9) следует, что малые колебания математического маятника не зависят от амплитуды. Такие колебания называются изохронными.

Равенство (9) получено для колебаний маятника с малой амплитудой, когда можно пользоваться приближенной формулой $\sin \varphi \approx \varphi$. При больших амплитудах эта формула не применима и период колебаний будет зависеть от угла отклонения.

Экспериментальная установка

Используемый маятник – шарик на тонкой прочной (нерастяжимой) нити, закреплённой на штативе. Полная длина маятника l – расстояние от точки подвеса до центра тяжести шарика (рис.2).

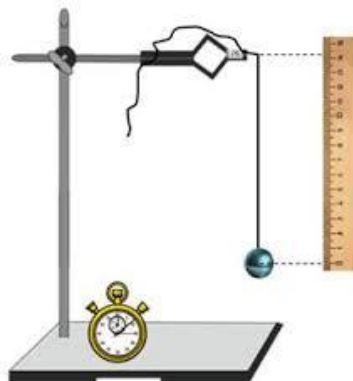


Рис. 2. Схема установки.

Проведение эксперимента

Задание 1. Проверка независимости периода колебаний математического маятника от его массы.

1. Для проверки необходимо использовать тела разной массы, но имеющие одинаковые размеры и форму, что позволяет считать силу сопротивления воздуха во всех опытах одинаковой. При этом тела не обязательно должны иметь шарообразную форму. Угол отклонения маятника из положения равновесия не должен превышать 5° .

Задание 2. Изучение зависимости периода колебаний математического маятника от его длины и определение ускорения свободного падения.

1. Подвешивают на нити стальной груз. Длину подвеса изменяют в пределах от $0,8$ до $1,8$ м с шагом приблизительно 10 см. Число колебаний в каждом опыте $10-20$. Полученные данные заносят в таблицу 2 отчета. Угол отклонения маятника из положения равновесия не должен превышать 5° .

2. Зависимость $T=f(l)$ нелинейная. Поэтому для удобства экспериментальной проверки эту зависимость следует линеализировать. Для этого можно, например, построить график зависимости квадрата периода колебаний от длины маятника $T^2=f(l)$. Если экспериментальные точки ложатся на прямую с небольшим разбросом, то можно сделать вывод о выполнении формулы (9).

3. Для определения с помощью полученного графика ускорения свободного падения необходимо найти угловой коэффициент прямой, т.е. значение тангенса угла наклона графика к оси l . Вычисляют ускорение свободного падения.

Контрольные вопросы.

1. Какое движение механической системы называется колебательным?
2. Какие колебания называются гармоническими?
3. Какая система называется математическим маятником?
4. Что такое период и частота колебаний?
5. Что такое амплитуда и фаза колебаний?

6. Какие колебания называются изохронными? Являются ли колебания математического маятника изохронными? При каком условии колебания математического маятника можно считать изохронными?

Лабораторная работа № 4 ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Цель работы: изучение основных закономерностей колебательного движения физического маятника.

Идея эксперимента

В эксперименте исследуется физический маятник, представляющий собой прямой стержень, колеблющийся вокруг осей, расположенных на разном расстоянии от центра тяжести стержня.

Теория

Колебания являются одним из наиболее распространенных видов движения. При достаточно малых отклонениях от положения равновесия колебания бывают обычно гармоническими.

Физическим маятником называется твердое тело, совершающее под действием силы тяжести колебания вокруг неподвижной горизонтальной оси O , не проходящей через центр масс C тела (рис. 1).

Если маятник выведен из положения равновесия на некоторый угол φ , то составляющая $\vec{F}_n$ силы тяжести $m\vec{g}$ уравнивается силой реакции оси O , а составляющая $\vec{F}_\tau$ стремится возвратить маятник в положение равновесия. Все силы приложены к центру масс тела. При этом

$$F_\tau = -mg \cdot \sin \varphi \quad (1)$$

Знак минус означает, что угловое смещение φ и возвращающая сила $\vec{F}_\tau$ имеют противоположные направления. При достаточно малых углах отклонения маятника из положения равновесия $\sin \varphi \approx \varphi$, поэтому $F_\tau \approx -mg\varphi$. Поскольку маятник в процессе колебаний совершает вращательное движение относительно оси O , то оно может быть описано основным законом динамики вращательного движения

$$M = J\varepsilon, \quad (2)$$

где M – момент силы F_τ относительно оси O , J – момент инерции маятника относительно оси O ,

$\varepsilon = \frac{d^2 \varphi}{dt^2}$ – угловое ускорение маятника.

Момент силы в данном случае равен

$$M = F_\tau l = -mg\varphi l, \quad (3)$$

где l – расстояние между точкой подвеса и центром масс маятника.

С учетом (2) уравнение (1) можно записать в виде

$$J \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + mgl\varphi = 0 \quad (4)$$

или

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \omega_0^2 \varphi = 0, \quad (5)$$

где $\omega_0^2 = mgl/J$

Решением дифференциального уравнения (5) является функция

$$\varphi = \varphi_0 \cos(\omega_0 t + \alpha), \quad (6)$$

позволяющая определить положение маятника в любой момент времени t . Из выражения (6) следует, что при малых колебаниях физический маятник совершает гармонические колебания

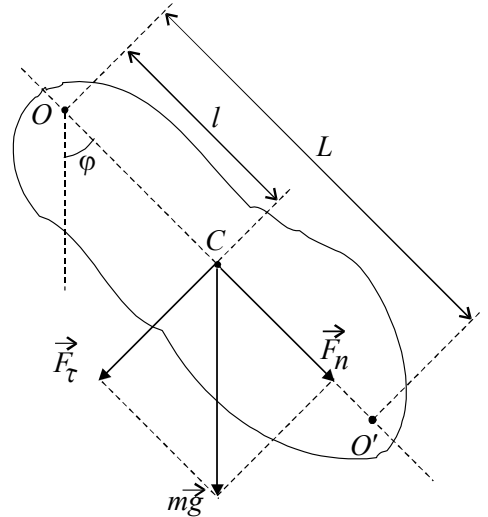


Рис. 1. Физический маятник

(колебания, при которых колеблющаяся величина изменяется со временем по законам синуса или косинуса) с амплитудой колебаний φ_0 , циклической частотой $\omega_0 = \sqrt{mgl/J}$, начальной фазой α и периодом

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mgl}} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}, \quad (7)$$

где $L = J/(mg)$ – приведенная длина физического маятника, т.е. длина такого математического маятника, период которого совпадает с периодом физического маятника.

Формула (7) позволяет определить момент инерции твердого тела относительно любой оси, если измерен период колебаний этого тела относительно этой оси.

Если физический маятник имеет правильную геометрическую форму и его масса равномерно распределена по всему объему, в формулу (7) можно подставить соответствующее выражение для момента инерции (Приложение 1). Например, для физического маятника, имеющего вид однородного стержня, колеблющегося вокруг горизонтальной оси, перпендикулярной стержню, формула (7) приобретает вид:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l^2 + d^2 / 12}{l \cdot g}}, \quad (8)$$

где d – длина стержня, l – расстояние от оси качаний до центра тяжести стержня.

Экспериментальная установка

Применяемый в данной работе физический маятник состоит из однородного металлического стержня и опорной призмы, которая может перемещаться вдоль стержня. Можно также использовать стержень с отверстиями, с помощью которых маятник одевается на горизонтальную ось. Период колебаний маятника измеряется с помощью секундомера.

Проведение эксперимента

Изучение зависимости периода колебаний физического маятника от расстояния между осью качаний и центром тяжести маятника.

Измерения

Измеряют периоды колебаний T физического маятника при различных расстояниях l между центром тяжести и осью качаний. Шаг изменения расстояния l выбирают с таким расчетом, чтобы получить 8-10 экспериментальных точек. Число колебаний в каждом опыте 15-20. Угол отклонения маятника от положения равновесия около 4° . Полученные данные заносят в таблицу 1 отчета.

Обработка результатов

1. Строят график зависимости $T^2 l = f(l^2)$.
2. Если экспериментальные точки ложатся на прямую с небольшим разбросом, то можно сделать вывод о правильности формулы периода колебаний физического маятника.
3. Используя соотношения $\frac{4\pi^2}{g} = k$ и $\frac{4\pi^2}{g} \cdot \frac{d^2}{12} = b$, где k – тангенс угла наклона прямой к оси l^2 , b – отрезок, отсекаемый прямой по оси $T^2 l$, вычисляют ускорение свободного падения g и длину стержня d .
4. Сравнивают полученное значение g с табличным значением, а величину d с длиной стержня. Делают вывод о точности проделанных измерений.

Приложение 1

Тело	Положение оси вращения	Момент инерции
Полый тонкостенный цилиндр радиусом R	Ось симметрии	mR^2
Сплошной цилиндр или диск радиусом R	Ось симметрии	$\frac{1}{2}mR^2$
Прямой тонкий стержень длиной l	Ось перпендикулярна стержню и проходит через его середину	$\frac{1}{12}ml^2$
Прямой тонкий стержень длиной l	Ось перпендикулярна стержню и проходит через его конец	$\frac{1}{3}ml^2$
Шар радиусом R	Ось проходит через центр шара	$\frac{2}{5}mR^2$

Контрольные вопросы.

1. Какое движение механической системы называется колебательным?
2. Какие колебания называются гармоническими?
3. Какая система называется физическим маятником?
4. Что такое период и частота колебаний?
5. Что такое амплитуда и фаза колебаний?
6. От чего зависит период колебаний физического маятника?

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ОБОРОТНОГО МАЯТНИКА

Цель работы – изучение метода оборотного маятника для определения ускорения свободного падения.

Приборы и оборудование: оборотный маятник, секундомер.

Идея эксперимента

Применение оборотного маятника основано на свойстве сопряженности центра качания и точки подвеса. Это свойство заключается в том, что во всяком физическом маятнике можно найти такие две точки, что при последовательном подвешивании маятника за ту или другую из них период колебаний его остается одним и тем же. Расстояние между этими точками определяет собой приведенную длину данного маятника.

Теоретическая часть

Если амплитуда физического маятника мала, то период его колебаний определяется формулой

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mgl_1}}, \quad (1)$$

где J – момент инерции физического маятника относительно оси качания, l_1 – расстояние между осью качания и центром тяжести маятника, m – масса маятника.

По теореме Гюйгенса – Штейнера

$$J = J_0 + ml_1^2, \quad (2)$$

где J_0 – момент инерции относительно оси, проходящей через центр тяжести и параллельной оси качаний, а величины J , m и l_1 те же, что и в формуле (4.1).

Если последовательно подвешивать маятник в двух точках, то периоды его колебаний определяются уравнениями

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{J_0 + ml_1^2}{mgl_1}}, \quad T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{J_0 + ml_2^2}{mgl_2}} \quad (3)$$

Отсюда имеем

$$T_1^2 gl_1 - T_2^2 gl_2 = 4\pi^2 (l_1^2 - l_2^2) \quad (4)$$

Для величины ускорения свободного падения из последней формулы после преобразований получаем уравнение, данное Бесселем:

$$g = \frac{8\pi^2 l}{T_1^2 + T_2^2} \frac{1}{1 + \frac{(T_1^2 - T_2^2)l}{(T_1^2 + T_2^2)(l_1 - l_2)}}, \quad (5)$$

где $l = l_1 + l_2$ – приведенная длина маятника.

Если периоды равны между собой ($T_1 = T_2 = T$), уравнение принимает вид

$$g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2} \quad (6)$$

Добиться полного равенства периодов нелегко. Формула Бесселя позволяет достаточно просто и с наименьшей степенью точности определить величину ускорения при приближенном равенстве периодов колебаний.

Пусть T_1 и T_2 близки друг к другу, а величины a_1 и a_2 сильно отличаются одна от другой. В этом случае, как видно из формулы (5), нет необходимости определять величины a_1 и a_2 с большой степенью точности (не точнее чем 1 мм).

Экспериментальная установка

Оборотные маятники имеют различную форму. Они обычно состоят из металлического стержня, по которому могут передвигаться и закрепляться тяжелые и легкие чечевицы (грузы) A_1 и A_2 и опорные призмы Π_1 и Π_2 (рис. 1).

Порядок выполнения работы

1. Перед началом работы законспектируйте краткую теорию.
2. Внимательно изучите лабораторную установку. Сделайте схематический рисунок ее с указанием основных элементов.

Проведение эксперимента и обработка результатов

1. Готовят оборотный маятник к измерениям. Зафиксировать чечевицы на металлическом стержне несимметрично, так чтобы одна находилась вблизи конца стержня, а другая вблизи его середины. Опорные призмы закрепить по обеим сторонам центра масс маятника, так чтобы они были обращены друг к другу вершинами. Одну из них поместить вблизи свободного конца стержня, а вторую на середине расстояния между чечевицами. Проверить, насколько прочно зафиксированы опорные призмы. Закрепить маятник на вкладыше верхнего кронштейна на призме, находящейся вблизи стержня. Подвижную чечевицу A_2 последовательно перемещают с шагом 0,5-1 см от конца маятника к призме Π_2 . В отчете выполняют чертёж маятника с указанием всех размеров, определяющих геометрию маятника.
2. Маятник приводят в колебание на опорной призме Π_1 и определяют период колебаний T_1 . Измерение периода проводят, беря не менее 10 колебаний. Угловая амплитуда колебаний не должна превышать 4° .
3. Меняют ось колебаний, подвешивая маятник на другой призме. Проводят измерения периода T_2 .
4. Перемещают чечевицу A_2 . Снова измеряют периоды колебаний на призмах Π_1 и Π_2 и т. д. Данные измерений заносят в таблицу 1 отчета.
5. По полученным данным строят графики зависимостей $T_1 = f_1(d)$ и $T_2 = f_2(d)$, где d – расстояние от призмы Π_2 до подвижной чечевицы. Точка пересечения кривых определяет такое положение чечевицы A_2 , при котором значения периодов наиболее близки.
6. Для найденного положения чечевицы A_2 определяют периоды колебаний T_1 и T_2 (в прямом и перевернутом положении маятника) с наибольшей тщательностью. Определяют время 15 – 20 колебаний маятника не менее трех раз, откуда вычисляют средние значения периодов колебаний. Данные измерений заносят в таблицу 2 отчета.
7. Для определения положения центра тяжести маятника его тщательно уравнивают на трехгранной подставке. Измерение расстояний l_1 и l_2 производят масштабной линейкой с точностью до миллиметра.
8. По полученным данным с помощью формулы Бесселя (6) определяют величину ускорения свободного падения.
9. В выводе сравнивают измеренное и табличное значения ускорения свободного падения.

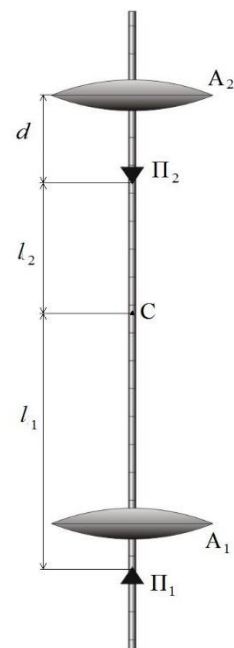


Рис. 1. Оборотный маятник

Контрольные вопросы

1. Дайте определения физического, математического, пружинного маятников.
2. К какому типу маятников относится оборотный, в чем состоит его особенность?
3. Сформулируйте теорему Гюйгенса-Штейнера.
4. Получите формулу Бесселя для расчета ускорения свободного падения.
5. Почему для расчета ускорения свободного падения нельзя воспользоваться формулой (1)?
6. Почему при выполнении работы угловая амплитуда колебаний не должна превышать 4° ?

Лабораторная работа № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА.

Цель работы: экспериментально подтвердить утверждение о том, что заряд электрона можно определить, используя явление электролиза.

Оборудование и материалы: источник питания, кювета с двумя медными электродами, амперметр, весы, провода, секундомер, медный купорос, дистиллированная вода.

Теоретическая подготовка к работе.

Сущность электролиза заключается в выделении из электролита, при протекании через электролитическую ванну постоянного тока, частиц вещества и осаждении их на погруженных в ванну электродах (электроэкстракция) или в переносе веществ с одного электрода через электролит на другой (электролитическое рафинирование). В обоих случаях цель процессов – получение возможно более чистых незагрязненных примесями веществ.

В отличие от электронной электропроводности металлов в электролитах (растворах солей, кислот и оснований в воде и в некоторых других растворителях, а также в расплавленных соединениях) наблюдается ионная электропроводность.

Электролиты являются проводниками второго рода. В этих растворах и расплавах имеет место электролитическая диссоциация – распад на положительно и отрицательно заряженные ионы.

Если в сосуд с электролитом – электролизер поместить электроды, присоединенные к электрическому источнику энергии, то в нем начнет протекать ионный ток, причем положительно заряженные ионы – катионы будут двигаться к катоду (это в основном металлы и водород), а отрицательно заряженные ионы – анионы (хлор, кислород) – к аноду.

У анода анионы отдают свой заряд и превращаются в нейтральные частицы, оседающие на электроде. У катода катионы отбирают электроны у электрода и также нейтрализуются, оседая на нем, причем выделяющиеся на электродах газы в виде пузырьков поднимаются вверх.

Электрический ток во внешней цепи представляет собой движение электронов от анода к катоду (рис. 1). При этом раствор обедняется, и для поддержания непрерывности процесса электролиза приходится его обогащать. Так осуществляют извлечение тех или иных веществ из электролита (электроэкстракцию).

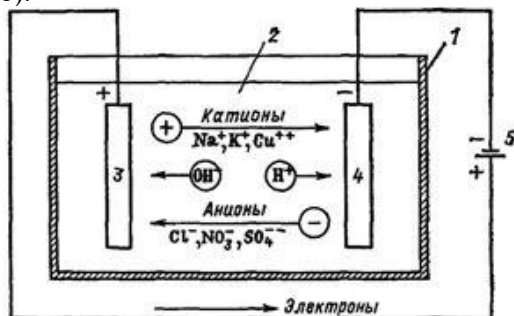


Рис. 1. Процессы, протекающие при электролизе. Схема электролизной ванны: 1 - ванна, 2 - электролит, 3 - анод, 4 - катод, 5 - источник питания.

Если же анод может растворяться в электролите по мере обеднения последнего, то частицы его, растворяясь в электролите, приобретают положительный заряд и направляются к катоду, на котором осаждаются, тем самым осуществляется перенос материала с анода на катод. Так как при этом процесс ведут так, чтобы содержащиеся в металле анода примеси не переносились на катод, такой процесс называется электролитическим рафинированием.

Если электрод поместить в раствор с ионами того же вещества, из которого он изготовлен, то при некотором потенциале между электродом и раствором не происходит ни растворения электрода, ни осаждения на нем вещества из раствора.

Такой потенциал называется нормальным потенциалом вещества. Если на электрод подать более отрицательный потенциал, то на нем начнется выделение вещества (катодный процесс), если же более положительный, то начнется его растворение (анодный процесс).

Если в электролите имеются ионы разных металлов, то первыми на катоде выделяются ионы, имеющие меньший отрицательный нормальный потенциал (медь, серебро, свинец, никель), щелочноземельные металлы выделить труднее всего. Кроме того, в водных растворах всегда имеются ионы водорода, которые будут выделяться ранее, чем все металлы, имеющие отрицательный нормальный потенциал, поэтому при электролизе последних значительная или даже большая часть энергии затрачивается на выделение водорода.

Путем специальных мер можно воспрепятствовать в известных пределах выделению водорода, однако металлы с нормальным потенциалом меньше 1 В (например, магний, алюминий, щелочноземельные металлы) получить электролизом из водного раствора не удастся. Их получают разложением расплавленных солей этих металлов.

Течение катодных и анодных реакций при электролизе определяется следующими двумя законами Фарадея.

1. Масса вещества m , выделившегося при электролизе на катоде или перешедшего с анода в электролит, пропорциональна количеству прошедшего через электролит электричества $q=It$ (I – сила тока, t – время): $m = kq$, здесь k – электрохимический эквивалент вещества, г/Кл. Электрохимический эквивалент численно равен массе вещества, выделившегося при прохождении через электролит единичного электрического заряда, и зависит от химической природы вещества.

2. Электрохимические эквиваленты различных веществ относятся, как их химические эквиваленты. Химическим эквивалентом иона называется отношение молярной массы (M) иона к его валентности n . Поэтому электрохимический эквивалент:

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n}$$

$F = 96485,3383$ Кл/моль – постоянная Фарадея.

Электрохимический эквивалент вещества представляет собой массу вещества в граммах, выделяемую единицей проходящего через электролитическую ванну количества электричества – кулоном (ампер-секундой).

На основании двух этих законов можно сформулировать объединенный закон Фарадея:

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n} It \quad (1)$$

Для меди $M = 63,54$ г/моль, $n = 2$, $k = 63,54/96480 \cdot 2 = 0,000329$ г/Кл, для никеля $k = 0,000304$ г/Кл, для цинка $k = 0,00034$ г/Кл.

В действительности масса выделившегося вещества всегда меньше указанной, что объясняется рядом побочных процессов, проходящих в ванне (например, выделением водорода на катоде), утечками тока и короткими замыканиями между электродами.

Отношение массы фактически выделившегося вещества к массе его, которая должна была бы выделиться по закону Фарадея, носит название выхода вещества по току η .

Следовательно, для реального процесса $m = \eta \cdot \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n} It$. Естественно, всегда $\eta < 1$.

Применение электролиза

Электролиз широко применяют в технике для различных целей. Электролитическим путём покрывают поверхность одного металла тонким слоем другого (никелирование, хромирование, омеднение и т.п.). Это прочное покрытие защищает поверхность от коррозии.

Если обеспечить хорошее отслаивание электролитического покрытия от поверхности, от которую осаждается металл (этого достигают, например, нанося на поверхность графит), то можно получить копию с рельефной поверхности.

В полиграфической промышленности такие копии (стереотипы) получают с матриц (оттиск набора на пластичном материале), для чего осаждают на матрицах толстый слой железа или другого материала. Это позволяет воспроизвести набор в нужном количестве экземпляров. Если раньше тираж книги ограничивался числом оттисков, которые можно получить с одного набора (при печатании набор стирается), то сейчас использование стереотипов позволяет значительно

увеличить тираж. Правда, в настоящее время с помощью электролиза получают стереотипы только для книг высококачественной печати.

Процесс получения отслаиваемых покрытий – гальванопластика был разработан русским учёным Б.С. Якоби (1801–1874), который в 1836 г. применил этот способ для изготовления полых фигур для Исаакиевского собора в Ленинграде.

При помощи электролиза осуществляют очистку металлов от примесей. Так, полученную из руды неочищенную медь отливают в форме толстых листов, которые затем помещают в ванну в качестве анодов. При электролизе медь анода растворяется, примеси, содержащие ценные и редкие металлы выпадают на дно, а на катоде оседает чистая медь.

При помощи электролиза получают алюминий из расплавов бокситов. Именно этот способ получения алюминия сделал его дешёвым и наряду с железом самым распространённым в технике и быту металлом.

Методика и ход проведения эксперимента.

Поскольку число Фарадея можно представить как

$$F = N_A \cdot e, \quad (2)$$

где $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ – число Авогадро, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона. Из объединенного закона Фарадея для электролиза (1) и равенства (2) следует, что заряд электрона может быть определен соотношением:

$$e = \frac{M}{mnN_A} It, \quad (3)$$

где m – масса вещества, выделившегося на катоде, M – его молярная масса, n – валентность этого вещества, N_A – число Авогадро, I – сила тока при электролизе, t – время протекания тока.

Электрическая схема экспериментальной установки приведена на рис. 2. В качестве электролита используют водный раствор медного купороса. В кювету устанавливают два медных электрода на расстоянии 3-4 см один от другого.

1. Измерьте массу электрода m_1 , который в последствии будет подключен к отрицательному полюсу источника электропитания.
2. Соберите электрическую цепь по рис. 2, соблюдая полярность («+» к «+», «-» к «-»). Электроды подключают к цепи, вставляя их отогнутые лепестки в прорези штекеров соединительных проводов.
3. Приготовьте насыщенный раствор медного купороса.
4. Подключите источник питания к электросети и заполните кювету раствором медного купороса, значение тока должно быть порядка 0,3 А.
5. Включите источник и одновременно с этим начните отсчет времени. Запишите первое показание амперметра.
6. На протяжении 20 минут с интервалом в одну минуту измеряйте и записывайте величину силы тока в цепи.
7. **Отключите источник электропитания!**
8. Аккуратно (чтобы не осыпалась медь) достаньте и просушите катод, просушите его не менее 15-20 минут, измерьте массу катода m_2 .
9. Вычислите массу осевшей на катоде меди: $m = m_2 - m_1$.
10. Определите по формуле (3) величину заряда электрона.

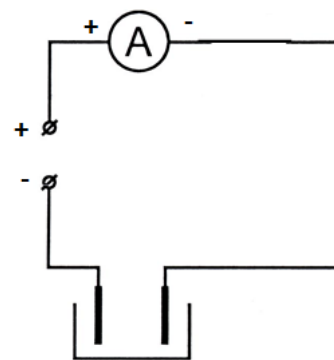


Рис. 2

Контрольные вопросы:

1. Что такое электролиз?
2. Что такое электролитическая диссоциация?
3. Какие заряженные частицы являются носителями тока в электролите и во внешней цепи?
4. Какова причина направленного движения ионов в электролите?
5. Сформулируйте основные законы электролиза.
6. Каково применение электролиза?

Лабораторная работа № 7

ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Запустите программу «Эл-магн.Кванты». Выберите «Электричество и магнетизм» и «Цепи постоянного тока». Нажмите вверху внутреннего окна кнопку с изображением страницы. Прочитайте краткие теоретические сведения. Необходимое запишите в свой конспект.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- * Знакомство с компьютерным моделированием цепей постоянного тока.
- * Экспериментальное подтверждение законов Ома и Кирхгофа.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ:

$$I = \frac{dq}{dt}$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ (СИЛЫ) ТОКА

ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ: величина (сила) тока, текущего по однородному (в смысле отсутствия сторонних сил) металлическому проводнику, пропорциональна падению напряжения U

$$I = \frac{1}{R} U$$

на проводнике, где R - сопротивление проводника.

РЕЗИСТОРом называется устройство, обладающее заданным постоянным сопротивлением.

НАПРЯЖЕНИЕ НА РЕЗИСТОРЕ $U_R = IR$

ЗАКОН ОМА ДЛЯ НЕОДНОРОДНОГО УЧАСТКА ЦЕПИ

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + E_{12}}{R}$$

, где φ_1 и φ_2 - потенциалы концов участка E_{12} - э.д.с., действующая на данном участке цепи.

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

ЗАКОН ОМА ДЛЯ ЗАМКНУТОЙ ЦЕПИ, где E - суммарная э.д.с., действующая в цепи, R - суммарное сопротивление всей цепи.

РАЗВЕТВЛЕННОЙ ЦЕПЬЮ называется электрическая цепь, имеющая узлы.

УЗЛОМ называется точка, в которой сходится более чем два проводника. Ток, текущий к узлу, принято считать положительным, а ток, текущих от узла, считается отрицательным.

ПЕРВОЕ ПРАВИЛО КИРХГОФА: алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю

$$\sum I_k = 0.$$

ВТОРОЕ ПРАВИЛО КИРХГОФА: в каждом из замкнутых контуров, которые можно мысленно выделить в данной разветвленной цепи, алгебраическая сумма падений напряжения равна алгебраической сумме э.д.с.

$$\sum I_k R_k = \sum E_k$$

При анализе разветвленной цепи следует обозначать с одним индексом ток, протекающий по всем последовательно соединенным элементам от одного узла до другого. Направление каждого тока выбирается произвольно.

При составлении уравнений второго правила Кирхгофа токам и э.д.с. нужно приписывать знаки в соответствии с выбранным (как вам удобно) направлением обхода:

- ток принято считать положительным, если он совпадает с направлением обхода, и отрицательным, если он направлен против этого направления;
- э.д.с. считается положительной, если ее действие (создаваемый ею ток) совпадает с направлением обхода.

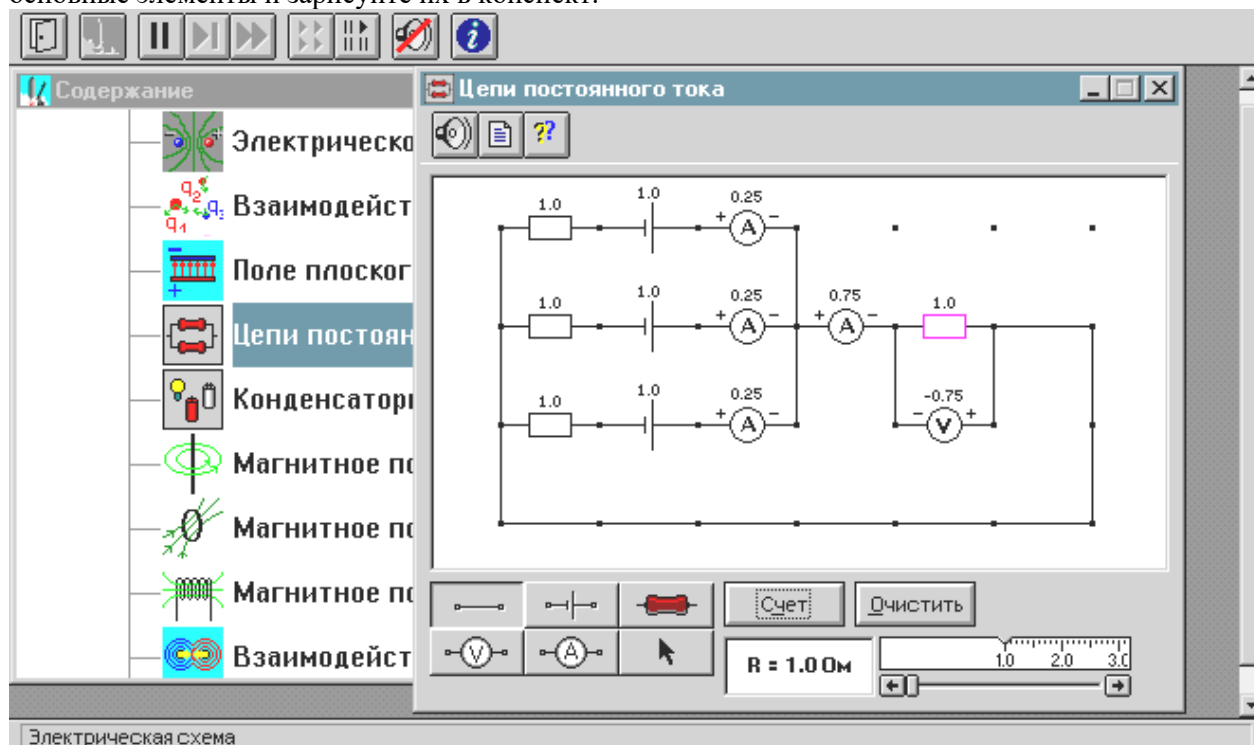
Количество уравнений первого правила Кирхгофа должно быть на одно меньше количества узлов в данной цепи. Количество независимых уравнений второго правила Кирхгофа должно быть таким, чтобы общее количество уравнений оказалось равным количеству различных токов.

Каждый новый контур при этом должен содержать хотя бы один участок цепи, не вошедший в уже рассмотренные контуры.

МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

В данной лабораторной работе исследуется модель простейшей разветвленной электрической цепи, состоящей из трех источников э.д.с., подключенных параллельно к одному резистору (нагрузке).

Закройте окно теории. Внимательно рассмотрите рисунок, найдите все регуляторы и другие основные элементы и зарисуйте их в конспект.



Нарисуйте в конспекте эквивалентную схему цепи, расположив источники один под другим и учитывая наличие внутреннего сопротивления у каждого источника. Укажите знаки э.д.с., направления токов в каждом участке и направления обхода каждого замкнутого контура. Составьте систему уравнений для нахождения токов в каждом участке.

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

ИЗМЕРЕНИЯ:

Соберите на экране заданную эквивалентную цепь. Для этого сначала щелкните левой кнопкой мыши над кнопкой э.д.с. в нижней части экрана. Переместите маркер мыши на рабочую часть экрана, где расположены точки. Ориентируйтесь на рисунок схемы в описании к данной ЛР. Щелкните левой кнопкой мыши в рабочей части экрана, где будет расположен первый источник э.д.с. Переместите маркер мыши вниз на одну клетку и снова щелкните левой кнопкой под тем местом, где расположился первый источник. Там появится второй источник э.д.с. Аналогично разместите и третий источник.

Разместите далее последовательно с каждым источником резистор, изображающий его внутреннее сопротивление (нажав предварительно кнопку R в нижней части экрана) и амперметр (кнопка A там же). Затем расположите резистор нагрузки и последовательно соединенный с ним амперметр. Под нагрузкой расположите вольтметр, измеряющий напряжение на нагрузке.

Подключите соединительные провода. Для этого нажмите кнопку провода внизу экрана, после чего переместите маркер мыши в рабочую зону схемы. Щелкните левой кнопкой мыши в точке, где проходит провод.

Установите значения параметров для каждого элемента. Для этого щелкните левой кнопкой мыши на кнопке со стрелкой. Затем щелкните на данном элементе. Подведите маркер мыши к движку появившегося регулятора, нажмите на левую кнопку мыши и, удерживая ее в нажатом

состоянии, меняйте величину параметра и установите числовое значение, равное взятому из таблицы 1 для вашей бригады.

Установите сопротивления резистора нагрузки $R = 1 \text{ Ом}$. Измерьте значения всех токов и напряжения на нагрузке (щелкнув мышью по кнопке «Счет») и запишите их в таблицу 2. Меняя сопротивление R , повторите измерения параметров и заполните таблицу 2.

Таблица 1. Значения э.д.с. и внутреннего сопротивления источников (не перерисовывать)

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
$E_1, E_2, E_3 \text{ [В]}$	3,7,-2	4,-3,-8	3,6,-4	6,-2,-8	-6,5,8	5,8,-4	-4,6,-7	8,-4,6
$R_1, R_2, R_3 \text{ [Ом]}$	2,1,1	1,3,1	2,1,2	1,1,2	2,1,1	1,2,1	1,1,2	1,3,1

Таблица 2. Результаты измерений

$R \text{ [Ом]}$	$I_1 \text{ [А]}$	$I_2 \text{ [А]}$	$I_3 \text{ [А]}$	$I \text{ [А]}$	$U \text{ [В]}$
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Таблица 3. Результаты расчета

$I_1 \text{ [А]}$	$I_2 \text{ [А]}$	$I_3 \text{ [А]}$	$I \text{ [А]}$

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА:

Запишите для вашей цепи решение системы уравнений для всех токов в общем виде.

Рассчитайте значения всех токов для каждого сопротивления нагрузки и запишите в таблицу 3.

Постройте график экспериментальной зависимости падения напряжения на нагрузке U от тока I через нее.

Сформулируйте выводы по графику.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что такое электрический ток?
2. Дайте определение величины (силы) тока.
3. Дайте определение разности потенциалов (напряжения).
4. Напишите формулу, связывающую приращение потенциалов и напряжение.
5. Что такое резистор?
6. Напишите формулу для сопротивления последовательно соединенных резисторов.
7. Напишите формулу для сопротивления параллельно соединенных резисторов.
8. Напишите закон Ома для участка цепи. Сравните его с законом Ома в дифференциальной (локальной) форме.
9. Какой участок цепи называется неоднородным?
10. Запишите закон Ома для неоднородного участка цепи.
11. Какими характеристиками описывается источник ЭДС?
12. Сформулируйте первый закон Кирхгофа. Какое свойство заряда он отражает?
13. Запишите формулу для первого закона Кирхгофа.
14. Сформулируйте второй закон Кирхгофа.
15. Запишите формулу для второго закона Кирхгофа.
16. Что такое узел электрической цепи?
17. Что такое полная электрическая цепь?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ИЗУЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ И ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Цель работы – изучить зависимость электрического сопротивления различных металлов, полупроводников и приборов на их основе, от температуры.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Электрическое сопротивление металлов и полупроводников связано с рассеянием электронов проводимости на тепловых колебаниях кристаллической решетки

Носителями электричества в металлах являются свободные электроны. Согласно классической теории электропроводности металлов свободные электроны ведут себя подобно молекулам идеального газа, совершают беспорядочное тепловое движение. При включении внешнего электрического поля на хаотическое тепловое движение электронов накладывается их упорядоченное движение в направлении, противоположном направлению поля. Между двумя последовательными соударениями с ионами кристаллической решетки электроны движутся под действием поля с ускорением и приобретают определённую энергию. Эта энергия передаётся полностью или частично положительным ионам при неупругих соударениях и превращается в тепло. Поэтому при прохождении тока металлы нагреваются. Таким образом, электрическое сопротивление металлов обусловлено неупругими соударениями свободных электронов с положительными ионами узлов кристаллической решетки металла.

С увеличением температуры проводника тепловое движение ионов становится более интенсивным, возрастает амплитуда колебаний их относительно положения равновесия, поэтому сопротивление проводника увеличивается. Температурная зависимость сопротивления характеризуется температурным коэффициентом сопротивления, который численно равен относительному изменению сопротивления проводника при изменении температуры на один градус:

$$\alpha = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dT} \quad (1)$$

В общем случае α является функцией температуры и зависит от материала проводника. Для многих металлов при температуре от 0 до 100°C зависимость сопротивления от температуры в первом приближении может быть представлена в виде

$$R_t = R_0 (1 + \alpha \cdot t) \quad (2)$$

где R_0 - сопротивление при 0° C, t - температура проводника в градусах Цельсия. Когда измерены сопротивления при двух различных температурах t_1 и t_2 , температурный коэффициент сопротивления можно определить по формуле

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_2 t_1 - R_1 t_2} \quad (3)$$

В классической теории металлов считалось само собой разумеющимся, что электроны проводимости могут обладать любыми значениями энергии. Согласно квантовой теории энергия электронов в любом кристаллическом теле (в частности, в металле) так же, как и энергия электронов в атоме, квантуется. Это означает, что она может принимать лишь дискретные значения, называемые уровнями энергии. Дозволенные уровни энергии в кристалле группируются в зоны.

Чтобы понять происхождение зон, рассмотрим воображаемый процесс объединения атомов в кристалл.

Пусть первоначально имеется N изолированных атомов какого-либо вещества. Каждый электрон любого атома обладает одним из разрешенных значений энергий, то есть занимает один из дозволенных энергетических уровней. В основном, невозбужденном состоянии атома суммарная энергия электронов имеет минимально возможное значение. Поэтому, казалось бы, все

электроны должны находиться на самом низком уровне. Однако электроны подчиняются *принципу запрета Паули*, который гласит, что в любой квантовой системе на каждом энергетическом уровне может находиться не более двух электронов, причем собственные моменты(спины) электронов, занимающих одновременно один и тот же уровень, должны иметь противоположные направления. Следовательно, на самом низком уровне может разместиться только два электрона, остальные заполняют попарно более высокие уровни.

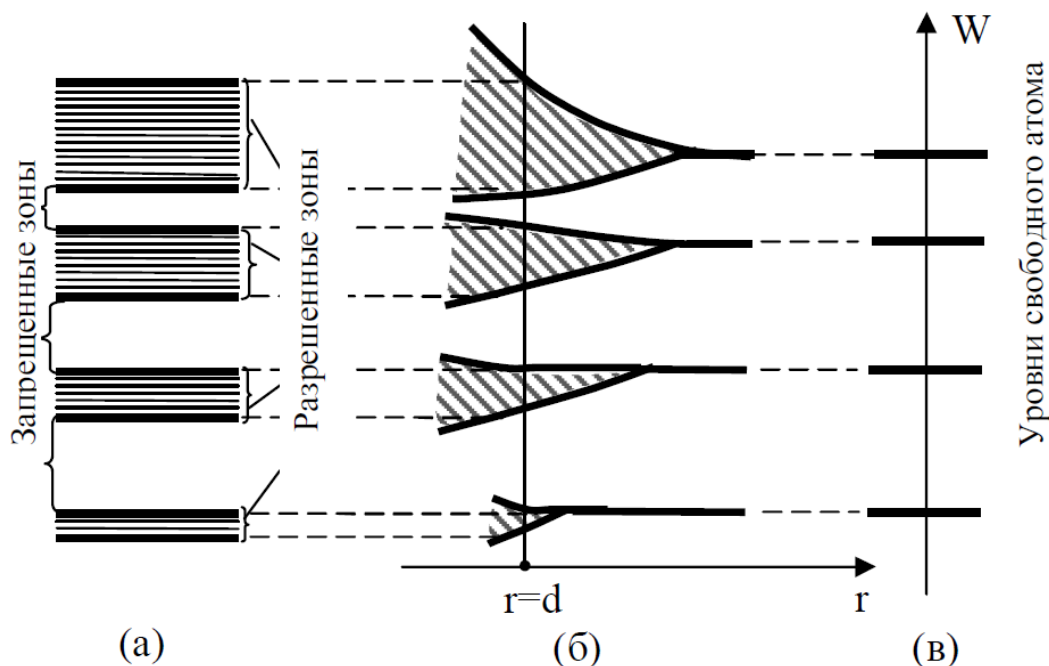


Рис. 1. Образование энергетических зон в кристаллах.

Пока атомы изолированы друг от друга, они имеют полностью совпадающие схемы энергетических уровней. Заполнение уровней электронами осуществляется в каждом атоме независимо от заполнения аналогичных уровней в других атомах. По мере сближения атомов, между ними возникает все усиливающееся взаимодействие, которое приводит к изменению положения уровней. Вместо одного одинакового для всех N атомов уровня возникают N очень близких, но не совпадающих уровней. Таким образом, каждый уровень изолированного атома расщепляется в кристалле на N густо расположенных уровней, образующих полосу или зону.

Величина расщепления для разных уровней не одинакова. Уровни, заполненные в атоме более близкими к ядру (внутренними) электронами, возмущаются меньше, чем уровни, заполненные внешними электронами. Заметно расщепляются лишь уровни, занимаемые валентными электронами. Такому же расщеплению подвергаются и более высокие уровни, не занятые электронами в основном состоянии атома. При достаточно малых расстояниях между атомами может произойти перекрывание зон, соответствующих двум соседним уровням атома. Число уровней в такой сливающейся зоне равно сумме количеств уровней, на которые расщепляются оба уровня атома. Взаимодействующие атомы представляют собой единую квантовую систему, в пределах которой действует принцип запрета Паули. Следовательно, $2N$ электронов, которые заполняли какой-то уровень в изолированных атомах, разместятся в кристалле попарно (с противоположными спинами) на N уровнях соответствующей полосы.

Нижние, образованные слабо расщепленными уровнями зоны заполняются электронами, каждый из которых не утрачивает в кристалле прочной связи со своим атомом. Дозволенные значения энергии валентных электронов в кристалле объединяются в зоны, разделенные промежутками, в которых разрешенных значений энергий нет. Эти промежутки называются *запрещенными зонами*. Ширина разрешенных и запрещенных зон не зависит от размеров кристалла. Таким образом, чем больше атомов содержит кристалл, тем теснее располагаются уровни в зоне. Ширина разрешенных зон имеет величину порядка нескольких электрон-вольт. Следовательно, если кристалл содержит 10^{23} атомов, то расстояние между уровнями в зоне

составляет $\sim 10^{-23}$ эВ. При абсолютном нуле энергия кристалла должна быть минимальной. Поэтому валентные электроны заполняют попарно нижние уровни разрешенной зоны, возникшей из того уровня, на котором находятся валентные электроны в основном состоянии атома (валентная зона). Более высокие разрешенные зоны будут от электронов свободны.

В зависимости от степени заполнения валентной зоны электронами и ширины запрещенной зоны возможны три случая, изображенные на рисунке 2. В случае а) электроны заполняют валентную зону не полностью, поэтому достаточно сообщить электронам, находящимся на верхних уровнях, совсем небольшую энергию ($\sim 10^{-23} \div 10^{-22}$ эВ) для того, чтобы перевести их на более высокие уровни. Энергия теплового движения составляет при 1К величину порядка 10^{-4} эВ. Следовательно, при температурах отличных от 0 К часть электронов переводится на более высокие уровни. Дополнительная энергия, вызванная действием на электрон электрического поля, также оказывается достаточной для перевода на более высокие уровни. Поэтому электроны могут ускоряться электрическим полем и приобретать дополнительную скорость в направлении, противоположном направлению поля. Таким образом, кристалл с подобной схемой энергетических уровней будет представлять собой металл. Частичное заполнение валентной зоны (в случае металла ее также называют зоной проводимости) может произойти, если на последнем занятом уровне в атоме находится только один электрон; или имеет место перекрывание зон. В первом случае N электронов проводимости заполняют попарно только половину уровней валентной зоны. Во втором случае число уровней в зоне проводимости будет больше N, так, что даже если количество электронов проводимости равно 2N, они не смогут занять все уровни зоны.

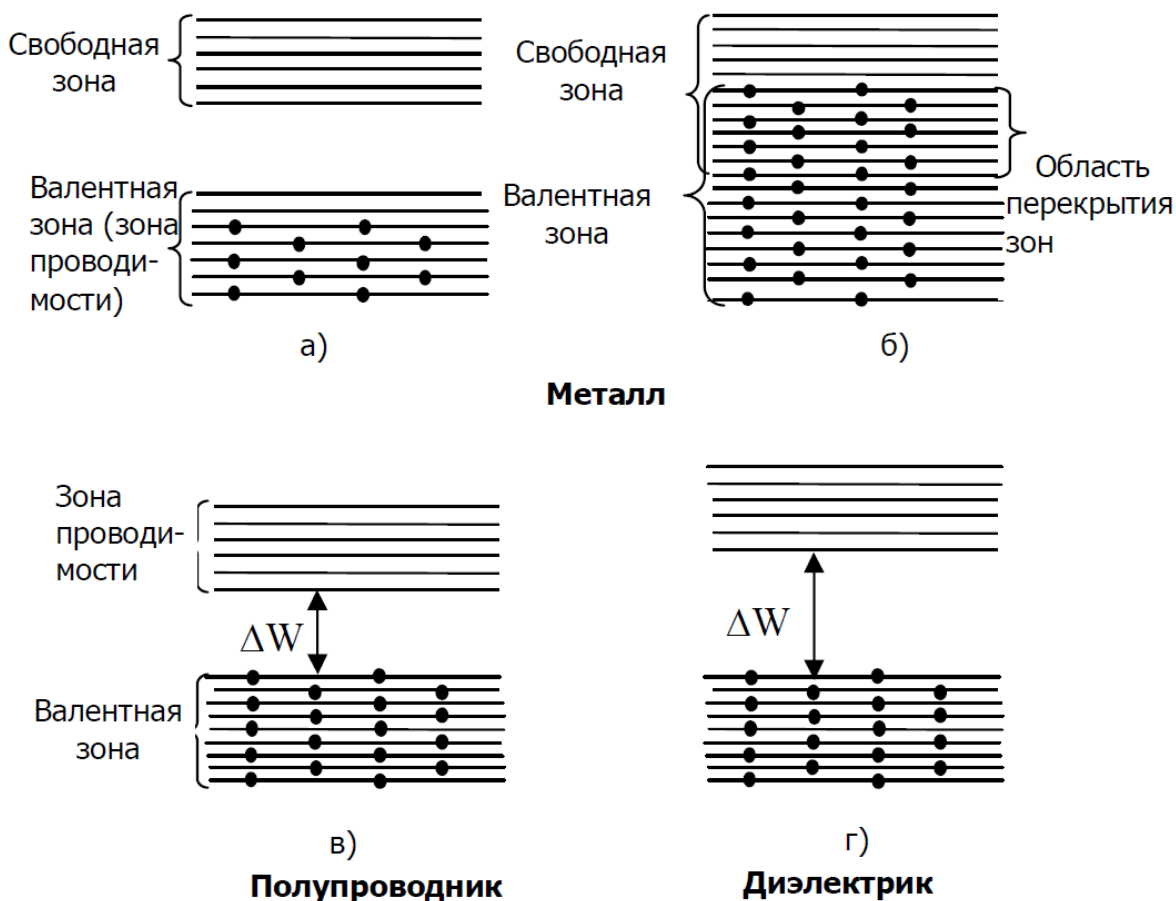


Рис. 2. Энергетические зоны в металлах (а, б), полупроводниках (в) и изоляторах (г).

В случаях б) и в) уровни валентной зоны полностью заняты электронами – зона заполнена. Для того чтобы увеличить энергию электрона, необходимо сообщить ему количество энергии, не меньшее, чем ширина запрещенной зоны ΔW . Электрическое поле сообщить электрону такую энергию не в состоянии. При этих условиях электрические свойства кристалла определяются

шириной запретной зоны ΔW . Если ΔW невелико (порядка нескольких десятых эВ) энергия теплового движения оказывается достаточной для того, чтобы перевести часть электронов в верхнюю свободную зону. Эти электроны будут находиться в условиях, аналогичных тем, в которых находятся валентные электроны в металле. Свободная зона окажется зоной проводимости. Одновременно станет возможным переход электронов валентной зоны на ее освобожденные верхние уровни. Такое вещество называется *электронным полупроводником*.

Если ширина запрещенной зоны ΔW велика (порядка нескольких эВ), тепловое движение не сможет забросить в свободную зону заметное число электронов. В этом случае кристалл оказывается *изолятором*.

Таким образом, квантовая теория объясняет с единой точки зрения существование хороших проводников (металлов), полупроводников и изоляторов.

Итак, полупроводниками являются кристаллические вещества, у которых валентная зона полностью заполнена электронами, а ширина запрещенной зоны невелика (не более 1 эВ). Полупроводники обязаны своим названием тому обстоятельству, что по величине электропроводности они занимают промежуточное положение между металлами и диэлектриками. Однако, характерным для них является не величина проводимости, а то, что их проводимость растёт с повышением температуры (у металлов она уменьшается).

Электрическое поле не может перебросить электроны из валентной зоны в зону проводимости. Поэтому полупроводники ведут себя при абсолютном нуле как диэлектрики. При температурах, отличных от 0 К, часть электронов из валентной зоны переходит в зону проводимости, в результате чего в полупроводнике возникают свободные носители зарядов. С повышением температуры число таких носителей растёт и, следовательно, увеличивается электропроводность полупроводника, а значит, уменьшается сопротивление. Зависимость сопротивления полупроводников от абсолютной температуры в определённых температурных интервалах описывается формулой

$$R = Ae^{\frac{\Delta E}{kT}}, \quad (4)$$

где A - константа, k - постоянная Больцмана, ΔE - энергия активации. Под энергией активации понимается энергия, которую нужно затратить, чтобы перевести электрон из валентной зоны в зону проводимости. Логарифмирование уравнения (4) даёт

$$\ln R = \frac{\Delta E}{k} \cdot \frac{1}{T} + \ln A \quad (5)$$

График зависимости $\ln(R)=f(1/T)$ представляет собой прямую, угловой коэффициент которой равен $\Delta E/k$. Построив график зависимости (5), этот угловой коэффициент можно определить по формуле

$$\frac{\Delta E}{k} = \frac{\ln R_2 - \ln R_1}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}} \quad (6)$$

для любых двух точек, лежащих на прямой, а затем найти энергию активации ΔE .

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Оборудование и материалы: измеритель GDM-8135 или мультиметр, сопротивление и термистор, проточный термостат, штатив, соединительные провода.



Рис. 3. Схема экспериментальной установки

Экспериментальная установка состоит из погружного термостата, платы, содержащей исследуемые материалы, 3 измерительных приборов GDM-8135, соединительной колодки, универсального мультиметра, источника питания и соединительных проводов.

Исследуемые проводник и полупроводник помещаются в ванну с термостатом, заполненную непроводящей жидкостью. Температура измеряется встроенным термометром. Сопротивления проводника и полупроводника измеряются одновременно с помощью измерителя GDM-8135. Для проведения измерения достаточно подключить проводник (полупроводник) к зажимам и установить нужный режим измерения.

Измерение сопротивлений с помощью универсального цифрового измерительного прибора (на примере GDM-8135)

Подключите изучаемое устройство с помощью измерительных проводов к универсальному измерителю. Один из проводов «Общий» подключите к входу «COM», второй к входу обозначенному «V-Ω» (V – измерение напряжения, Ω – измерение сопротивления). Род тока (постоянный/переменный (AC/DC)) в данном случае не влияет на ход измерений. Выберите род измеряемой величины «kΩ» и установите наименьший предел измерения «200Ω» (максимальное значение измеряемой величины 200 Ом). Подключите прибор к сети электропитания и нажмите кнопку включения прибора.

Выбор предела измерения в том случае если в процессе проведения измерения на индикаторе прибора появляется символ «1.» в максимальном разряде, а все остальные разряды не светятся, этот факт указывает на то, что измеряемая величина превосходит предел измерения и необходимо перейти на более высокий предел. Для этого нажмите на кнопку, соответствующую более

высокому значению предела измеряемой величины. В том случае, если вы достигли максимального предела, а показания не изменились проверьте надежность подключения и разрыв в измерительных проводах. Если электрическая исправна, то возможны два варианта: прибор выше из строя, либо данный прибор не подходит для измерения такой величины сопротивления. В том случае, если на всех разрядах прибора светятся нули предел измерения слишком велик и вам необходимо переключиться на более низкий. Внимание! При смене пределов измерения следите за положение десятичного разделителя.

ХОД РАБОТЫ

1. Соберите экспериментальную установку как показано.
2. Погрузите иммерсионный зонд в герметичный пластиковый пакет, убедитесь, чтобы зонд не намок, затем опустите в этот пакет температурный датчик.
3. Заполните ванну водой, так чтобы зонд был полностью погружен в жидкость.
4. На термостате выставьте регулятор температуры на 20°C и включите термостат.
5. Последовательно подключайте мультиметры к клеммам образцов и измерьте их сопротивление (при переходе от одного образца к другому необходим будет переключать предел измерения).
6. Изменяя температуру с шагом 10°C, повторите измерения до температуры 80-90°C. Результаты измерения занесите таблицу.
7. Постройте графики зависимости сопротивления от температуры для различных образцов. Для медной и никелевой проволоки определите величину температурного коэффициента сопротивления по формуле (3).

Отчет по лабораторной работе

«Изучение температурной зависимости сопротивления проводников и полупроводников»

выполненной студент _____ курса, института _____

группа _____ «___» _____ 201__ г.

Цель работы:

Таблица 1

№	t, °C	Проводник Cu	Проводник CuNi	Термистор PTC	Термистор NTC
		R, Ом	R, Ом	R, кОм	R, кОм

Рекомендуемый диапазон температур 20-80 °С, шаг не менее 5 °С

№	$t, ^\circ\text{C}$	Полупроводник Si	Полупроводник Ge	Диод Зенера ZPD6.8	Диод Зенера ZPD2.7
		$R, \text{Ом}$	$R, \text{Ом}$	$R, \text{Ом}$	$R, \text{Ом}$

№	$t, ^\circ\text{C}$	Резистор угольный	Резистор металлический
		$R, \text{Ом}$	$R, \text{Ом}$

График функции $R = f(T)$
(для каждого проводника выводится из стандартном листе миллиметровой бумаги)

Расчет температурного коэффициента сопротивления проводника и энергии активации в

График функции $\ln R = f(1/T)$
(для каждого термистора выводится из стандартном листе миллиметровой бумаги)

термисторах

Вывод:

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Механизм проводимости металлов. Причина электрического сопротивления.

2. Температурная зависимость сопротивления проводников, термический коэффициент сопротивления, его физический смысл, единицы измерения.
3. Классическая электронная теория металлов и границы ее применимости.
4. Электропроводность металлов и полупроводников.
5. Понятие об энергетических зонах (зона проводимости, запрещенная, валентная зона, энергия активации).
6. Температурная зависимость сопротивления металлов и полупроводников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм.- М.: Высшая школа, 1983.
2. Калашников С.Г. Электричество. – М.: Наука, 1977.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.2, Т. 3. – М.: Наука, 1977.
4. Телеснин Р.В., Яковлев В.Ф. Курс физики. Электричество.-М.: Просвещение, 1970.
5. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.3. Электричество.- М.: Физматлит МФТИ, 2002.
6. Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы. –М.- С.-П.: Физматлит Невский диалект, 2001
7. Зильберман Г.Е. Электричество и магнетизм. – М.: Наука, 1970.
8. Парсел Э. Курс физики Т.2 Электричество и магнетизм – М.: Наука, 1971.
9. Рублев Ю.В., Куценко А.Н., Кортнев А.В. Практикум по электричеству. – М.: Высшая школа, 1971.
10. Кортнев А.В., Рублев Ю.В., Куценко А.Н.. Практикум по физике. – М.: Высшая школа, 1965.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ КАТУШЕК. ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНА БИО-САВАРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕСЛАМЕТРА

Цель работы: Исследование магнитного поля вдоль оси рамки и катушек с различными параметрами (проверка закона Био-Савара).

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Магнитное поле – это вид материи, связанный с движущимися зарядами и обнаруживающий себя по действию на магнитные стрелки и движущиеся заряды, помещенные в это поле.

Основной характеристикой магнитного поля служит вектор магнитной индукции $\vec{B}$. Единицей измерения индукции является тесла (Тл).

Индукция магнитного поля $\vec{B}$ численно равна силе, действующей со стороны поля на единицу длины проводника, по которому течет электрический ток единичной силы и который расположен перпендикулярно направлению магнитного поля.

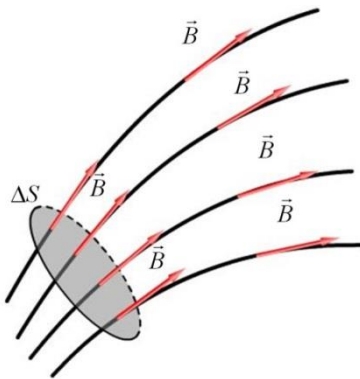


Рис. 1. Линии магнитной индукции.

Для наглядного графического изображения вводится понятие линий магнитной индукции (или силовых линий магнитного поля). Линиями магнитной индукции называются кривые, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора магнитной индукции.

Чтобы изобразить не только направление, но и величину индукции поля, силовые линии проводятся с определенной густотой, а именно чтобы число силовых линий, проходящих через единичную площадку перпендикулярно этой площадке, было пропорционально индукции магнитного поля. Магнитное поле в отличие от электростатического является вихревым, т. е. линии магнитной индукции всегда замкнуты. Они не могут обрываться, т.е. кончаться или начинаться. Линии магнитной индукции «охватывают» проводники с током. На рис. 2 показаны линии индукции прямолинейного проводника с током. Направление вектора $\vec{B}$ определяется по правилу правой руки. Если большой палец правой руки расположить по направлению тока, то направление обхвата проводника четырьмя пальцами покажет направление линий магнитной индукции (рис. 2).

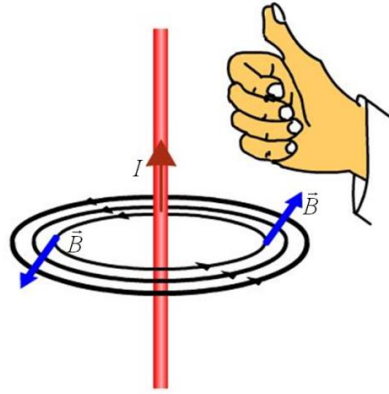


Рис. 2. Определение направления линий магнитной индукции

Магнитное поле постоянных токов различной конфигурации изучалось экспериментально французскими учеными Ж. Био и Ф. Саваром (1820 г.). Позже П. Лаплас, проанализировав их экспериментальные данные, сделал вывод, что магнитное поле любого тока может быть найдено как векторная сумма (суперпозиция) полей, создаваемых отдельными элементарными участками тока:

$$\vec{B} = \sum \vec{B}_i$$

Элемент тока длины $d\vec{l}$ создает поле с магнитной индукцией (рис. 3):

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} \quad (1)$$

или в скалярной форме:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl}{r^2} \sin \alpha,$$

где α – угол между векторами $d\vec{l}$ и $\vec{r}$.

Выражение (1) носит название закона Био–Савара–Лапласа.

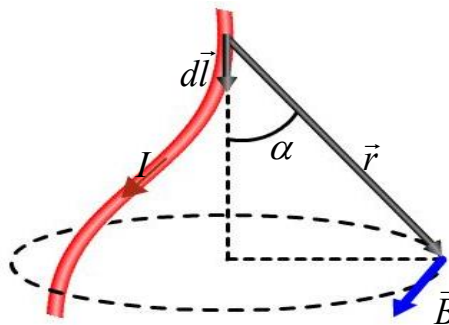


Рис. 3. Магнитное поле проводника с током

Определим индукцию магнитного поля, создаваемого круговым витком радиуса R с током I в произвольной точке оси этого витка (рис. 5). Все векторы $d\vec{B}$ для равных по длине элементов dl витка численно равны между собой:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl}{r^2} \sin \left(\hat{d\vec{l}}, \vec{r} \right) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl}{r^2}, \quad (2)$$

Разобьем вектор $d\vec{B}$ на составляющие

$$dB_{\perp} = dB \cos \alpha \text{ и } dB_{\parallel} = dB \sin \alpha,$$

$$\sin \alpha = \frac{R}{r},$$

тогда, учитывая формулу (2), получим,

$$dB_{\parallel} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{IRdl}{r^3}. \quad (3)$$

Из соображений симметрии видно, что результирующий вектор $\vec{B}$ направлен вдоль оси витка, поскольку элементы $d\vec{B}_{\perp}$ векторов $d\vec{B}$, созданных одинаковыми, но диаметрально противоположными элементами dl кругового витка, взаимно уничтожат друг друга и основной вклад внесет составляющая $d\vec{B}_{\parallel}$. Проинтегрировав dB по всей длине контура с током и учитывая выражение (3), получим

$$B = \int_l dB = \int_0^{2\pi R} dB_{\parallel} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{IR}{r^3} \int_0^{2\pi R} dl = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2\pi R^2}{r^3} = \frac{\mu_0}{2} \frac{R^2 I}{r^3}$$

Из рис. 5 видно, что $r = \sqrt{R^2 + x^2}$, тогда выражение для магнитной индукции контура тока примет вид

$$B = \frac{\mu_0}{2} \frac{IR^2}{(R^2 + x^2)^{3/2}}. \quad (4)$$

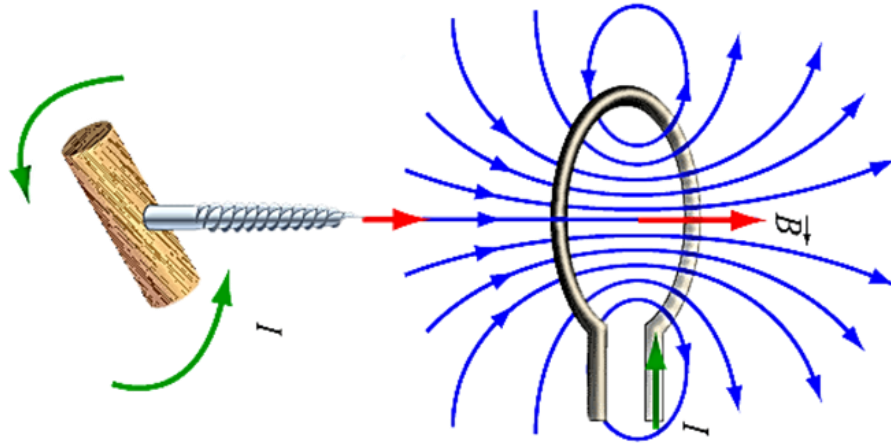


Рис. 4. Магнитное поле витка с током.

Если число витков в контуре равно N , тогда выражение (4) принимает вид

$$B = N \frac{\mu_0}{2} \frac{IR^2}{(R^2 + x^2)^{3/2}}. \quad (5)$$

Рассмотрим цилиндрическую катушку, состоящую из большого числа намотанных вплотную друг к другу витков, по которым идет ток. Такая катушка называется соленоидом. Соленоид можно рассматривать как систему последовательно соединенных круговых витков с током одинакового радиуса, имеющих общую ось.

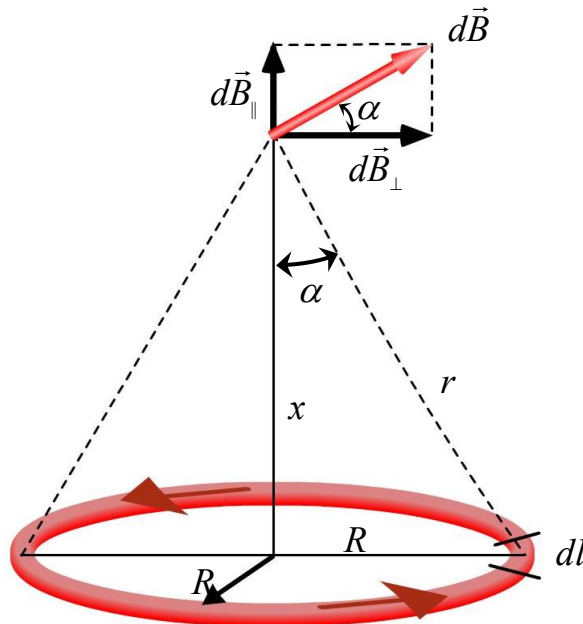


Рис. 5. Определение величины поля на оси витка

На рис. 6 показано сечение соленоида длиной L с током I . Кружки с точками представляют собой сечения витков радиуса R , в которых ток направлен из-за чертежа к нам, кружки с крестами – сечения витков, в которых ток направлен за чертеж.

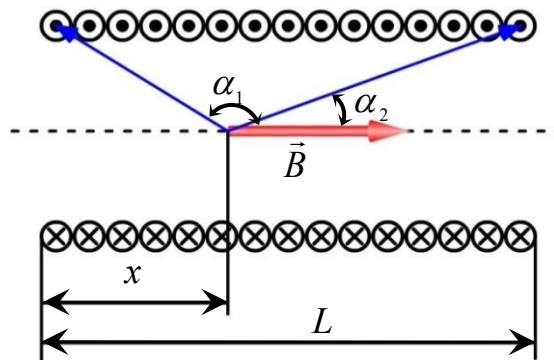


Рис. 6. Определение магнитного поля внутри соленоида

Расчеты показывают, что магнитная индукция B в произвольной точке оси соленоида численно равна

$$B = \frac{1}{2} \mu_0 n I (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1). \quad (6)$$

Здесь n – число витков, приходящихся на единицу длины соленоида. Из рис. 5 видно, что

$$\cos \alpha_1 = -\frac{x}{\sqrt{R^2 + x^2}}, \quad \cos \alpha_2 = \frac{L - x}{\sqrt{R^2 + (L - x)^2}}. \quad (7)$$

Если длина соленоида во много раз больше радиуса его витков ($L \gg R$), то соленоид можно считать бесконечно длинным. Для точек оси такого соленоида, расположенных достаточно

от его концов, $\alpha_1 = \pi$ и $\alpha_2 = 0$. Следовательно, по формуле (6) магнитная индукция внутри бесконечно длинного соленоида на его оси численно равна

$$B = \mu_0 n I. \quad (8)$$

Направление вектора магнитной индукции внутри соленоида определяется по правилу правой руки.

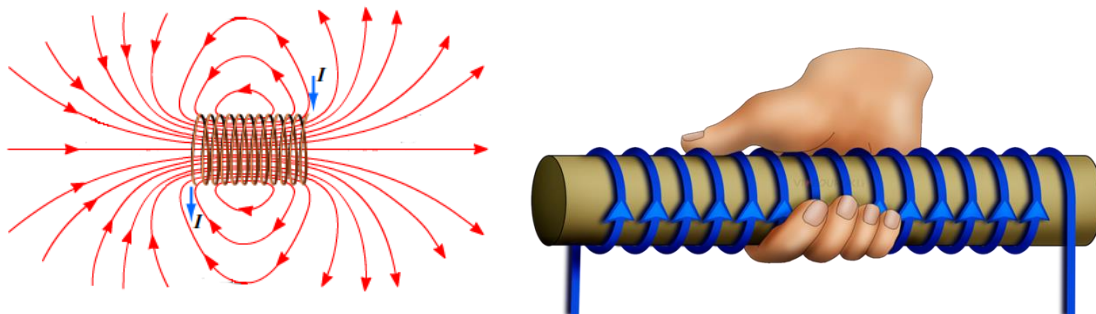


Рис. 6. Магнитное поле соленоида и определение направления магнитной индукции по правилу правой руки.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Оборудование и материалы: набор индукционных катушек с параметрами: 300 витков, $d = 40$ мм; 300 витков, $d = 32$ мм; 300 витков, $d = 25$ мм; 200 витков, $d = 40$ мм; 100 витков, $d = 40$ мм; 150 витков, $d = 25$ мм; 75 витков, $d = 25$ мм), датчик Холла, аксиальный, тесламетр, источник питания универсальный, держатель колец, линейка (1 м), мультиметр, две цилиндрические опоры, штатив прямоугольный ($l = 250$ мм), прямоугольный зажим, две трубины, лабораторная подъемная платформа, соединительные провода.

Магнитная индукция на оси катушки 1 измеряется при помощи датчика Холла 2, который подключается к тесламетру 3. Для установки подаваемого напряжения на катушку используется «Источник постоянного тока» 4. Исследуемая катушка 1 подключается к универсальному источнику питания 4 согласно рис. Положение датчика Холла 2 вдоль оси соленоида 1 регистрируется с помощью линейки 6. Для точного прохождения датчика Холла 2 через середину соленоида подбирают высоту с помощью штатива 7.

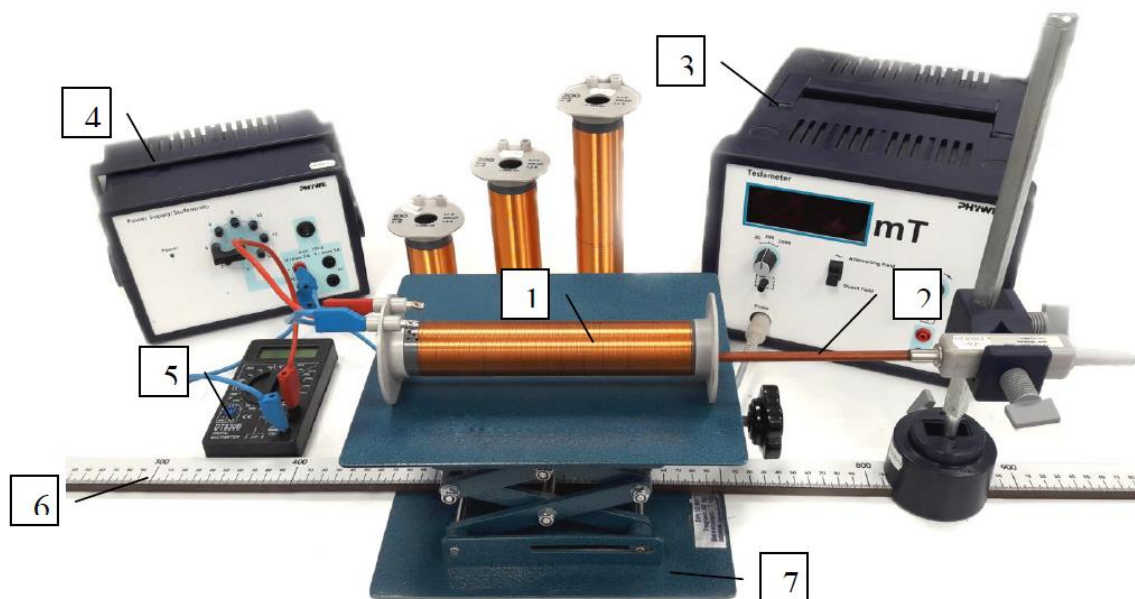


Рис. 7. Экспериментальная установка для исследования магнитного поля соленоидов.

ХОД РАБОТЫ

Задание 1. Исследование величины магнитного поля в центре кольцеобразных проводников от числа их витков.

1. Соберите экспериментальную установку, как показано на рисунке 7 соединив последовательно источник питания «Constanter Netzgerät/ Universal» 3, мультиметр 4, кольцеобразный проводник с 1 витком.
2. Разместите шуп тесламетра 1 с датчиком Холла 2, подключенный к тесламетру, строго в центре кольцевого проводника 5, установленного на штативе с распределителем 6. Перед включением тесламетра, убедитесь, что переключатель пределов измерений установлен в положении 20 мТл, и прибор включен на измерение постоянных магнитных полей (тумблер переключения режима измерений, расположен в центральной части лицевой панели прибора, находится в положении «Direct Field»).
3. Включив тесламетр, дайте ему прогреться в течение 5 минут, после чего произведите установку прибора на «0» с помощью рукоятки слева (грубо) и рукоятки справа (точно) на лицевой панели прибора. В дальнейшем, перед каждой серией измерений проверяйте, по-прежнему ли прибор установлен на 0.
4. **ВНИМАНИЕ!!!!** Мультиметр включите в режим амперметра: одну клемму подключите к входу СОМ (общая), вторую к выходу 20 А, установите вращающейся ручкой предел измерения 20 А. Включите и убедитесь, что он настроен на измерение постоянного тока (добейтесь кнопкой DC/AC, чтобы на дисплее светились буквы DC).
5. Перед включением источника питания убедитесь, что рукоятки регулирования напряжения («V») и силы тока («A») выведены на крайнее левое положение. Включите источник питания и установите силу тока в цепи равную 5 А. Снимите показания индукции магнитного поля кольцеобразного проводника в центре витка. Верните рукоятки регулировки напряжения и силы тока в крайнее левое положение, отключите источник питания.
6. Поменяйте кольцеобразный проводник на проводник с двумя витками и повторите измерения.
7. Поменяйте кольцеобразный проводник на проводник с тремя витками и повторите измерения.
8. Полученные результаты занесите в таблицу 1 отчета.
9. Постройте график зависимости $B(n)$ и по тангенсу угла наклона прямой рассчитайте магнитную постоянную по формуле:

$$\mu_0 = \frac{2r}{I} \frac{\Delta B}{\Delta n}.$$

Задание 2. Исследование зависимости индукции магнитного поля в центре кольцеобразных проводников от радиуса кольца

1. По аналогии с заданием 1 проведите измерения в кольцеобразных проводниках разного радиуса с одинаковым количеством витков.
2. Заполните таблицу 2 отчета. Постройте график зависимости $B\left(\frac{1}{r}\right)$. Убедитесь, что он имеет линейный вид. По тангенсу угла наклона прямой рассчитайте магнитную постоянную по формуле:

$$\mu_0 = \frac{2r}{I} \frac{\Delta B}{\Delta\left(\frac{1}{r}\right)}$$

3. Сравните результаты с расчетом в предыдущем задании и справочной величиной магнитной постоянной.

Задание 3. Исследование зависимости величины магнитной индукции вдоль оси катушки с током

1. Получите катушку с известными параметрами: длина катушки; радиус; количество витков.
2. Закрепите с помощью струбцины на краю лабораторного стола демонстрационную шкалу 10, установите на ней лабораторную подъемную платформу 8 с выбранной катушкой, по оси которой расположен щуп тесламетра, закрепленный на штативе с цилиндрической опорой.
3. Подайте от источника 3 на катушку ток равный 1А.
4. Передвигая опору с щупом с шагом в 0,5 см, определяйте величину магнитной индукции вдоль оси катушки.
5. Заполните таблицу 3 отчета. Постройте экспериментальный и теоретический (с использованием формулы) графики зависимости $B(x)$.

$$B(x) = \frac{\mu_0 I n}{2l} \cdot \left(\frac{a}{\sqrt{R^2 + a^2}} - \frac{b}{\sqrt{R^2 + b^2}} \right),$$

где $a = x + l/2$, $b = x - l/2$, R – радиус катушки, l – длина, n – количество витков. Начало координат возьмите в центре катушки.

6. Сравните полученные зависимости, сделайте вывод о соответствии теории с проведенным экспериментом.

Отчет по лабораторной работе «Магнитное поле катушек»

выполненной студент _____ курса, института _____
группа _____ «___» _____ 20__ г.

Цель работы:

Задание 1. Исследование величины магнитного поля в центре кольцеобразных проводников от числа их витков

Таблица 1

r , м	I , А	n	B , Тл
		1	
		2	
		3	

График зависимости $B(n)$.

Расчет углового коэффициента k .

Вычисление магнитной постоянной

$$\mu_0 = \dots$$

Вывод:

Задание 2. Исследование зависимости индукции магнитного поля в центре кольцеобразных проводников от радиуса кольца.

Таблица 2.

I, A	$r, м$	$B, Тл$	$\frac{1}{r}, м$

График зависимости $B\left(\frac{1}{r}\right)$

Расчет углового коэффициента k .

Вычисление магнитной постоянной

$$\mu_0 = \dots$$

Вывод:

Задание 3. Исследование зависимости величины магнитной индукции вдоль оси катушки с током от длины катушки и числа витков.

Таблица 3.

№	$x, см$	$B, Тл$	$B_{теор}, Тл$

График зависимостей $B_{эксп}(x), B_{теор}(x)$.

Вывод:

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Магнитное взаимодействие токов.
2. Магнитное поле. Вектор магнитной индукции. Единицы измерения.
3. Магнитное поле прямого и кругового тока.
4. Магнитный момент и магнитное поле витка с током.
5. Закон Био-Савара-Лапласа.
6. Магнитное поле движущегося заряда.
7. Магнитное поле соленоида.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. В 5 т. М.: Физматлит, 2010.
2. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм: М., 2005.
3. Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. 320 с.
4. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высшая школа, 2009.
5. <http://www.phys.spb.ru> – сайт физического факультета СПбГУ;
6. <http://experiment.edu.ru> – естественнонаучные эксперименты - Физика: Коллекция Российского общеобразовательного портала;
7. <http://www.edu.delfa.net> – кабинет физики Санкт-Петербургской академии постдипломного педагогического образования;
8. <http://demo.home.nov.ru> – Мир физики: физический эксперимент;
9. <http://genphys.phys.msu.ru> – сайт кафедры общей физики физфака МГУ.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10 ИЗМЕРЕНИЕ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Цель работы: определение индукции магнитного поля Земли с помощью стрелочного магнетометра.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Земля образовалась 4,5 млрд лет назад вместе с магнитным полем, происхождение которого точно не известно. Предполагается, что основным его источником являются вихревые токи в жидком ядре планеты. Высота магнитного поля простирается до 100 000 км над уровнем моря. Первые исследования магнитного поля Земли принадлежат придворному врачу английской королевы Елизаветы и датируются 1600 годом. Он впервые научно доказал, что Земля - магнитный диполь. Кроме магнитного поля вокруг Земли существуют и другие поля: а) гравитационное; б) электрическое; в) тепловое. В 1635 году Геллибрандом было обнаружено, что магнитное поле Земли медленно изменяется. В 1702 г Эдмундом Галлеем были созданы первые мировые магнитные карты. Строгую теорию геомагнетизма и методы магнитных измерений разработали в 30-е годы XIX века Карл Гаусс и Вильгельм Вебер. В 1835 году Гауссом была создана первая в мире магнитная обсерватория в Геттингене по изучению магнитного поля Земли. Магнетизм Земли в течение нескольких тысячелетий используется для определения сторон света с помощью магнитных стрелок. С незапамятных времен человечество использует компасы для определения сторон света, ориентирования на местности и составления карт. Компасом пользовались древние путешественники и мореплаватели, первый изобретатель этого прибора неизвестен.

На рисунке 1 представлены схематично силовые магнитного поля Земли.

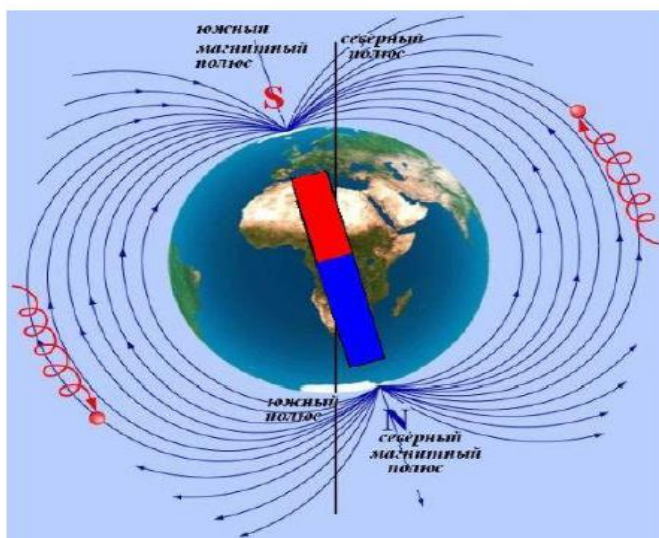


Рис. 1 Силовые линии магнитного поля Земли

Магнитное поле захватывает и отклоняет частицы солнечного ветра, защищая от них живые организмы. Эти частицы образуют радиационный пояс Земли (рис. 2) Часть околоземного пространства, в которой они находятся, называют магнитосферой. По рисунку 1 видно, что ось земного магнита наклонена по отношению к оси вращения Земли на 12° . Магнитные полюса Земли не совпадают с географическими полюсами, северный магнитный полюс находится в южном полушарии, а южный магнитный полюс – в северном полушарии Земли. В настоящее время координаты магнитных полюсов следующие: северный — 77° с.ш. и 102° з.д.; южный — 65° ю.ш. и 139° в.д.). Эти значения непостоянны, так как со временем магнитные полюса Земли и

её ось меняют своё положение. Магнитный полюс был открыт исследователем Джеймсом К. Россом в 1831 г. в сотнях километров от его нынешнего местонахождения.

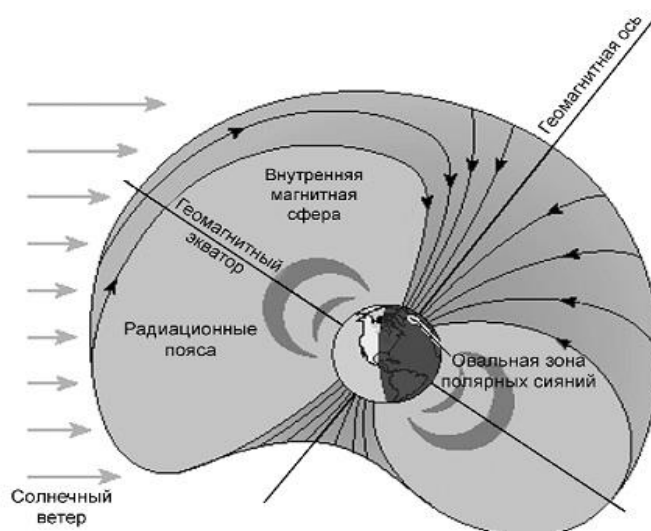


Рис. 2. Строение магнитного поля Земли

В среднем за один год он перемещается на 15 км. В последние годы скорость перемещения магнитных полюсов резко возросла. Например, Северный магнитный полюс сейчас перемещается со скоростью около 40 км в год. Таким образом, магнитные полюса планеты смещены относительно географических полюсов более чем на 2000 км каждый и это расстояние с годами возрастает по неизвестным науке причинам (в 1600 году оно составляло всего 1300 км).

Смена магнитных полюсов Земли называется инверсией магнитного поля. На протяжении геологической истории нашей планеты земное магнитное поле изменяло свою полярность более 100 раз.

Силовые линии магнитного поля Земли называются магнитными *меридианами*. Угол между магнитным и географическим меридианом называется *магнитным склонением*. Магнитное склонение измеряется при помощи *деклинаторов*. Каждое место на Земле имеет свой угол склонения. Например, в районе Москвы угол склонения равен 7° к востоку, а в Якутске — около 17° к западу.

В результате неоднородности земного магнитного поля его вектор индукции на экваторе направлен

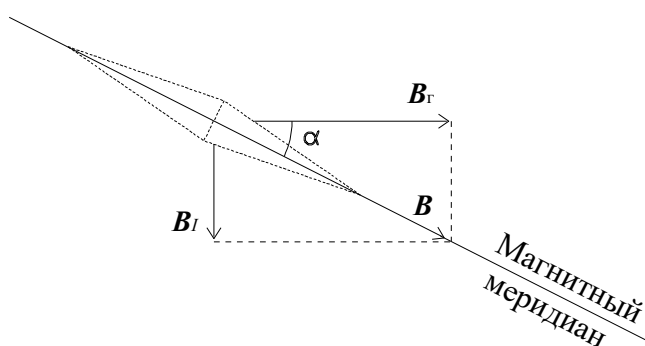


Рис.3 Магнитное склонение

строго горизонтально, на магнитных полюсах - вертикально, а на всех остальных широтах - под некоторым углом к горизонту. Угол, образованный магнитной стрелкой и горизонтальной плоскостью, называют *магнитным наклоением*. На магнитных полюсах наклонение равно 90° . Магнитное наклонение измеряется посредством *инклинаторов*. Существование магнитного наклонения приводит к тому, что северный полюс магнитной стрелки, подвешенной в северном полушарии, располагается несколько ниже южного полюса, а в южном полушарии - наоборот (на глаз этого незаметно). Такое поведение стрелки можно описать векторной суммой горизонтальной и вертикальной составляющих вектора индукции магнитного поля Земли (рис. 3).

Точные измерения показали, что в настоящее время горизонтальная составляющая вектора магнитной индукции B_h на поверхности планеты принимает значения от 0 до 41 мкТл, а полный

вектор индукции B_0 изменяется в пределах от +62 до –73 мкТл. В настоящее время магнитное поле планеты убывает примерно на 1% каждые 10 лет.

Магнитное поле Земли неоднородно, в районе магнитных аномалий, например, Курской, величина магнитной индукции в 4 раза выше нормы и составляет около 200 мкТл. Магнитное поле Земли может изменяться в течение суток из-за электрических токов в атмосфере, вызванных солнечными излучениями. Из-за солнечных выбросов возникают солнечные ветры, под действием которых искажается магнитное поле Земли, образуется магнитный многокилометровый «шлейф» в направлении от Солнца. Это приводит к сильным возмущениям магнитного поля на Земле – магнитным бурям, которые являются причиной нарушения работы телеграфа, телефона и радио. Чаще всего магнитные бури наблюдаются на широте 66-67° одновременно с полярными сияниями. Магнитное поле Земли играет исключительную роль в жизнедеятельности биологических организмов, а также влияет на стабильность работы электронных устройств. В связи с этим необходим постоянный мониторинг этого поля. Для обеспечения этого процесса в составе Российской академии наук (РАН) имеется Институт Земного магнетизма (ИЗМИРАН), в распоряжении которого имеется огромное количество искусственных спутников Земли, с расположенными на них измерительными станциями, а также сеть наземных измерительных станций расположенных по всей поверхности земного шара. Аналогичные ведомства имеются и в США.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Оборудование и материалы: универсальный источник питания, кольца Гельмгольца, реостат (100 Ом, 1,8 А), тесламетр цифровой, датчик Холла аксиальный, стрелочный магнетометр, соединительные провода

Экспериментальная установка изображена на рисунке 4.

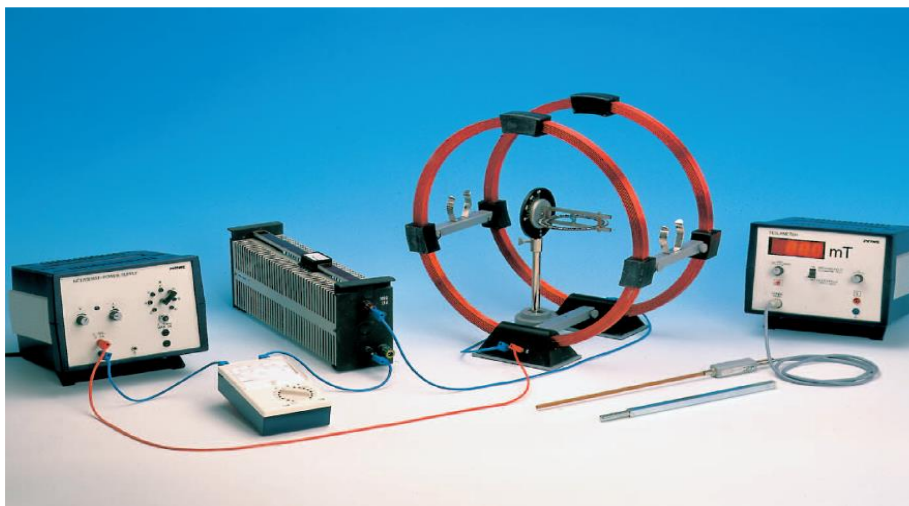


Рис.4. Экспериментальная установка по определению индукции магнитного поля Земли

Магнитное поле Земли можно разложить на горизонтальную и вертикальную составляющие (рис. 3)

$$B_{\text{в}} = B_{\text{г}} \cdot \operatorname{tg}(\theta),$$

Где θ — наклонение.

$$B = \sqrt{B_{\text{г}}^2 + B_{\text{в}}^2}.$$



Рис.5 Магнетометр стрелочный

Таким образом, для характеристики магнитного поля Земли достаточно знать три величины: склонение, наклонение и горизонтальную составляющую индукции магнитного поля Земли.

Для того, чтобы определить B_r , необходимо использовать систему, создающую магнитное поле, вектор индукции которого направлен горизонтально. В данной лабораторной работе таким пробным полем является магнитное поле, создаваемое катушками Гельмгольца. Пусть φ - угол между направлением пробного поля и горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли, а угол между направлением результирующего горизонтального и земного магнитного поля - α (рис.5).

Используя теорему синусов, имеем:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin(\varphi - \alpha)} = \frac{B_{пр}}{B_r}.$$

Измерив углы φ и α для различных значений пробного магнитного поля, можно построить линейную зависимость

$$B_{пр} = B_r \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin(\varphi - \alpha)}.$$

Угловой коэффициент прямой совпадает с B_r .

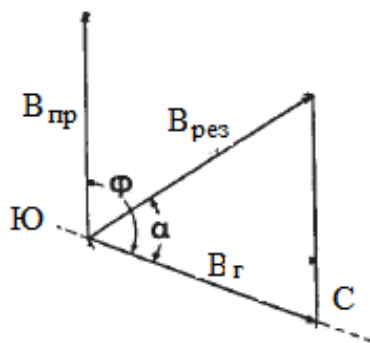


Рис. 6

ХОД РАБОТЫ

Задание 1. Определение калибровочного коэффициента катушек Гельмгольца

1. Соберите экспериментальную установку по рис. 4. без магнетометра.
2. Разместите датчик Холла, подключенный к тесламетру, в центре катушек Гельмгольца.
3. Включите тесламетр и откалибруйте его ($B=0$).
4. Включите источник и, увеличивая с помощью резистора ток через катушки Гельмгольца (от 0,5 до 2,5 А), определите значения индукции магнитного поля $B_{пр}$ при различных значениях силы тока. Полученные данные внесите в таблицу 1.
5. Постройте график зависимости $B_{пр}(I)$.
6. Рассчитайте калибровочный коэффициент как угловой коэффициент прямой.

Задание 2. Определение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли

1. Установите магнетометр в центре катушек Гельмгольца и определите угол φ_z соответствующий равновесному положению стрелки магнетометра (определяет направление север-юг). Повторите опыт многократно и найдите среднее значение. Занесите данные в таблицу 2.
2. Для удобства можно расположить магнетометр в плоскости земного меридиана, тогда $\varphi_z = 0$.
2. Подайте на катушки Гельмгольца максимальный ток (4 А). Стрелка магнетометра отклонится и покажет направление индукции магнитного поля катушек Гельмгольца. Определите угол φ_k . Повторите опыт многократно и найдите среднее значение угла. Данные занесите в таблицу 2.
3. Определите угол $\varphi = \varphi_k - \varphi_z$ между направлением север-юг и направлением вектора индукции магнитного поля катушек Гельмгольца. Проведите измерения угла отклонения стрелки магнетометра $\varphi_{рез}$ при различных величинах силы тока (от 0 до 0,2 А), подаваемого на катушки Гельмгольца. Определите $\alpha = \varphi_{рез} - \langle \varphi_k \rangle$. Данные занесите в таблицу 3. Постройте график зависимости $K \cdot I \left(\frac{\sin \alpha}{\sin(\varphi - \alpha)} \right)$. Определите угловой коэффициент, который равен горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли B_r .

Задание 3. Определение вертикальной составляющей магнитного поля Земли

1. Поверните магнетометр, установленный в центре катушек Гельмгольца, так, чтобы угол ориентации стрелки был равен 0° . Затем поверните шкалу магнетометра по часовой стрелке в вертикальное положение и измерьте угол θ_1 относительно горизонтального положения. Повторите опыт многократно и определите среднее значение $\langle \theta_1 \rangle$.
2. Повторите опыт 1, поворачивая шкалу магнетометра против часовой стрелки и получите значение $\langle \theta_2 \rangle$.
3. Определите магнитное наклонение $\langle \theta \rangle$ как среднее арифметическое $\langle \theta_1 \rangle$ и $\langle \theta_2 \rangle$.
4. Определите значение вертикальной составляющей магнитного поля Земли по формуле $B_v = B_r \cdot \tan(\theta)$.
5. Определите значение индукции магнитного поля Земли по формул $B = \sqrt{B_r^2 + B_v^2}$.
6. Оцените погрешность полученной величины.
7. Сравните полученный результат с данными международной модели магнитного поля Земли.

Отчет по лабораторной работе № 10
«Измерение индукции магнитного поля Земли»

выполненной студент _____ курса, института _____
группа _____ «___» _____ 20__ г.

Цель работы:

Задание 1. Определение калибровочного коэффициента катушек Гельмгольца

Таблица 1.

№	I, А	$B_{пр}$, мТл

График зависимости $B_{пр}$ (I).

Определите по графику коэффициент пропорциональности K .

Задание 2. Определение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли

Таблица 2.

№	φ_3 , град	φ_K , град
	$\langle \varphi_3 \rangle$, град	$\langle \varphi_K \rangle$, град

$$\varphi = \langle \varphi_K \rangle - \langle \varphi_3 \rangle = \dots$$

Таблица 3.

№	I, A	$K \cdot I$, мТл	$\varphi_{рез}$, град	$\alpha = \varphi_{рез} - \langle \varphi_3 \rangle $, град	$\sin \alpha$	$\sin(\varphi - \alpha)$	$\frac{\sin \alpha}{\sin(\varphi - \alpha)}$

График зависимости $K \cdot I \left(\frac{\sin \alpha}{\sin(\varphi - \alpha)} \right)$.

Определите из графика B_H .

Таблица 4

№	θ_1 , град	θ_2 , град
	$\langle \theta_1 \rangle$, град	$\langle \theta_2 \rangle$, град

$$\theta = \frac{\langle \theta_1 \rangle + \langle \theta_2 \rangle}{2} = \dots$$

$$B_{\text{в}} = B_{\text{г}} \cdot \text{tg}(\theta) = \dots$$

$$B = \sqrt{B_{\text{г}}^2 + B_{\text{в}}^2} = \dots$$

Расчёт погрешностей определенных величин.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Магнитное поле и его характеристики.
2. Магнитное поле Земли.
3. Магнитное наклонение и магнитное склонение.
4. Методика определения магнитного поля Земли.

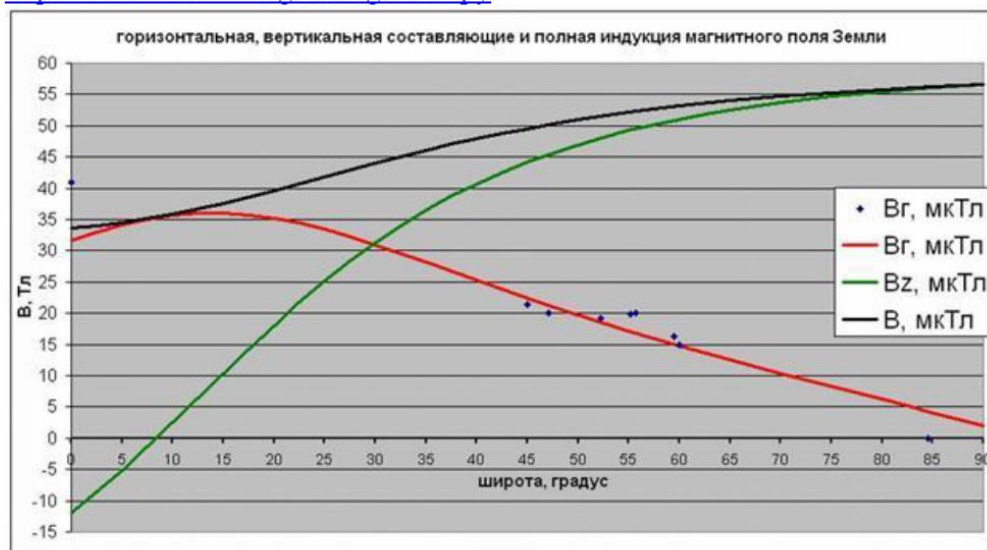
ЛИТЕРАТУРА

1. Калашников С.Г. Электричество. М.: Наука, 2008.
2. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. М.: Наука, 2005.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики. В 5 т. М.: Физматлит, 2010.
4. <http://fizkaf.narod.ru> – кафедра и лаборатория физики Московского института открытого образования;
5. <http://www.phys.spb.ru> – сайт физического факультета СПбГУ;
6. <http://experiment.edu.ru> – естественнонаучные эксперименты - Физика: Коллекция Российского общеобразовательного портала;
7. <http://www.edu.delfa.net> – кабинет физики Санкт-Петербургской академии постдипломного педагогического образования;
8. <http://demo.home.nov.ru> – Мир физики: физический эксперимент;
9. <http://genphys.phys.msu.ru> – сайт кафедры общей физики физфака МГУ.

Приложение 1

Международная модель главного магнитного поля Земли на декабрь 2012 года для 37°37'00" в. д. высота над уровнем моря-170-204 м

<http://serv.izmiran.ru/cgi-bin/igrf-11a.py>



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА e/m

Цель работы: изучить влияние магнитного поля на движение заряженных частиц, определить величину удельного заряда электрона e/m_e .

Теоретическая часть

Сила Лоренца

Проводник, по которому течет ток, отличается от проводника без тока лишь тем, что в нем происходит упорядоченное движение носителей заряда. Отсюда напрашивается вывод, что сила, действующая на проводник с током в магнитном поле, обусловлена действием сил на отдельные движущиеся заряды, а уже от этих зарядов действие передается проводнику, по которому они перемещаются. Этот вывод подтверждается целым рядом опытных фактов и, в частности, тем, что пучок свободно летящих заряженных частиц, например, электронный пучок, отклоняется магнитным полем.

На элемент тока dI действует в магнитном поле сила

$$d\vec{f} = i[d\vec{l} \times \vec{B}]. \quad (1)$$

Заменив idl через $Sjdl$, выражению закона Ампера можно придать вид

$$d\vec{f} = Sdl[\vec{j} \times \vec{B}],$$

где dV – объем проводника, к которому приложена сила $d\vec{f}$. Разделив $d\vec{f}$ на dV , получим «плотность силы», т.е. силу, действующую на единицу объема проводника:

$$\vec{f}_{ед.об.} = [\vec{j} \times \vec{B}]. \quad (2)$$

Подставив в эту формулу выражение $j = e'nv$, найдем, что $\vec{f}_{ед.об.} = ne'[\vec{v} \times \vec{B}]$.

Эта сила равна сумме сил, приложенных к носителям, заключенным в единице объема. Таких носителей n , следовательно, на один носитель действует сила, равная $\vec{f}_{ед.об.}/n = e'[\vec{v} \times \vec{B}]$. Таким образом, можно утверждать, что на заряд e' , движущийся со скоростью v в магнитном поле B , действует сила

$$\vec{f} = e'[\vec{v} \times \vec{B}]. \quad (3)$$

Силу (3) называют *силой Лоренца* или *лоренцевой силой*.

Часто лоренцевой силой называют сумму электрической и магнитной сил, действующих на заряд

$$\vec{f} = e'\vec{E} + e'[\vec{v} \times \vec{B}].$$

Модуль лоренцевой силы равен

$$f = e'vB \sin \alpha, \quad (4)$$

где α – угол между векторами $\vec{v}$ и $\vec{B}$. Следовательно, заряд, движущийся вдоль линий магнитного поля, не испытывает действия силы.

Направлена сила Лоренца перпендикулярно к плоскости, в которой лежат векторы $\vec{v}$ и $\vec{B}$. Если заряд e' положителен, направление силы совпадает с направлением вектора $[\vec{v} \times \vec{B}]$. В случае отрицательного e' направления векторов $\vec{f}$ и $[\vec{v} \times \vec{B}]$ противоположны (рис. 1).

Поскольку сила Лоренца всегда направлена перпендикулярно к скорости заряженной частицы, она работы над частицей не совершает. Следовательно, действуя на заряженную частицу постоянным магнитным полем, изменить ее энергию нельзя.

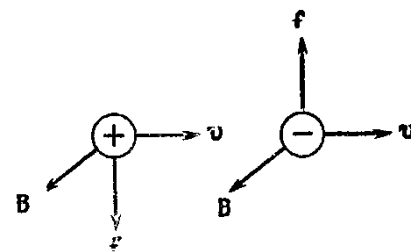


Рис. 1

Движение заряженной частицы в однородном магнитном поле

Представим себе заряд e' , влетающий в однородное магнитное поле со скоростью $\vec{v}$, перпендикулярной к $\vec{B}$. Под действием силы Лоренца заряд приобретает постоянное по величине нормальное ускорение

$$a_n = \frac{f}{m} = \frac{e'}{m} v B \quad (5)$$

(угол между $\vec{v}$ и $\vec{B}$ прямой).

Если скорость изменяется только по направлению, движение с постоянным по величине нормальным ускорением представляет собой равномерное движение по окружности, радиус которой определяется условием $a_n = v^2/R$. Подставляя сюда значение (5) для a_n и решая получившееся уравнение относительно R , получаем

$$R = \frac{m}{e'} \frac{v}{B}. \quad (6)$$

Итак, в случае, когда вектор $\vec{v}$ перпендикулярен к $\vec{B}$, заряженная частица движется по окружности, радиус которой зависит от скорости частицы, магнитной индукции поля и отношения заряда частицы e' к ее массе m . Отношение e'/m называется *удельным зарядом*.

Найдем время T , которое затрачивает частица на один оборот. Для этого разделим длину окружности $2\pi R$ на скорость частицы v . В результате получим

$$T = 2\pi \frac{m}{e'} \frac{1}{B}. \quad (7)$$

Период обращения частицы по окружности оказывается не зависящим от ее скорости, он определяется только удельным зарядом частицы и магнитной индукцией поля. На рис. 2 показаны траектории движения в однородном магнитном поле двух частиц с одинаковым удельным зарядом, но различными скоростями $\vec{v}_1$ и $\vec{v}_2$. Если частицы выходят одновременно из точки O , то, совершив за одинаковое время полный оборот, они снова встретятся в точке O .

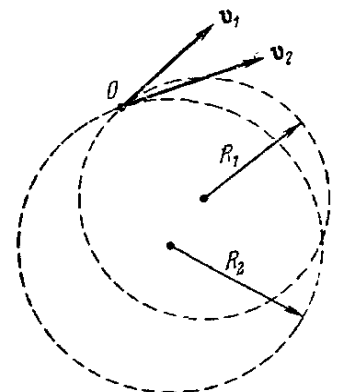


Рис. 2.

Выясним характер движения заряженной частицы в случае, когда ее скорость образует с направлением однородного магнитного поля угол α , отличный от $\pi/2$. Разложим вектор $\vec{v}$ на две составляющие: $\vec{v}_\perp$ — перпендикулярную к $\vec{B}$ и $\vec{v}_\parallel$ — параллельную $\vec{B}$ (рис. 3). Легко видеть, что

$$v_\perp = v \sin \alpha, \quad v_\parallel = v \cos \alpha.$$

Сила Лоренца равна $f = e' v B \sin \alpha = e' v_\perp B$ и лежит в плоскости, перпендикулярной к $\vec{B}$. Создаваемое этой силой ускорение является для $\vec{v}_\perp$ нормальным. Составляющая силы Лоренца в направлении $\vec{B}$ равна нулю;

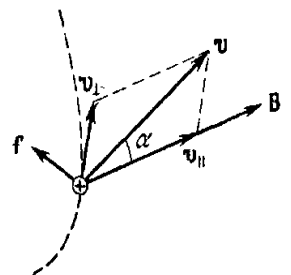


Рис.3

поэтому повлиять на величину $\vec{v}_{\parallel}$ эта сила не может. Таким образом, движение частицы можно представить как наложение двух движений: 1) перемещения вдоль направления $\vec{B}$ с постоянной скоростью $v_{\parallel} = v \cos \alpha$ и 2) равномерного вращения в плоскости, перпендикулярной к вектору $\vec{B}$. Радиус окружности, по которой происходит вращение, определяется формулой (6) с заменой v на $v_{\perp} = v \sin \alpha$. Траектория движения представляет собой спираль, ось которой совпадает с направлением $\vec{B}$ (рис. 4).

Шаг спирали l можно найти, умножив $v_{\parallel}$ на определяемый формулой (7) период обращения T :

$$l = v_{\parallel} T = 2\pi \frac{m}{e' B} v \cos \alpha. \quad (8)$$

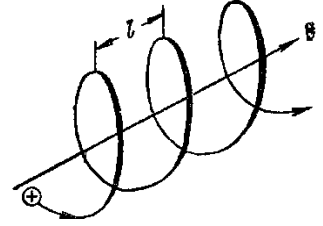


Рис. 4

Направление, в котором закручивается спираль, зависит от знака заряда частицы. Если заряд положителен, спираль закручивается против часовой стрелки. Спираль, по которой движется отрицательно заряженная частица, закручивается по часовой стрелке (предполагается, что мы смотрим на спираль вдоль направления $\vec{B}$; частица при этом летит от нас, если $\alpha < \pi/2$, и на нас, если $\alpha > \pi/2$).

Отклонение движущихся заряженных частиц электрическим и магнитным полями

Рассмотрим узкий пучок одинаковых заряженных частиц (например, электронов), попадающий в точке O на перпендикулярный к нему экран (рис. 5). Определим смещение следа пучка, вызываемое перпендикулярным к пучку однородным электрическим полем, действующим на пути длиной l_1 . Пусть первоначально скорость частиц равна $\vec{v}_0$. Войдя в область поля, каждая частица будет двигаться с постоянным по величине и направлению,

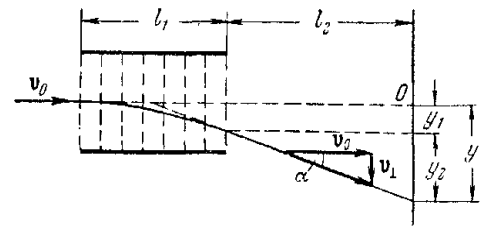


Рис. 5

перпендикулярным к $\vec{v}_0$ ускорением $\vec{a}_{\perp} = \frac{e'}{m} \vec{E}$. Движение под действием поля продолжается время $t = l_1 / v_0$. За это время частицы сместятся на расстояние

$$y_1 = \frac{1}{2} a_{\perp} t^2 = \frac{1}{2} \frac{e'}{m} E \frac{l_1^2}{v_0^2} \quad (9)$$

и приобретут перпендикулярную к $\vec{v}_0$ составляющую скорости

$$v_{\perp} = a_{\perp} t = \frac{e'}{m} E \frac{l_1}{v_0}.$$

В дальнейшем частицы летят прямолинейно в направлении, которое образует с вектором $\vec{v}_0$ угол α , определяемый условием

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_{\perp}}{v_0} = \frac{e'}{m} E \frac{l_1}{v_0^2}. \quad (10)$$

В результате в дополнение к смещению (9) пучок приобретет смещение

$$y_2 = l_2 \operatorname{tg} \alpha = \frac{e'}{m} E \frac{l_1 l_2}{v_0^2}$$

где l_2 – расстояние от границы поля до экрана.

Таким образом, смещение следа пучка относительно точки O равно

$$y = y_1 + y_2 = \frac{e'}{m} E \frac{l_1}{v_0^2} \left(\frac{1}{2} l_1 + l_2 \right). \quad (11)$$

Последнее выражение можно с учетом (10) записать в виде $y = tg\alpha\left(\frac{1}{2}l_1 + l_2\right)$, откуда

вытекает, что частицы, покинув поле, летят так, как если бы они вылетели из центра конденсатора, создающего поле, под углом α , который определяется формулой (10).

Теперь предположим, что на имеющем протяженность l_1 пути частиц включается перпендикулярное к их скорости $\vec{v}_0$ однородное магнитное поле (рис. 6; поле перпендикулярно к плоскости рисунка, область поля обведена пунктирной окружностью). Под действием поля каждая частица получит постоянное по величине ускорение $a_{\perp} = \frac{e'}{m}v_0B$. Ограничиваясь случаем, когда

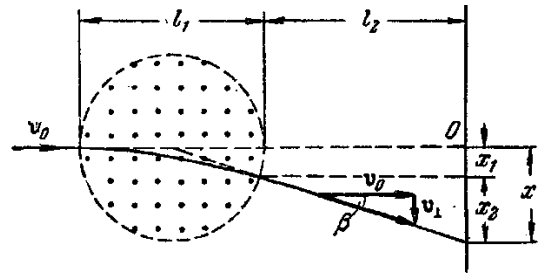


Рис. 6

отклонение пучка полем невелико, можно считать, что ускорение $a_{\perp}$ также постоянно по направлению и перпендикулярно к $\vec{v}_0$. Тогда для расчета смещения можно

использовать полученные нами формулы, заменив в них ускорение $a_{\perp} = \frac{e'}{m}E$ значением

$a_{\perp} = \frac{e'}{m}v_0B$. В результате для смещения, которое мы теперь обозначим буквой x , получим

$$x = \frac{e'}{m}B \frac{l_1}{v_0} \left(\frac{1}{2}l_1 + l_2 \right). \quad (12)$$

Угол, на который отклонится пучок магнитным полем, определится выражением

$$tg\beta = \frac{e'}{m}B \frac{l_1}{v_0}. \quad (13)$$

С учетом (13) формулу (12) можно записать следующим образом: $x = tg\beta\left(\frac{1}{2}l_1 + l_2\right)$.

Следовательно, при малых отклонениях частицы, покинув магнитное поле, летят так, как если бы они вылетели из центра поля под углом β , величина которого определяется выражением (13).

Отметим, что как отклонение (11) электрическим полем, так и отклонение (12) магнитным полем пропорционально удельному заряду частиц и напряженности (или индукции) соответствующего поля. Оба отклонения зависят также от v_0 . Частицы с одинаковыми e'/m и v_0 получают в каждом из полей одинаковое отклонение и, следовательно, попадают в одну и ту же точку экрана.

Отклонение пучка электронов электрическим или магнитным полем используется в электронно-лучевых трубках. Внутри трубки с электрическим отклонением (рис. 7) кроме так называемого электронного прожектора, создающего узкий пучок быстрых электронов (электронный луч), помещаются две пары взаимно перпендикулярных пластин. Подавая напряжение на любую пару пластин, можно вызвать пропорциональное ему смещение электронного луча в направлении, перпендикулярном к данным пластинам.

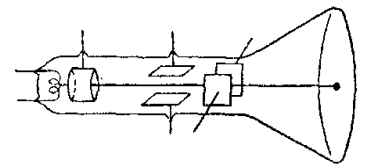


Рис. 7

Экран трубки покрывают флуоресцирующим составом. Поэтому в месте попадания на экран электронного луча возникает ярко светящееся пятно.

Электронно-лучевые трубки применяются в осциллографах — приборах, позволяющих наблюдать и фотографировать быстротекущие процессы. На одну пару отклоняющих пластин подают напряжение, изменяющееся линейно со временем, на другую пару — исследуемое напряжение. Вследствие ничтожной инерционности электронного пучка его отклонение будет без запаздывания следовать за изменениями напряжений на отклоняющих пластинах, причем луч вычертит на экране осциллографа график зависимости исследуемого напряжения от времени.

Многие неэлектрические величины могут быть с помощью соответствующих устройств (датчиков) преобразованы в электрические напряжения (или токи). Поэтому с помощью осциллографов исследуют самые различные по природе процессы.

Определение заряда и массы электрона

Измерение удельного заряда электрона, т.е., отношения e/m , было впервые осуществлено Томсоном в 1897 г. с помощью разрядной трубки, изображенной на рис. 8. Выходящий из отверстия в аноде A электронный пучок проходил между пластинами плоского конденсатора и попадал на флуоресцирующий экран, создавая на нем светящееся пятно.

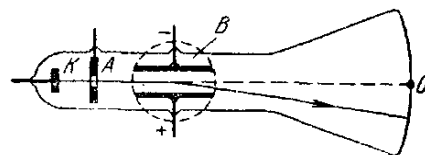


Рис. 8

Подавая напряжение на пластины конденсатора, можно было воздействовать на пучок однородным электрическим полем. Трубка помещалась между полюсами электромагнита, с помощью которого можно было создавать на том же участке пути электронов перпендикулярное к электрическому однородное магнитное поле (область этого поля обведена на рис. 8 пунктирным кружком). При выключенных полях пучок попадал на экран в точке O . Каждое из полей в отдельности вызывало смещение пучка в вертикальном направлении. Величины смещений определяются выражениями (11) и (12).

Включив магнитное поле и измерив вызванное им смещение следа пучка

$$x = \frac{e}{m} B \frac{l_1}{v_0} \left(\frac{1}{2} l_1 + l_2 \right)$$

Томсон включал также электрическое поле и подбирал его величину и направление так, чтобы пучок снова попадал в точку O . В этом случае электрическое и магнитное поля действовали на электроны пучка одновременно с одинаковыми по величине, но противоположно направленными силами, т.е. выполнялось условие

$$eE = ev_0 B.$$

Решая совместно последние два уравнения, Томсон вычислял e/m и v_0 .

Буш применил для определения удельного заряда электронов метод магнитной фокусировки. Суть этого метода заключается в следующем. Предположим, что в однородном магнитном поле вылетает из некоторой точки слегка расходящийся симметричный относительно направления поля пучок электронов, имеющих одинаковую по величине скорость v . Направления, по которым вылетают электроны, образуют с направлением $\vec{B}$ небольшие углы α . В этом случае электроны движутся по спиральным траекториям, совершая за одинаковое время (7) полный оборот и смещаясь вдоль направления поля на расстояние l , равное

$$l = v \cos \alpha T.$$

Вследствие малости углов α эти расстояния l для разных электронов будут практически одинаковыми и равными vT (для малых углов $\cos \alpha \approx 1$). Следовательно, расходящийся пучок сфокусируется в точке, отстоящей от точки вылета электронов на расстоянии

$$l = vT = 2\pi \frac{m v}{e B}. \quad (14)$$

В опыте Буша электроны, испущенные раскаленным катодом K (рис. 9), ускоряются, проходя разность потенциалов U , приложенную между катодом и анодом A .

В результате они приобретают скорость v , величина которой может быть найдена из условия

$$eU = \frac{mv^2}{2}.$$

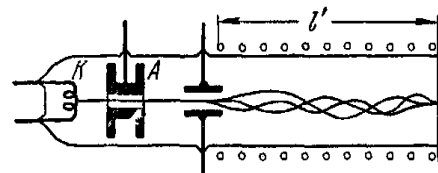


Рис. 9

Вылетев затем из отверстия в аноде, электроны образуют узкий пучок, направленный вдоль оси эвакуированной трубки, вставленной внутрь соленоид. На входе в соленоид помещается конденсатор, на который подается переменное напряжение. Поле,

создаваемое конденсатором, отклоняет электроны пучка от оси прибора на небольшие изменяющиеся со временем углы α . В результате происходит «завихрение» пучка – электроны начинают двигаться по различным спиральным траекториям. На выходе из соленоида ставится флуоресцирующий экран. Если подобрать магнитную индукцию B так, чтобы расстояние l' от конденсатора до экрана удовлетворяло условию

$$l' = Nl, \quad (15)$$

(где l – шаг спирали, а N – целое число), то точка пересечения траекторий электронов попадет на экран – электронный пучок окажется сфокусированным в этой точке и возбудит на экране резкое светящееся пятно. Если условие (15) не соблюдается, светящееся пятно на экране будет размытым. Решая совместно уравнения последние уравнения, можно найти e/m и v .

Наиболее точное значение удельного заряда электрона, установленное с учетом результатов, полученных разными методами, равно

$$\frac{e}{m} = 1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл / кг }.$$

Последняя величина дает отношение заряда электрона к его массе покоя m_0 . Как вытекает из теории относительности, масса любого тела зависит от его скорости по закону

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

В этой формуле m – масса тела, движущегося со скоростью v , c – скорость света в вакууме, а m_0 – масса тела в том случае, когда оно покоится, называемая *массой покоя*.

В опытах Томсона скорость электронов составляла примерно $0,1c$, что приводило к отклонению m от m_0 на $0,5\%$. В последующих опытах скорость электронов достигала очень больших значений. Во всех случаях было обнаружено уменьшение измеряемых значений e/m с ростом v , происходившее в точном соответствии с последней формулой.

Заряд электрона был определен с большой точностью Милликоном в 1909 г. В закрытое пространство между горизонтально расположенными пластинами конденсатора (рис. 10) Милликен вводил мельчайшие капельки масла. При разбрызгивании капельки электризовались и их можно было удерживать неподвижно, подбирая величину и знак напряжения на конденсаторе. Равновесие наступало при условии

$$F' = e'E, \quad (16)$$

здесь F' – результирующая силы тяжести и архимедовой силы,

равная $\frac{4}{3}\pi r^3(\rho - \rho_0)g$ где ρ – плотность капельки, r – ее радиус, ρ_0 – плотность воздуха.

Зная r и E , можно было найти e' . Для определения радиуса измерялась скорость равномерного падения капельки в отсутствие поля. Как известно из механики, эта скорость равна

$$v_0 = \frac{2(\rho - \rho_0)gr^2}{9\eta}. \quad (17)$$

Измерив v_0 и зная ρ , ρ_0 и вязкость воздуха η , можно по формуле (17) вычислить r . Движение капельки наблюдалось с помощью микроскопа. Для измерения v_0 определялось время, за которое капелька проходила расстояние между двумя нитями, видимыми в поле зрения микроскопа.

Точно зафиксировать равновесие капельки очень трудно. Поэтому вместо поля, отвечающего условию (16), включалось такое поле, под действием которого капелька начинала двигаться с небольшой скоростью вверх. Установившаяся скорость подъема v_E определяется из условия, что сила F' и сила трения $6\pi r\eta v$ в сумме уравновешивают силу $e'E$:

$$F' + 6\pi r\eta v_E = e'E.$$

Выразив F' через ρ , ρ_0 и r , подставив значение r из (17) и решив уравнение относительно e' , получим

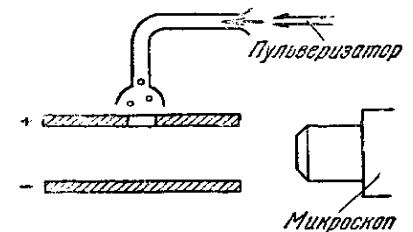


Рис. 10

$$e' = 9\pi \sqrt{\frac{2\eta^3 v_0}{(\rho - \rho_0)g}} \frac{v_0 + v_E}{E}.$$

Следовательно, измерив скорость свободного падения капельки v_0 и скорость ее подъема v_E в известном электрическом поле E , можно было найти заряд капельки e' .

Измерив скорость v_E , Милликен вызывал ионизацию воздуха, облучая пространство между пластинами рентгеновскими лучами. Отдельные ионы, прилипая к капельке, изменяли ее заряд, в результате чего скорость v_E изменялась.

Как показали измерения Милликена, изменения заряда капельки $\Delta e'$ и сам заряд e' каждый раз получались целыми кратными одной и той же величине e . Тем самым была экспериментально доказана дискретность электрического заряда, т.е. тот факт, что всякий заряд складывается из элементарных зарядов одинаковой величины. Значение элементарного заряда, установленное с учетом измерений Милликена и данных, полученных другими методами, равно

$$e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}.$$

Таковую же величину имеет заряд электрона. Для массы покоя электрона получается значение

$$m_0 = 9,10 \cdot 10^{-31} \text{ кг}.$$

Таким образом, масса электрона приблизительно в 1840 раз меньше массы самого легкого из атомов – атома водорода.

Определение удельного заряда положительных ионов. Масс-спектрографы

Описанные в предыдущем параграфе методы определения e/m пригодны в том случае, если все частицы в пучке имеют одинаковую скорость. Все образующие пучок электроны разгоняются одинаковой разностью потенциалов, приложенной между катодом, из которого они вылетают, и анодом; поэтому разброс значений скоростей электронов в пучке очень мал. Если бы это было не так, электронный пучок давал бы на экране сильно размытое пятно, и измерения были бы невозможны.

Положительные ионы образуются за счет ионизации молекул газа, например, при газовом разряде. Возникая в разных местах, ионы проходят неодинаковую разность потенциалов, вследствие чего их скорости бывают различными. Таким образом, методы, которыми был определен удельный заряд электронов, к ионам неприменимы. В 1907 г. Томсоном был разработан «метод парабол», который позволил обойти отмеченное затруднение.

В опыте Томсона тонкий пучок положительных ионов проходил через область, в которой на него одновременно воздействовали параллельные друг другу электрическое и магнитное поля (рис. 11). Оба поля были однородными и образовывали с первоначальным направлением пучка прямой угол. Они вызывали отклонения ионов: магнитное – в направлении оси x , электрическое – вдоль оси y . Согласно формулам (11) и (12) эти отклонения были равны

$$\begin{cases} x = \frac{e}{m} B \frac{l_1}{v} \left(\frac{1}{2} l_1 + l_2 \right), \\ y = \frac{e}{m} E \frac{l_1}{v^2} \left(\frac{1}{2} l_1 + l_2 \right), \end{cases}$$

(18)

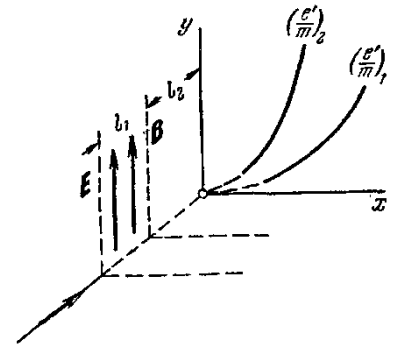


Рис. 11

где v – скорость данного иона с удельным зарядом e'/m ,

l_1 – протяженность области, в которой поля действуют на пучок, l_2 – расстояние от границы этой области до фотопластинки, регистрировавшей попадавшие на нее ионы.

Величины (18) представляют собой координаты точки, в которой попадает на пластинку ион, имеющий данное значение e'/m и величину скорости v . Ионы с одинаковым удельным зарядом, но различными скоростями попадали в разные точки пластинки.

Исключив из формул (18) скорость v , получим уравнение кривой, вдоль которой располагались следы ионов с одним и тем же значением e'/m . Возведя первое из уравнений (18) в квадрат и разделив затем его на второе, после преобразований получим

$$y = \left(\frac{E}{l_1 B^2 (0,5l_1 + l_2)} \right) \frac{m}{e'} x^2. \quad (19)$$

Таким образом, ионы с одинаковыми e'/m и различными v оставляли на пластинке след в виде параболы. Ионы с различными e'/m располагались вдоль разных парабол. Зная параметры прибора (т. е. E , B , l_1 и l_2) и измеряя смещения y и x , можно было по формуле (19) находить удельный заряд ионов, соответствующих каждой параболе. При изменении направления одного из полей соответствующая координата изменяла знак на обратный, так что получались параболы, симметричные прежним. Деля пополам расстояние между соответствующими точками симметричных парабол, можно было находить x и y . След, оставляемый на пластинке пучком при выключенных полях, давал начало координат.

Произведя опыт с химически чистым неоном, Томсон обнаружил, что этот газ давал две параболы, соответствовавшие атомным весам 20 и 22. Попытки объяснить этот результат привели к предположению о том, что существуют две химически неразличимые разновидности атомов неона (по современной терминологии – два изотопа неона). Доказательство этого предположения было дано Астоном, усовершенствовавшим метод определения удельного заряда ионов.

Прибор Астона, названный им *масс-спектрографом*, имел следующее устройство (рис. 12). Пучок ионов, выделенный системой щелей, пропускаться последовательно через электрическое и магнитное поля, направленные так, что они вызывали отклонения ионов в противоположных направлениях. При прохождении электрического поля ионы с данным e'/m отклонялись тем сильнее, чем меньше была их скорость. Поэтому из электрического поля ионы выходили в виде расходящегося пучка. В магнитном поле траектории ионов также искривлялись тем сильнее, чем меньше была их скорость. В результате после выхода из магнитного поля ионы образовывали пучок, сходящийся в одной точке.

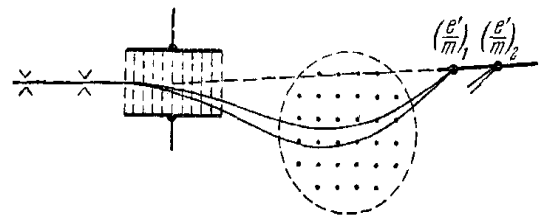


Рис. 12

Ионы с другими значениями удельного заряда фокусировались в других точках. Соответствующий расчет дает, что точки, в которых сходятся пучки, образованные ионами с различными e'/m , лежат приблизительно на одной прямой. Располагая вдоль этой прямой фотопластинку, Астон, получал на ней ряд штрихов, каждый из которых соответствовал определенному значению e'/m . Сходство получавшегося на пластинке изображения с фотографией оптического линейчатого спектра послужило причиной того, что Астон назвал его *масс-спектрограммой*, а свой прибор – *масс-спектрографом*.

Бейнбридж создал прибор другого типа. В масс-спектрографе Бейнбриджа (рис. 13) пучок ионов проходит сначала через так называемый селектор (или фильтр) скоростей, который выделяет из пучка ионы с определенным значением скорости. В селекторе ионы подвергаются одновременному действию взаимно перпендикулярных электрического и магнитного полей, каждое из которых отклоняет ионы в противоположные стороны. Через выходную щель селектора проходят только те ионы, для которых действия электрического и магнитного полей компенсируют друг друга. Это происходит при условии, что $e'E = e'vB$. Следовательно, скорости вышедших из селектора ионов, независимо от их массы и заряда, имеют одинаковую величину, равную $v = E/B$.

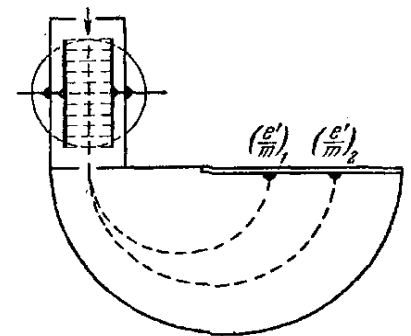


Рис. 13

Выйдя из селектора, ионы попадают в область перпендикулярного к их скорости однородного магнитного поля с индукцией B' . В этом случае ионы движутся по окружностям, радиусы которых согласно (6) зависят от e'/m

$$R = \frac{m}{e'} \frac{v}{B'}.$$

Описав половину окружности, ионы попадают на фотопластинку на расстояниях от щели, равных $2R$. Следовательно, ионы каждого сорта (определяемого значением e'/m) оставляют на

пластинке след в виде узкой полоски. Зная параметры прибора, можно вычислить удельные заряды ионов. Поскольку заряды ионов являются целыми кратными элементарному заряду e , по найденным значениям e'/m можно определить массы ионов. В настоящее время имеется много типов усовершенствованных масс-спектрографов. Созданы также приборы, в которых ионы регистрируются не фотопластинкой, а с помощью электрического устройства. Они получили название *масс-спектрометров*.

Циклотрон

Независимость периода обращения заряженной частицы в однородном магнитном поле от ее скорости положена в основу ускорителя заряженных частиц, называемого *циклотроном*. Этот прибор состоит из двух электродов в виде половинок круглой невысокой коробки (рис. 14), получивших название дуантов. Дуанты заключены в откачиваемый корпус, который помещается между полюсами большого электромагнита. Поле, создаваемое электромагнитом, однородно и перпендикулярно к плоскости дуантов. На дуанты подается переменное напряжение, снимаемое с полюсов генератора высокой частоты.

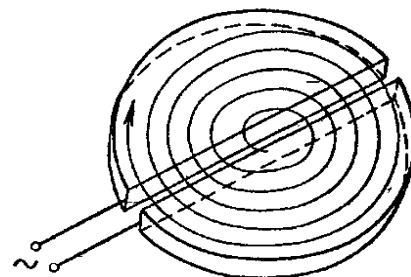


Рис. 14

Введем в зазор между дуантами в тот момент, когда напряжение достигнет наибольшей величины, положительно заряженную частицу. Частица будет подхвачена электрическим полем и втянута внутрь отрицательного электрода. Пространство внутри дуанта является эквипотенциальным, следовательно, частица в нем будет находиться под воздействием только магнитного поля. В этом случае происходит движение заряженной частицы по окружности, радиус которой пропорционален скорости частицы (см: формулу (6)). Подберем частоту изменения напряжения между дуантами так, чтобы к моменту, когда частица, пройдя половину окружности, подойдет к зазору между дуантами, разность потенциалов между ними изменила знак и достигла амплитудного значения. Тогда частица будет снова ускорена и влетит во второй дуант с энергией в два раза большей, чем та, с которой она двигалась в первом дуанте. Обладая большей скоростью, частица будет двигаться во втором дуанте по окружности большего радиуса ($R \sim v$), но время, за которое она пройдет половину окружности, останется прежним (оно не зависит от v). Поэтому к моменту, когда частица влетит в зазор между дуантами, напряжение между ними снова изменит знак и станет максимальным по величине.

Таким образом, если частоту изменения напряжения сделать равной периоду обращения частицы, определяемому формулой (7), то частица будет двигаться по кривой, близкой к спирали, получая при каждом прохождении через зазор между дуантами дополнительную порцию энергии, равную $e'U$ (e' – заряд частицы, U – напряжение, вырабатываемое генератором). Располагая источником переменного напряжения сравнительно небольшой величины ($\sim 10^5$ В), можно с помощью циклотрона ускорить протоны до энергий порядка 25 МэВ. При более высоких энергиях начинает сказываться зависимость массы протонов от скорости – период обращения увеличивается [согласно (7) он пропорционален m] и синхронизм между движением частиц и изменениями ускоряющего поля оказывается нарушенным.

Чтобы избежать нарушения синхронизма и получить частицы больших энергий, делают изменяющейся либо частоту напряжения, питающего дуанты, либо индукцию магнитного поля. Прибор, в котором в процессе ускорения каждой порции частиц соответствующим образом уменьшается частота ускоряющего напряжения, называется *фазотроном* (либо *синхроциклотроном*). Ускоритель, в котором частота не меняется, а индукция магнитного поля изменяется так, чтобы отношение m/B оставалось постоянным, называют *синхротроном* (ускорители этого типа применяются исключительно для ускорения электронов).

В ускорителе, названном *синхрофазотроном*, изменяются и частота ускоряющего напряжения, и магнитное поле. Ускоряемые частицы движутся в синхрофазотроне не по спирали, а по круговой траектории постоянного радиуса. По мере увеличения скорости и массы частиц индукция магнитного поля растет так, что определяемый формулой (6) радиус остается все время постоянным. При этом период обращения меняется как из-за возрастания массы частиц, так и вследствие увеличения B . Для того, чтобы ускоряющее напряжение было синхронно с движением

частиц, частота этого напряжения делается изменяющейся по соответствующему закону. Дуантов в синхрофазотроне нет, ускорение частиц происходит на отдельных участках траектории с помощью электрического поля, создаваемого генераторами напряжения меняющейся частоты.

Экспериментальная установка

Экспериментальная установка приведена на рисунке 15



Рис. 15.

Принципиальная электрическая схема установки приведена на рисунке 16. В качестве источника магнитного поля используются катушки Гельмгольца, подключенные последовательно друг другу (рис. 17). **Максимально допустимая сила тока в не должна превышать 5 А.** Если полярность подключенных катушек правильная, то в затемненном помещении будет хорошо видна светящаяся кривая траектории электронов. Изменяя величину магнитного поля (силу тока в катушках) и скорость электронов (ускоряющее и фокусирующее напряжение), можно устанавливать радиус орбиты так, чтобы светящийся след совпадал с перемычками мерной сетки в электронно-лучевой трубке. В этом случае наблюдается половина окружности, радиус которой может быть равен 2, 3, 4 или 5 см.

Если траектория имеет форму спирали, то это может быть устранено путем поворота электронно-лучевой трубки вокруг продольной оси.

В лабораторной работе электроны ускоряются электрическим полем и влетают в магнитное поле, направленное под прямым углом к направлению движения. Удельный заряд электрона определяется по значениям ускоряющего напряжения, индукции магнитного поля и радиуса орбиты электрона.

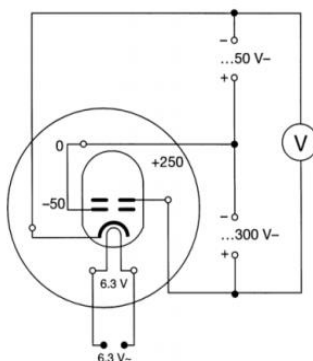


Рис. 16

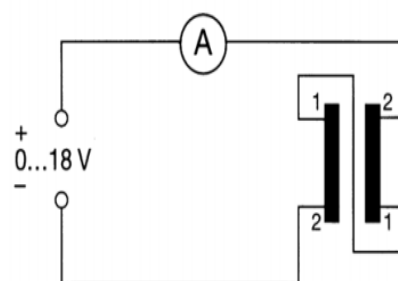


Рис.17

Если электрон с массой m_e и зарядом e ускоряется разностью потенциалов U , то он приобретает кинетическую энергию

$$eU = \frac{m_e v^2}{2}, \quad (20)$$

где v – скорость электрона.

В магнитном поле с индукцией $\vec{B}$ сила Лоренца, действующая на движущийся со скоростью $\vec{v}$ электрон,

$$\vec{F} = e[\vec{v}\vec{B}].$$

Если магнитное поле однородно, что справедливо для катушек Гельмгольца, электрон движется вдоль силовых линий магнитного поля по спиральной траектории, которая превращается в окружность радиуса r , если $\vec{v}$ перпендикулярно $\vec{B}$.

Так как возникающая при этом центробежная сила $m_e \frac{v^2}{r}$ равна силе Лоренца, получаем

$$v = \frac{e}{m_e} Br.$$

С учетом уравнения (20), получаем

$$\frac{e}{m_e} = \frac{2U}{(Br)^2}. \quad (21)$$

Индукция магнитного поля, создаваемого круговым током, текущим через 2 катушки, вдоль направления z , совпадающего с осью катушек, определяется выражением

$$B = \mu_0 IR^2 \left[\left(R^2 + \left(z - \frac{a}{2} \right)^2 \right)^{3/2} + \left(R^2 + \left(z + \frac{a}{2} \right)^2 \right)^{3/2} \right],$$

где R – радиус катушек, a – расстояние между ними, μ_0 – магнитная постоянная.

Для катушек Гельмгольца ($a = R$) с числом витков N в центре катушек

$$B = \left(\frac{4}{5} \right)^{3/2} \mu_0 N \frac{I}{R}. \quad (22)$$

В лабораторной работе используются катушки Гельмгольца радиусом $R = 0,2$ м с числом витков $N = 154$.

Оборудование и материалы: электронно-лучевая трубка, катушки Гельмгольца ($R = 0,2$ м, $N = 154$), источник питания (0-600 В), источник питания универсальный, мультиметр (2 шт.), соединительные провода.

Задания

Задание 1. Определение удельного заряда электрона.

1. Соберите установку согласно электрической схеме, приведенной на рисунке 16.
2. Подайте от источника питания (0-600 В) ускоряющее напряжение 100 В.
3. С помощью изменения фокусирующего напряжения добейтесь, чтобы пучок электронов был наиболее отчетливо виден.
4. Плавно увеличивая силу тока, создаваемого с помощью универсального источника питания, в катушках получите траекторию электронов в виде полуокружности заданного радиуса (2, 3, 4 и 5 см). В этом случае траектория пересекает переключки мерной сетки в электронно-лучевой трубке и в месте пересечения виден яркий след.
5. Соответствующие значения силы тока запишите в таблицу 1 отчета.
6. Изменяя ускоряющее напряжение с шагом 20 В до достижения величины $U = 340$ В, повторите действия пп. 3-5.

Обработка результатов

1. Используя формулу (22), определите величину индукции магнитного поля для соответствующих значений силы тока. Полученные величины запишите в таблицу (1) отчета.
2. Определите величину удельного заряда электрона по формуле (21).
3. Определите среднее значение полученных величин удельного заряда.
4. Рассчитайте погрешность полученных значений удельного заряда электрона.
5. Сравните полученное значение с табличным.

Отчет по лабораторной работе № «Определение удельного заряда электрона e/m »

выполненной студент _____ курса, института _____
группа _____ «___» _____ 201__ г.

Цель работы:

Задание 1. Определение удельного заряда электрона

Таблица 1

№ п/п	U, В	r = 2 см			r = 3 см			r = 4 см			r = 5 см		
		I, А	B, мТл	$e/m_e \cdot 10^{11}$, Кл/кг	I, А	B, мТл	$e/m_e \cdot 10^{11}$, Кл/кг	I, А	B, мТл	$e/m_e \cdot 10^{11}$, Кл/кг	I, А	B, мТл	$e/m_e \cdot 10^{11}$, Кл/кг
1	100												
2	120												
3	140												
4	160												
5	180												
6	200												
7	220												
8	240												
9	260												
10	280												
11	300												
12	320												
13	340												

$$\left(\frac{e}{m_e} \right)_{cp} = \dots \text{ Кл/кг}$$

Расчёт погрешности

Формула:

Вычисления:

$$\left(\frac{e}{m_e} \right)_{cp} = \dots \pm \dots \text{ Кл/кг}$$

Вывод:

Контрольные вопросы.

1. Какие силы действуют на движущуюся заряженную частицу в электрическом и магнитном полях?
2. По какой траектории движется заряд в магнитном поле при произвольном направлении начальной скорости?
3. Как будет двигаться заряженная частица, влетев параллельно силовым линиям электрического поля? магнитного поля?
4. Укажите принципиальную разницу сил Лоренца, действующих в магнитном поле на движущиеся с одинаковой скоростью электрон и протон.
5. Во сколько раз отличаются по величине силы Лоренца, действующие на электрон и протон, которые прошли одинаковую ускоряющую разность потенциалов?
6. Как изменятся результаты эксперимента, если поменять полярность подключенных катушек Гельгольца?

Список литературы

1. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высшая школа, 2009.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. В 5 т. М.: Физматлит, 2010.
3. Матвеев А.Н. Механика и теория относительности. СПб.: Лань, 2009.
4. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм: М., 2005.
5. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Физматлит, 2006.
6. Иродов И.Е. Механика: Основные законы. М.: Бином, 2007.
7. Иродов И.Е. Физика макросистем: Основные законы. М.: Бином, 2010.
8. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. М: Оникс Мир и образование, 2006.
9. Матвеев А.Н., Атомная физика. М: Оникс Мир и образование, 2007.
10. <http://fizkaf.narod.ru> – кафедра и лаборатория физики Московского института открытого образования;
11. <http://www.phys.spb.ru> – сайт физического факультета СПбГУ;
12. <http://experiment.edu.ru> – естественнонаучные эксперименты - Физика: Коллекция Российского общеобразовательного портала;
13. <http://www.edu.delfa.net> – кабинет физики Санкт-Петербургской академии постдипломного педагогического образования;
14. <http://demo.home.nov.ru> – Мир физики: физический эксперимент;
15. <http://genphys.phys.msu.ru> – сайт кафедры общей физики физфака МГУ.

Лабораторная работа № 12

ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ.

Цель работы: изучение закономерностей теплового излучения на примере излучения абсолютно твердого тела; установление зависимости мощности излучения нагретого тела от его температуры.

Оборудование: лампа накаливания, амперметр, вольтметр, источник постоянного напряжения.

Теоретическая часть

Тепловое (температурное) излучение - свечение тел, обусловленное нагреванием. Тепловое излучение является равновесным. Если нагретые (излучающие) тела поместить в полость, ограниченную идеально отражающей оболочкой, то через некоторое время (в результате непрерывного обмена энергией между телами и излучением, заполняющим полость) наступит равновесие, т.е. каждое тело в единицу времени будет поглощать столько же энергии, сколько и излучать. При этом все тела в полости приобретут одинаковую температуру. Допустим, что по какой-либо причине одно из тел станет излучать энергии больше, чем поглощать. Если в единицу времени тело больше излучает, чем поглощает (или наоборот), то температура тела начнет понижаться (или повышаться). Так как это противоречит второму началу термодинамики, то отсюда следует, что, действительно, излучающие тела и заполняющее полость тепловое излучение находятся между собой в состоянии термодинамического равновесия. При этом равновесному тепловому излучению приписывается температура, равная температуре находящихся с ним в равновесии тел.

Энергию, излучаемую с единицы площади поверхности тела в единицу времени в интервале частот единичной ширины, называют *спектральной плотностью энергетической светимости*:

$$R_{\nu,T} = \frac{dW_{\nu,\nu+d\nu}^{\text{изл}}}{d\nu}, \quad (1)$$

где $dW_{\nu,\nu+d\nu}^{\text{изл}}$ - энергия электромагнитного излучения, испускаемого за единицу времени (мощность излучения) с единицы площади поверхности тела в интервале частот от ν до $\nu+d\nu$.

Спектральная плотность энергетической светимости в функции длины волны

$$\begin{aligned} R_{\lambda,T} &= \frac{c}{\lambda^2} R_{\nu,T}; \\ dW_{\nu,\nu+d\nu}^{\text{изл}} &= R_{\nu,T} d\nu = R_{\lambda,T} d\lambda; \quad c = \lambda \nu; \\ \frac{d\lambda}{d\nu} &= -\frac{c}{\nu^2} = -\frac{\lambda^2}{c}, \end{aligned} \quad (2)$$

где знак минус указывает, что λ уменьшается с возрастанием ν .

Зная спектральную плотность энергетической светимости, можно найти *энергетическую светимость* тела:

$$R_T = \int_0^\infty R_{\nu,T} d\nu = \int_0^\infty R_{\lambda,T} d\lambda, \quad (3)$$

где суммирование производится по всем частотам (длинам волн).

Способность тел поглощать падающее на них излучение характеризуется *спектральной поглощательной способностью*

$$A_{\nu,T} = \frac{dW_{\nu,\nu+d\nu}^{\text{погл}}}{dW_{\nu,\nu+d\nu}}, \quad (4)$$

показывающей, какая доля энергии, переносимой за единицу времени на единицу площади поверхности тела падающими на нее электромагнитными волнами с частотами от ν до $\nu+d\nu$ поглощается телом.

Тело, способное поглощать полностью при любой температуре все падающее на него излучение любой частоты, называют черным. Тело, поглощательная способность которого меньше единицы, но одинакова для всех частот и зависит только от температуры, называют серым.

Спектральные поглощательные способности черного и серого тел:

$$A_{\nu,T} \equiv 1, A_{\nu,T}^c = A_T = \text{const} < 1.$$

Идеальная модель черного тела - замкнутая полость с небольшим отверстием O , внутренняя поверхность которой зачернена (рис. 1). Луч света, попавший внутрь такой полости, испытывает многократные отражения от стенок, в результате чего интенсивность вышедшего излучения оказывается практически равной нулю. При размере отверстия, меньшем 0,1 диаметра полости, падающее излучение всех частот «полностью поглощается».

Тепловое излучение подчиняется закону Кирхгофа: отношение спектральной плотности энергетической светимости к спектральной поглощательной способности не зависит от природы тела; оно является для всех тел универсальной функцией частоты (длины волны) и температуры

$$\frac{R_{\nu,T}}{A_{\nu,T}} = r_{\nu,T}, \quad (5)$$

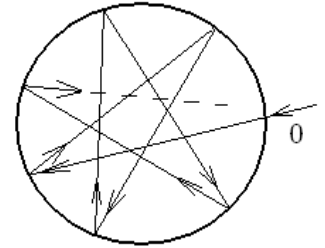


Рис. 1

где $r_{\nu,T}$ - универсальная функция Кирхгофа, т. е. не что иное, как спектральная плотность энергетической светимости черного тела.

Используя закон Кирхгофа (5), выражению для энергетической светимости тела (3) можно придать вид

$$R_T = \int_0^{\infty} A_{\nu,T} r_{\nu,T} d\nu. \quad (6)$$

Для серого тела

$$R_T^c = A_T \int_0^{\infty} r_{\nu,T} d\nu = \int_0^{\infty} r_{\lambda,T} d\lambda = A_T R_e, \quad (7)$$

где

$$R_e = \int_0^{\infty} r_{\nu,T} d\nu = \int_0^{\infty} r_{\lambda,T} d\lambda$$

- энергетическая светимость черного тела (зависит только от температуры)

Зависимость энергетической светимости от температуры определяется законом Стефана - Больцмана:

$$R_e = \sigma T^4, \quad (8)$$

т.е. энергетическая светимость черного тела пропорциональна четвертой степени его термодинамической температуры; $\sigma = 5,67051(19) \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K}^4)$ - постоянная Стефана - Больцмана.

Энергетическая светимость серого тела

$$R_e^c = \alpha_T \sigma T^4, \quad (9)$$

где α_T - степень черноты серого тела.

Экспериментальные кривые зависимости $r_{\nu,T}$ от частоты ν и от длины волны λ для разных температур приведены на рис. 2 и 3, откуда следует, что распределение энергии в спектре черного тела неравномерно.

Согласно закону смещения Вина, длина волны λ_{max} соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости черного тела, обратно пропорциональна его термодинамической температуре (рис. 3):

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}, \quad (10)$$

где $b = 2,8978(1) \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ - постоянная Вина.

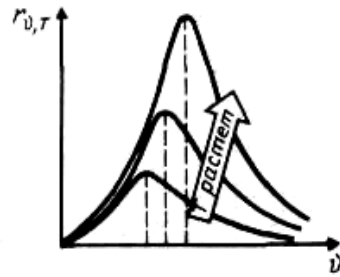


Рис. 2.

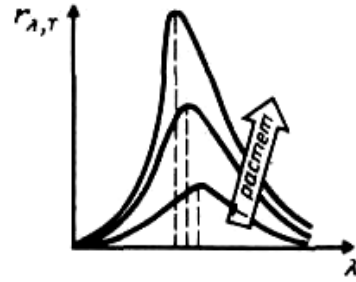


Рис. 3.

Зависимость максимальной плотности энергетической светимости черного тела от температуры

$$(r_{\lambda, T})_{\max} = CT^5, \quad (11)$$

где C – постоянная; $C = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}^5)$.

Формула Рэля - Джинса для спектральной плотности энергетической светимости черного тела

$$r_{\nu, T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \langle E \rangle = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT, \quad (12)$$

где $E = kT$ - средняя энергия осциллятора с собственной частотой ν . В области больших частот формула Рэля - Джинса резко расходится с экспериментом, а также с законом смещения Вина. Кроме того, попытка получить закон Стефана-Больцмана из этой формулы дает абсурдный результат.

В области больших частот хорошее согласие с опытом дает закон излучения Вина (формула Вина), полученный им из общих термодинамических соображений:

$$r_{\nu, T} = c\nu^3 A e^{-\frac{A\nu}{T}}, \quad (13)$$

где $r_{\nu, T}$ - спектральная плотность энергетической светимости черного тела, C и A – постоянные величины. В современных обозначениях в виде постоянной Планка, которая в то время еще не была известна, закон излучения Вина может быть записан в виде

$$r_{\nu, T} = \frac{2\pi h \nu^3}{c^2} e^{-\frac{h\nu}{kT}}. \quad (14)$$

Формула Рэля-Джинса и закон Вина (имеется в виду закон излучения) – частные законы. Первая из них дает правильное спектральное распределение при малых частотах ($h\nu < kT$), а второй - при больших частотах ($h\nu \gg kT$). Они не дают общей картины распределения энергии по всему диапазону частот.

Согласно квантовой гипотезе Планка энергия осциллятора может принимать лишь дискретные значения, кратные целому числу элементарных порций энергии $h\nu$:

$$E = nh\nu \quad (n=0, 1, 2, \dots). \quad (15)$$

В данном случае средняя энергия осциллятора E не может быть принята равной kT , как в формуле Рэля-Джинса. Вероятность, что осциллятор находится в состоянии с энергией E_n , пропорциональна $\exp(-\frac{E_n}{kT})$, но при вычислении средних значений (при дискретных значениях энергии) интегралы заменяются суммами. Тогда средняя энергия осциллятора

$$\langle E \rangle = \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}, \quad (16)$$

а спектральная плотность энергетической светимости черного тела

$$r_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} = \frac{2\pi h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}. \quad (17)$$

Формула Планка для спектральной плотности энергетической светимости черного тела:

$$r_{\nu,T} = \frac{2\pi h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}, \quad (18)$$

$$r_{\lambda,T} = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{kT\lambda}} - 1}, \quad (19)$$

где h - постоянная Планка, k - постоянная Больцмана, c - скорость распространения света в вакууме.

Из формулы Планка можно вывести частные законы, описывающие тепловое излучение.

Экспериментальная часть

Идея эксперимента

В данной работе предлагается исследовать зависимость мощности излучения нити лампы накаливания от температуры и проверить, подчиняется ли излучение нагретой металлической нити закону Стефана-Больцмана.

Т.к. почти вся электрическая энергия, подводимая к нити лампы, преобразуется в энергию электромагнитного излучения, то мощность W излучения можно принять равной потребляемой электрической мощности P :

$$W = P = UI \quad (20)$$

Следовательно, для определения мощности излучения нити лампы необходимо измерить напряжение U на лампе и потребляемую силу тока I .

При изменении напряжения на лампе изменяется и сила тока. Увеличение силы тока приводит к повышению температуры нити лампы и, следовательно, к увеличению мощности излучения. Температуру нити лампы, соответствующую каждому значению силы тока, можно определить, воспользовавшись известной зависимостью сопротивления R_t проводника от температуры t :

$$R_t = R_0(1 + \alpha t), \quad (21)$$

где R_0 - сопротивление нити лампы при температуре 0°C ; R_t - сопротивление нити лампы при температуре $t^\circ\text{C}$; α - температурный коэффициент электрического сопротивления проводника.

Нить лампы сделана из вольфрама. Температурный коэффициент электрического сопротивления вольфрама в интервале значений температуры от 0 до 30°C равен $5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. При температуре же видимого свечения нити температурный коэффициент электрического сопротивления вольфрама равен приблизительно $5,8 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

Из формулы зависимости электрического сопротивления от температуры можно выразить температуру нити:

$$t = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{R_t}{R_0} - 1 \right). \quad (22)$$

Легко найти и абсолютную температуру T :

$$T = t + 273 = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{R_t}{R_0} - 1 \right) + 273 = \frac{1}{5,8 \cdot 10^{-3}} \left(\frac{R_t}{R_0} - 1 \right) + 273. \quad (23)$$

Величину R_t определяют из закона Ома:

$$R_t = \frac{U}{I}, \quad (24)$$

А величину R_0 можно вычислить, зная значение R_{t_1} при комнатной температуре t_1 :

$$R_0 = \frac{R_{t_1}}{1 + \alpha t_1} = \frac{R_{t_1}}{1 + 5 \cdot 10^{-3} t_1}. \quad (25)$$

Порядок выполнения работы

1. Измерьте электрическое сопротивление R нити накала лампы при комнатной температуре t с помощью измерительного моста или цифрового мультиметра. Вычислите электрическое сопротивление R нити лампы при температуре 0°C .

2. Подключите лампу к источнику тока. Включите последовательно с ней амперметр и параллельно вольтметр (рис. 4). Изменяя напряжение U на лампе от 16 до 36 В, измерьте через каждые 4 В значения силы тока I .

3. Вычислите мощность W излучения лампы по формуле (20).

4. Вычислите электрическое сопротивление R_t нити лампы при различных значениях силы тока по формуле (24).

5. Вычислите значения абсолютной температуры T нити накала (формула (23)) и четвертую степень температуры T^4 .

6. Вычислите отношение W/T^4 для каждой пары значений T и W . Результаты измерений и вычислений занесите в отчетную таблицу 1.

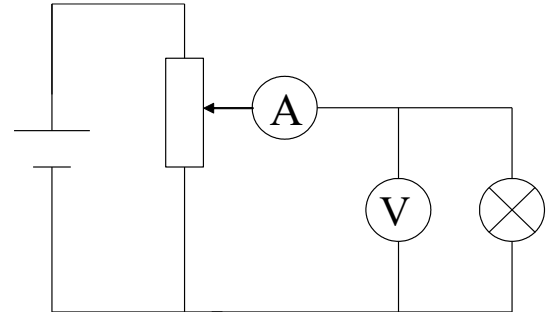


Рис. 4.

Таблица 1.

$R_{t1}, \text{Ом}$	$t_1, ^\circ\text{C}$	$R_0, \text{Ом}$	$U, \text{В}$	$I, \text{А}$	$R_t, \text{Ом}$	$T, \text{К}$	$T^4, \text{К}^4$	$W, \text{Вт}$
			16					
			20					
			24					
			28					
			32					
			36					

7. Постройте график зависимости $W=f(T^4)$. Сделайте вывод.

Контрольные вопросы

1. В чем основное отличие теплового излучения от других видов излучения?
2. Каков физический смысл универсальной функции Кирхгофа?
3. Можно ли на опыте реализовать абсолютно черное тело?
4. Как и во сколько раз изменится энергетическая светимость черного тела, если его термодинамическая температура увеличится вдвое?
5. Как объяснить переход белого каления в красное при остывании металла?

Лабораторная работа № 13 ВНЕШНИЙ ФОТОЭФФЕКТ

Цель работы: расширить представления о внешнем фотоэффекте, экспериментально определить постоянную Планка.

Оборудование и материалы: лабораторная установка «Изучение фотоэффекта и определение постоянной Планка», светофильтры.

Теоретическая часть

Явление вырывания электронов из вещества под действием электромагнитного излучения получило название фотоэлектрического эффекта или **фотоэффекта**.

Различают внешний и внутренний фотоэффект.

При **внешнем фотоэффекте** электроны освобождаются светом из поверхностного слоя вещества и переходят в другую среду.

При **внутреннем фотоэффекте** оптически возбуждаемые электроны остаются внутри освещаемого тела, не нарушая электрическую нейтральность последнего. При этом изменяется электропроводность (фотопроводимость), возникает электродвижущая сила, изменяется диэлектрическая проницаемость (фотодиэлектрический эффект).

Явление фотоэффекта было открыто в 1887 году Генрихом Герцем. Он обнаружил, что проскакивание искры между шариками разрядника значительно облегчается, если отрицательно заряженный шарик осветить ультрафиолетовыми лучами. При освещении такими же лучами положительно заряженного тела потери заряда не наблюдается. Более того, если тело не было заряжено, то при освещении оно заряжается положительно до потенциала в несколько вольт. Однако, занятый исследованием электромагнитных волн, Герц не обратил внимание на это явление серьезного внимания.

Первые систематические исследования явления фотоэффекта принадлежат Столетову, проведенные в 1888-1890 гг. Схема установки, с помощью которой Столетов проводил исследования представлена на рисунке 1.

Конденсатор, образованный проволоочной сеткой и сплошной пластиной, был включен последовательно с гальванометром G в цепь батареи. Свет, проходя через сетку, падал на сплошную пластинку. В результате в цепи возникал ток, регистрировавшийся гальванометром. В результате экспериментальных исследований Столетов установил следующие **закономерности фотоэффекта**:

- 1) наибольшее действие оказывают ультрафиолетовые лучи;
- 2) сила тока возрастает с увеличением освещенности пластины;
- 3) испускаемые под действием света заряды имеют отрицательный знак.

В 1898 году Ленард и Томсон, измерив удельный заряд, испускаемых под действием света частиц, установили, что эти частицы являются электронами. В 1905 г. теоретически фотоэффект объяснил А. Эйнштейн.

Впоследствии установка для исследования фотоэффекта, предложенная Столетовым, была усовершенствована и ее принципиальная схема представлена на рис.2.

Вольтамперная характеристика фотоэлемента

Построим вольтамперную характеристику фотоэлемента. Фотоэлемент представляет собой небольшой баллон, в котором создан вакуум и в центре которого находится положительный электрод (анод) (рис. 2). На часть внутренней поверхности баллона нанесен тонкий слой металла, представляющий отрицательный электрод (катод).

Допустим, что фотоэлемент включен в цепь, изображенную на рис. 2. Передвигая движок потенциометра и снимая показания приборов, можно построить вольтамперную характеристику фотоэлемента. При $U = 0$ через элемент проходит небольшой ток (рис. 3). Под действием света из катода вырываются электроны, и он заряжается положительно. Вырванные электроны вблизи катода создают отрицательно заряженное облако, из которого большая часть электронов попадает обратно на катод (катод при $U = 0$ притягивает электроны), а часть электронов из облака попадает на анод. Они и создают небольшой ток. Для прекращения фототока необходимо приложить обратное по знаку напряжение U_z , которое называют задерживающим напряжением.

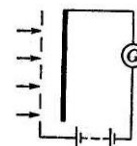


Рис. 1

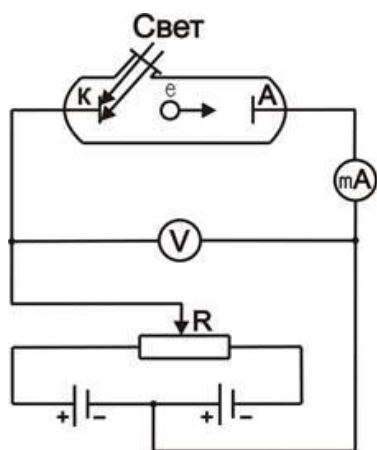


Рис. 2

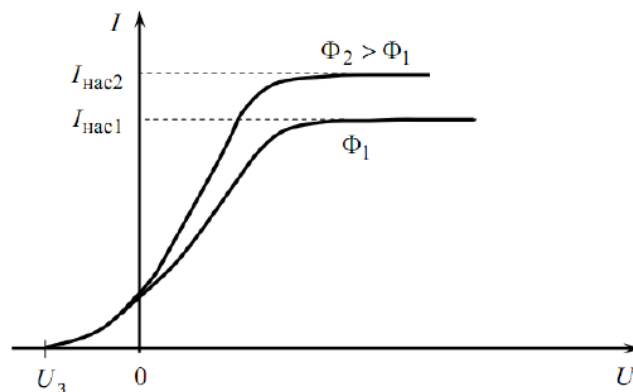


Рис. 3

Если увеличивать напряжение, то по мере роста все большее число электронов за секунду попадает на анод. Облако из электронов вблизи катода редет, а ток через фотоэлемент растет. При достаточно сильном поле облако из электронов вблизи катода полностью исчезнет. Все электроны, вышедшие из катода, будут попадать на анод – наступит насыщение: дальнейшее усиление поля в баллоне фотоэлемента не приведет к увеличению тока. Ток насыщения $I_{\text{нас}}$ определяется тем количеством электронов, которые вырываются в секунду из металла.

Фототок насыщения зависит от падающего на фотоэлемент светового потока Φ . Он будет тем больше, чем больше число фотонов в секунду падает на катод. Очевидно, что зависимость $I_{\text{нас}}(\Phi)$ должна быть линейной. По этой причине вакуумные фотоэлементы могут служить точными фотометрами, позволяющими измерять световые потоки. Следует отметить, что при достаточно больших световых потоках ток насыщения перестает увеличиваться пропорционально световому потоку – наступает насыщение фотоэлемента по световому потоку.

Если световой поток, падающий на фотоэлемент, создаётся точечным источником, то его величина обратно пропорциональна квадрату расстояния R от источника до фотоэлемента:

$$\Phi \sim \frac{1}{R^2}$$

При изучении вольт-амперных характеристик разнообразных материалов при различных частотах падающего на катод излучения и различных энергетических освещенностях катода и обобщения полученных данных были установлены следующие три закона внешнего фотоэффекта.

Законы внешнего фотоэффекта.

I. Закон Столетова: при фиксированной частоте падающего света число фотоэлектронов, вырываемых из катода в единицу времени, пропорционально интенсивности света (сила фототока насыщения пропорциональна энергетической освещенности катода).

II. Максимальная начальная скорость (максимальная начальная кинетическая энергия) фотоэлектронов не зависит от интенсивности падающего света, а определяется только его частотой ν , а именно линейно возрастает с увеличением частоты.

III. Для каждого вещества существует «красная граница» фотоэффекта, т. е. минимальная частота света (зависящая от химической природы вещества и состояния его поверхности), при которой свет любой интенсивности фотоэффекта не вызывает.

Качественное объяснение фотоэффекта с волновой точки зрения на первый взгляд не должно было бы представлять трудностей. Действительно, под действием поля световой волны в металле возникают вынужденные колебания электронов, амплитуда которых (например, при резонансе) может быть достаточной для того, чтобы электроны покинули металл; тогда и наблюдается фотоэффект. Кинетическая энергия, с которой электрон вырывается из металла, должна была бы зависеть от интенсивности падающего света, так как с увеличением последней электрону передавалась бы большая энергия. Однако этот вывод противоречит II закону фотоэффекта. Так как, по волновой теории, энергия, передаваемая электронам, пропорциональна интенсивности света, то свет любой частоты, но достаточно большой интенсивности должен был

бы вырывать электроны из металла; иными словами, «красной границы» фотоэффекта не должно быть, что противоречит III закону фотоэффекта

А. Эйнштейн в 1905 г. показал, что явление фотоэффекта и его закономерности могут быть объяснены на основе предложенной им **квантовой теории фотоэффекта**. Согласно Эйнштейну, свет частотой ν не только испускается и поглощается, но и распространяется в пространстве отдельными порциями или квантами, энергия которых $\varepsilon = h\nu$, h – постоянная Планка ($h=6.63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с).

Таким образом, распространение света нужно рассматривать не как непрерывный волновой процесс, а как поток локализованных в пространстве дискретных световых квантов, движущихся со скоростью c распространения света в вакууме. Эти кванты электромагнитного излучения получили название **фотонов**.

В соответствии с гипотезой предложенной Эйнштейном, энергия, полученная электроном, доставляется ему в виде кванта $h\nu$, который усваивается им целиком. Часть этой энергии, равная работе выхода $A_{\text{вых}}$, затрачивается на то, чтобы электрон мог покинуть тело. Остаток энергии переходит в кинетическую энергию вылетевшего из металла фотоэлектрона.

Фотоны, падая на поверхность металла, проникают на очень малую глубину в металл и поглощаются отдельными его электронами проводимости. При этом их энергия практически моментально возрастает до значения, достаточного, чтобы преодолеть потенциальный барьер вблизи поверхности металла, и они вылетают наружу.

Закон сохранения энергии позволяет написать простое соотношение, связывающее скорость фотоэлектронов с частотой поглощаемого света.

Энергия фотона после поглощения его, с одной стороны, расходуется на преодоление потенциального барьера (эта часть энергии называется работой выхода электрона из металла), а с другой стороны, частично сохраняется у электрона вне металла в виде кинетической энергии. Таким образом, баланс энергий выглядит следующим образом:

$$h\nu = \frac{mv_{\text{max}}^2}{2} + A_{\text{вых}} \quad (1)$$

где $A_{\text{вых}}$ – работа выхода электрона, m и v_{max} – его масса и скорость соответственно, ν – частота излучения.

Соотношение (1) называется уравнением Эйнштейна для фотоэффекта. Оно в частности показывает, что энергия фотоэлектронов, действительно, никак не зависит от интенсивности света, а линейно зависит от частоты света. При достаточно низкой частоте света фотоэффект не наблюдается: энергии фотона не хватает на преодоление потенциального барьера. Критическая частота, при которой прекращается фотоэффект, называется красной границей фотоэффекта. У различных металлов красная граница фотоэффекта различна. Она зависит лишь от работы выхода электрона, т. е. от химической природы вещества и состояния его поверхности:

$$h\nu_{\text{кр}} = A_{\text{вых}} \quad (2)$$

Значение работы выхода для некоторых металлов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Материал	калий	литий	платина	рубидий	серебро	цезий	цинк
$A_{\text{вых}}, \text{эВ}$	2.2	2.3	6.3	2.1	4.7	2.0	4.0

По Эйнштейну, каждый квант поглощается только одним электроном. Поэтому число вырванных фотоэлектронов должно быть пропорционально интенсивности света (I закон фотоэффекта).

Уравнение Эйнштейна позволяет объяснить II и III законы фотоэффекта. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона линейно возрастает с увеличением частоты падающего излучения и не зависит от его интенсивности (числа фотонов), так как ни $A_{\text{вых}}$, ни ν от интенсивности света не зависят (II закон фотоэффекта). Так как с уменьшением частоты света

кинетическая энергия фотоэлектронов уменьшается (для данного металла $A_{\text{вых}} = \text{const}$), то при некоторой, достаточно малой частоте $\nu = \nu_{\text{кр}}$, кинетическая энергия фотоэлектронов станет равной нулю и фотоэффект прекратится (III закон фотоэффекта).

Фотонная теория излучения. Развивая гипотезу М.Планка о квантах, А.Эйнштейн в 1905 г. предположил, что квантовые свойства излучения (света) проявляются не только при испускании и поглощении его веществом, но и при распространении излучения в пространстве. Возрождая корпускулярную теорию света, предложенную Ньютоном еще в начале 18 столетия, Эйнштейн выдвинул гипотезу, согласно которой излучение можно представить состоящим из большого числа частиц, каждая из которых, обладая квантом энергии, движется в пространстве со скоростью света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с. Рассмотрим свойства таких частиц.

Частица излучения, которую называли фотоном, представляет собой ультрарелятивистскую незаряженную частицу. Свойства фотона могут быть описаны только с использованием основных соотношений специальной теории относительности. В частности, из этой теории следует, что фотон является уникальной элементарной частицей, имеющей нулевую массу покоя. Это означает, что фотон всегда движется со скоростью c и не может находиться в состоянии покоя. Если при неупругом столкновении с другой элементарной частицей фотон «останавливается», то он исчезает, передавая всю свою энергию этой частице.

Энергия фотона

$$\varepsilon_{\phi} = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \hbar\omega, \quad (3)$$

где λ – длина волны, $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ – постоянная Планка с чертой ($\hbar = 1.05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с), $\omega = 2\pi\nu$ – циклическая частота.

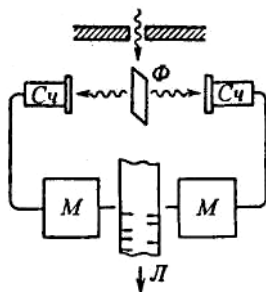
Как и любая материальная частица, фотон имеет массу m_{ϕ} , которая связана с его энергией релятивистской формулой: $m_{\phi}c^2 = \varepsilon_{\phi}$. С учетом (3) находим:

$$m_{\phi} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{\hbar\omega}{c^2}$$

Движущийся со скоростью c фотон обладает импульсом, величина которого связана с его энергией релятивистским соотношением $p_{\phi}c = \varepsilon_{\phi}$, учитывающим, что масса покоя фотона равна нулю. Отсюда

$$p_{\phi} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}.$$

Непосредственное подтверждение гипотезы Эйнштейна дал опыт Боте.



бы одна против другой. В действительности же наблюдалось совершенно беспорядочное расположение отметок. Это можно объяснить лишь тем, что в отдельных актах испускания возникают световые частицы, летящие то в одном, то в другом направлении.

Таким образом, экспериментально было доказано существование особых световых частиц – фотонов.

Определение постоянной Планка

С помощью уравнения Эйнштейна (1) для фотоэффекта, можно экспериментально получить значение постоянной Планка. Для этого необходимо измерить величину запирающего напряжения при различных частотах падающего на фотоэлемент света. В этом случае работа внешнего поля над электронами равна кинетической энергии электрона при вылете из катода:

$$eU_3 = \frac{mv_{max}^2}{2}, \quad (4)$$

где $e=1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона.

С учётом формулы (4) уравнение (1) можно переписать в виде:

$$h\nu = A_{вых} + eU_3, \quad (5)$$

или окончательно:

$$U_3 = \frac{h}{e} \nu - \frac{A_{вых}}{e}. \quad (6)$$

Из последнего уравнения видно, что если строить по точкам график экспериментальной зависимости $U_3(\nu)$, то должна получиться прямая. Тангенс угла наклона этой прямой численно равен $\frac{h}{e}$.

Описание установки и проведение эксперимента.

Лабораторная установка (рис. 4) состоит из металлического корпуса 1, на котором установлен объектив 2 фотоэлемента и осветитель 3. Лампа осветителя установлена на подвижной каретке, которая может перемещаться вдоль установки. За счёт этого можно изменять расстояние от источника света до линзы фотоприёмника. Это расстояние измеряется по линейке 4. Для фиксации осветителя в определённой позиции служит зажимный винт 6. Имеется комплект из 5 светофильтров, которые устанавливаются на фотоприёмник. Перед фотоприёмником установлена стойка 5 для крепления вращающихся поляроидов, которые служат для ослабления светового потока, падающего на фотоэлемент.

Внутри металлического корпуса 1 расположен вакуумный фотоэлемент, блоки питания установки, а также встроенный датчик тока и напряжения, который служит для измерения фототока и катод-анодного напряжения фотоэлемента.

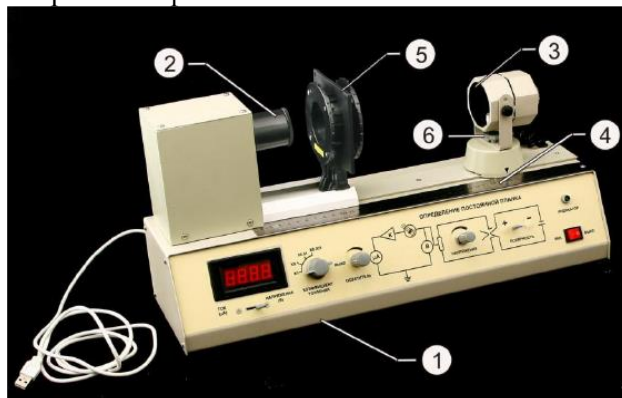


Рис. 4

1. Включите питание установки, дайте ей прогреться в течение 5 минут, передвиньте источник света на отметку 25 см.
2. Установите максимальную интенсивность света (не меняйте в течение эксперимента). Полярность напряжения переключите на «-». Режим отображения цифрового дисплея переключите в положение «Ток». Переключатель «Коэффициент усиления» установите в положение «х0.001».
3. Установите красный светофильтр, значение длины волны (указана на оправе) занесите в таблицу. Изменяя напряжение, добейтесь падения фототока до нуля. ВНИМАНИЕ! Запирающее напряжение – минимальное значение напряжения, при котором фотоэффект

еще возможен. Если добились нулевого значения тока, то дальнейшее увеличение напряжения приведет к искажению результатов!

4. Зафиксируйте значение запирающего напряжения U_z , данные занесите в отчет.
5. Повторите измерения для остальных светофильтров.
6. Рассчитайте частоту падающего света $\nu = \frac{c}{\lambda}$.
7. Постройте зависимость $U_z(\nu)$.
8. По углу наклона прямой, описываемой уравнением (6), определите значение постоянной Планка.

Контрольные вопросы.

1. Что такое фотоны?
2. Напишите формулу энергии фотона.
3. Дайте формулировку явления внешнего фотоэффекта.
4. Сформулируйте законы фотоэффекта.
5. Что такое работа выхода? Чья это характеристика?
6. Напишите формулу Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.
7. Дайте определение красной границы фотоэффекта.
8. Что такое запирающее напряжение для данного фотокатода.
9. Проанализируйте вольтамперную характеристику фотоэлемента.

Лабораторная работа №14

ЭФФЕКТ КОМПТОНА

Запустите программу «Открытая физика». Выберите «Квантовая физика», «Комптоновское рассеяние». Нажмите сверху внутреннего окна кнопку с изображением страницы. Прочитайте краткие теоретические сведения. Необходимое запишите в свой конспект.

Цель работы:

- * Знакомство с моделями электромагнитного излучения и их использованием при анализе процесса рассеяния рентгеновского излучения на веществе.
- * Экспериментальное подтверждение закономерностей эффекта Комптона.
Экспериментальное определение комптоновской длины волны электрона.

Краткая теория.

Наиболее полно корпускулярные свойства света проявляются в эффекте Комптона. Американский физик А. Комптон (1892–1962), исследуя в 1923 г. рассеяние монохроматического рентгеновского излучения веществами с легкими атомами (парафин, бор), обнаружил, что в составе рассеянного излучения наряду с излучением первоначальной длины волны наблюдается также излучение более длинных волн. Опыты показали, что разность $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$ не зависит от длины волны λ падающего излучения и природы рассеивающего вещества, а определяется только величиной угла рассеяния θ :

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2\lambda_c \sin^2(\theta/2), \quad (1)$$

где λ' – длина волны рассеянного излучения, λ_c – **комптоновская длина волны** (при рассеянии фотона на электроне $\lambda_c = 2,426$ пм).

Эффектом Комптона называется упругое рассеяние коротковолнового электромагнитного излучения (рентгеновского и γ -излучений) на свободных (или слабосвязанных) электронах вещества, сопровождающееся увеличением длины волны. Этот эффект не укладывается в рамки волновой теории, согласно которой длина волны при рассеянии изменяться не должна: под действием периодического поля световой волны электрон колеблется с частотой поля и поэтому излучает рассеянные волны той же частоты.

Объяснение эффекта Комптона дано на основе квантовых представлений о природе света. Если считать, как это делает квантовая теория, что излучение имеет корпускулярную природу, т. е. представляет собой поток фотонов, то эффект Комптона – результат упругого столкновения рентгеновских фотонов со свободными электронами вещества (для легких атомов электроны слабо связаны с ядрами атомов, поэтому их можно считать свободными). В процессе этого столкновения фотон передает электрону часть своих энергии и импульса в соответствии с законами их сохранения.

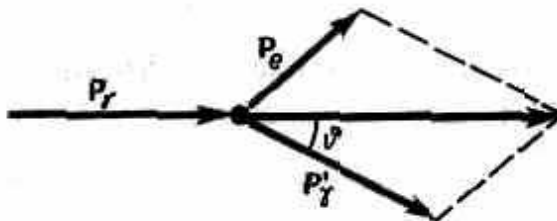


Рис. 1

Рассмотрим упругое столкновение двух частиц (рис.1) – налетающего фотона, обладающего импульсом $p_\gamma = h\nu/c$ и энергией $\varepsilon_\gamma = h\nu$, с покоящимся свободным электроном (энергия покоя $W_0 = m_0c^2$; m_0 – масса покоя электрона). Фотон, столкнувшись с электроном, передает ему часть своей энергии и импульса и изменяет направление движения (рассеивается). Уменьшение энергии фотона означает увеличение длины волны рассеянного излучения. Пусть импульс и энергия рассеянного фотона равны $p'_\gamma = h\nu'/c$ и $\varepsilon'_\gamma = h\nu'$. Электрон, ранее покоившийся, приобретает импульс $p_e = mv$, энергию $W = mc^2$ и приходит в движение – испытывает отдачу. При каждом таком столкновении выполняются законы сохранения энергии и импульса.

Согласно закону сохранения энергии,

$$W_0 + e_\gamma = W + e'_\gamma, \quad (2) \text{ а согласно закону сохранения импульса, } \mathbf{p}_\gamma = \mathbf{p}_e + \mathbf{p}'_\gamma. \quad (3)$$

Подставив в выражении (2) значения величин и представив (3) в соответствии с рис.1, получим

$$m_0 c^2 + h\nu = m c^2 + h\nu', \quad (4)$$

$$(mv)^2 = \left(\frac{h\nu}{c} \right)^2 + \left(\frac{h\nu'}{c} \right)^2 - 2 \frac{h^2}{c^2} \nu\nu' \cos\theta \quad (5)$$

$$\text{Масса электрона отдачи связана с его скоростью } v \text{ соотношением } m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}. \quad (6)$$

Возведя уравнение (4) в квадрат, а затем вычитая из него (5) получим с учетом (6):

$$m_0 c^2 (\nu - \nu') = h\nu\nu'(1 - \cos\theta).$$

Поскольку $\nu = c/\lambda$, $\nu' = c/\lambda'$ и $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$, получим:

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos\theta) = \frac{2h}{m_0 c} \sin^2 \frac{\theta}{2} \quad (7)$$

Выражение (7) есть не что иное, как полученная экспериментально Комптоном формула (1). Подстановка в нее значений h , m_0 и c дает комптоновскую длину волны электрона $\lambda_c = h/(m_0 c) = 2,426$ пм.

Наличие в составе рассеянного излучения «несмещенной» линии (излучения первоначальной длины волны) можно объяснить следующим образом. При рассмотрении механизма рассеяния предполагалось, что фотон соударяется лишь со свободным электроном. Однако если электрон сильно связан с атомом, как это имеет место для внутренних электронов (особенно в тяжелых атомах), то фотон обменивается энергией и импульсом с атомом в целом. Так как масса атома по сравнению с массой электрона очень велика, то атому передается лишь ничтожная часть энергии фотона. Поэтому в данном случае длина волны λ' рассеянного излучения практически не будет отличаться от длины волны λ падающего излучения.

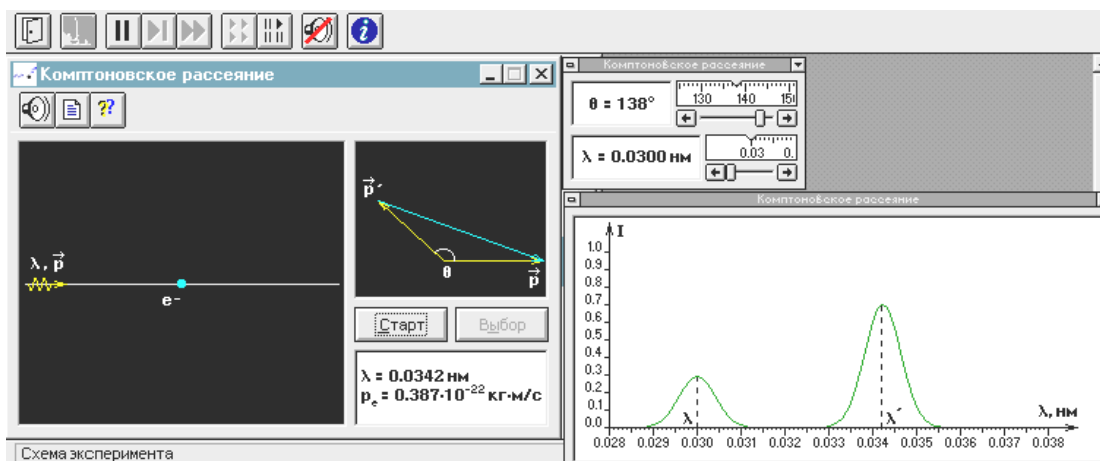
Из приведенных рассуждений следует также, что эффект Комптона не может наблюдаться в видимой области спектра, поскольку энергия фотона видимого света сравнима с энергией связи электрона с атомом, при этом даже внешний электрон нельзя считать свободным.

Эффект Комптона наблюдается не только на электронах, но и на других заряженных частицах, например протонах, однако из-за большой массы протона его отдача «просматривается» лишь при рассеянии фотонов очень высоких энергий.

Как эффект Комптона, так и фотоэффект на основе квантовых представлений обусловлены взаимодействием фотонов с электронами. В первом случае фотон рассеивается, во втором – поглощается. Рассеяние происходит при взаимодействии фотона со свободным электроном, а фотоэффект – со связанными электронами. Можно показать, что при столкновении фотона со свободным электроном не может произойти поглощения фотона, так как это находится в противоречии с законами сохранения импульса и энергии. Поэтому при взаимодействии фотонов со свободными электронами может наблюдаться только их рассеяние, т.е. эффект Комптона.

МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Внимательно рассмотрите рисунок.



Зарисуйте необходимое в свой конспект лабораторной работы.
Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

ИЗМЕРЕНИЯ

1. Нажмите мышью кнопку «Старт» вверху экрана.
2. Подведите маркер мыши к движку регулятора длины волны падающего ЭМИ и установите первое значение длины волны из таблицы 2, соответствующее номеру вашей бригады.
3. Подведите маркер мыши к движку регулятора угла приема рассеянного ЭМИ и установите первое значение 60° из таблицы 1.
4. По картине измеренных значений определите длину волны λ' рассеянного ЭМИ и запишите в первую строку таблицы 1.
5. Изменяйте угол наблюдения с шагом 10° , а записывайте измеренные значения λ' в соответствующие строки таблицы 1.
6. Заполнив все строки таблицы 1, измените значение длины волны падающего ЭМИ в соответствии со следующим значением для вашей бригады из таблицы 2. Повторите измерения длины волны рассеянного ЭМИ, заполняя сначала таблицу 3, а затем и таблицу 4 (аналогичные таблице 1).

ТАБЛИЦА 1. Результаты измерений

Длина волны $\lambda =$ пм			
Номер измер.	θ град	λ' , пм	$1 - \cos\theta$
1	60		
2	70		
.....			
11	160		

ТАБЛИЦА 2 для выбора значений
(не перерисовывать)

Номер бригады	Длина волны падающего ЭМИ (пм)		
1,5	30	50	70
2,6	35	55	80
3,7	40	60	90
4,8	45	65	100

Таблицы 3 и 4 аналогичны таблице 1

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА:

1. Вычислите и запишите в таблицы 1,3 и 4 величины $1 - \cos\theta$.
2. Постройте график зависимости изменения длины волны ($\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$) от разности $(1 - \cos\theta)$ для каждой серии измерений.
3. Определите по наклону графика значение комптоновской длины волны электрона

$$\lambda_C = \frac{\Delta(\Delta\lambda)}{\Delta(1 - \cos\theta)}.$$

4. Запишите ответ и проанализируйте ответ и графики.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Назовите модели, с помощью которых описывается электромагнитное излучение (ЭМИ).
2. Назовите области физики в которых используются соответствующие модели ЭМИ.
3. Что такое луч?
4. Что такое гармоническая волна?
5. Сформулируйте связь между характеристиками ЭМИ в волновой и квантовой моделях.
6. Назовите эффекты, для описания которых надо использовать и волновую и квантовую модели ЭМИ. Проиллюстрируйте один из эффектов.
7. Какие законы сохранения выполняются при взаимодействии фотона с электроном в эффекте Комптона.
8. Сравните поведение фотонов после взаимодействия с электронами в эффекте Комптона и фотоэффекте.
9. Что такое комптоновская длина волны частицы?
10. Почему эффект Комптона не наблюдается при рассеянии фотонов на электронах, сильно связанных с ядром атома?
11. Как меняется энергия фотона при его комптоновском рассеянии?
12. Что происходит с электроном после рассеяния на нем фотона?
13. Чем отличается масса от массы покоя? Когда они совпадают?
14. Напишите уравнение для импульса фотона.
15. Напишите формулу для эффекта Комптона.
16. Напишите формулу для комптоновской длины волны электрона.
17. Чему равно максимальное изменение длины волны рассеянного фотона и когда оно наблюдается?

Лабораторная работа № 15

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА ВОДОРОДА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ РИДБЕРГА.

Цель работы: изучение видимой части спектра излучения атомарного водорода, экспериментальное определение постоянной Ридберга и ее сравнение с вычисленной теоретически.

Оборудование и материалы: водородная газоразрядная трубка, источник питания трубки, спектроскоп.

Теоретическое введение.

Важную роль в раскрытии законов микромира сыграло экспериментальное изучение спектров атома водорода. Бальмер, а затем Ридберг и Ритц установили, что спектр излучения отдельных атомов водорода (разреженных газов) состоит из узких линий; в нем световая энергия концентрируется в узких областях частот.

Опытами Резерфорда по рассеянию α – частиц было установлено, что атом любого химического элемента представляет собой систему зарядов, в центре которой расположено тяжелое положительное ядро с зарядом Ze (Z – атомный номер элемента), имеющее размеры 10^{-12} см, а вокруг ядра расположены Z электронов, расположенных по всему объему, занимаемому атомом.

Ядерная модель атома в сочетании с классической механикой и электродинамикой не в состоянии объяснить ни устойчивость атома, ни характер атомного спектра. Выход был предложен Нильсом Бором, который сформулировал законы движения электрона в атоме в виде постулатов.

1. Электрон в атоме может вращаться только по строго определенным (стационарным) орбитам, радиус которого определяется из условия

$$m_e v r = n \frac{h}{2\pi} \quad (1)$$

где $m_e v r$ – момент импульса электрона, h – постоянная Планка, m_e и v соответственно масса и скорость электрона, $n=1,2,3,\dots$ – квантовые числа, определяющие принадлежности электрона к той или иной орбите радиуса r .

2. Вращаясь по стационарным орбитам, электрон не излучает энергии.

3. Излучение происходит лишь при переходе электрона из стационарного состояния с большим значением энергии E_2 в другое стационарное состояние с меньшим значением энергии E_1 . При этом излучается квант света, частота (ν) которого определяется из условия:

$$h\nu = E_2 - E_1, \quad (2)$$

где $h\nu$ – энергия излучения кванта.

Излучение происходит при переходе электрона с внешних орбит на внутренние. Если возбужденный электрон переходит с внутренних орбит на внешние, то происходит поглощение энергии.

Вычислим радиус стационарных орбит и полную энергию электрона в водородоподобном атоме (атом с порядковым номером Z , из которого удалены все электроны, кроме одного). Уравнение движения электрона имеет вид:

$$\frac{m_e v^2}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r^2} \quad (3)$$

Исключив v из уравнений (1) и (3), получим выражение для радиусов допустимых (разрешенных) орбит:

$$r_n = n^2 \frac{h^2 \epsilon_0}{\pi m Z e^2} \quad (4)$$

Внутренняя энергия атома складывается из кинетической энергии электрона (ядро неподвижно) и энергии взаимодействия электрона с ядром:

$$E = \frac{m_e v^2}{2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r}$$

Из выражения (3) следует, что:

$\frac{m_e v^2}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r}$, следовательно $E = -\frac{1}{2} \cdot \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}$ подставив из выражения (4) значение радиуса получим, разрешенные значения энергий:

$$E = -\frac{1}{n^2} \cdot \frac{Zm_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2} \quad (n=1,2,3,\dots) \quad (5)$$

Для атома водорода $Z=1$. Из формулы (5) следует, что квантовое число n определяет энергию электрона в атоме, так как остальные величины остаются постоянными.

Состояния с различными значениями энергии называются уровнями. Для перевода атома в возбужденное состояние (с $n>1$) ему необходимо сообщить энергию. Возврат атома в состояние с меньшим значением энергии сопровождается излучением кванта энергии

$$h\nu = E_n - E_m = \frac{m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (6)$$

Разделив обе части уравнения (6) на hc , получим:

$$\tilde{\nu} = \frac{\nu}{c} = \frac{m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2 c} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (7)$$

Длины волн спектра водорода могут быть описаны очень точно следующей формулой:

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (8)$$

Постоянная R называется постоянной Ридберга, $\tilde{\nu}$ – спектроскопическое волновое число, m -число, определяющее серию (для наблюдаемой в работе серии Бальмера $m=2$), $n=m+1; m+2, \dots$ -числа, определяющие отдельные линии в каждой серии.

Из дискретности частот излучения (на основе гипотезы Планка о пропорциональности энергии излучения частоте света) естественно следует вывод о дискретности энергетических состояний атома. Спектральные закономерности и другие свойства атома водорода нашли полное объяснение в квантовой механике. Полученные с помощью уравнения Шредингера значения энергии, т.е. уровни энергии атома водорода, равны

$$E = -\frac{m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2} \cdot \frac{1}{n^2}, \quad (9)$$

где $n=1, 2, 3, \dots$ -главное квантовое число. Заметим, что выражение (9) совпадает с формулой (5), полученной Бором для энергии атома водорода. Однако, если Бору пришлось вводить дополнительные гипотезы (постулаты), то в квантовой механике дискретные значения энергии, являясь следствием самой теории, вытекают непосредственно из решения уравнения Шредингера.

Сравнивая (9) с (8), получим для R следующее выражение:

$$R = \frac{m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2 c} \quad (10)$$

Серию линий, отвечающую $m=1$ и $n=2,3,4,\dots$, называют серией Лаймана. Все линии этой серии расположены в ультрафиолетовой области спектра.

Большинство линий серии Бальмера ($m=2$) расположено в видимой области спектра. Линии остальных серий ($m=3,4,\dots$) лежат в инфракрасной области. На рис.1 изображены уровни энергии атома водорода и показаны (вертикальными линиями) возможные электронные переходы между состояниями.

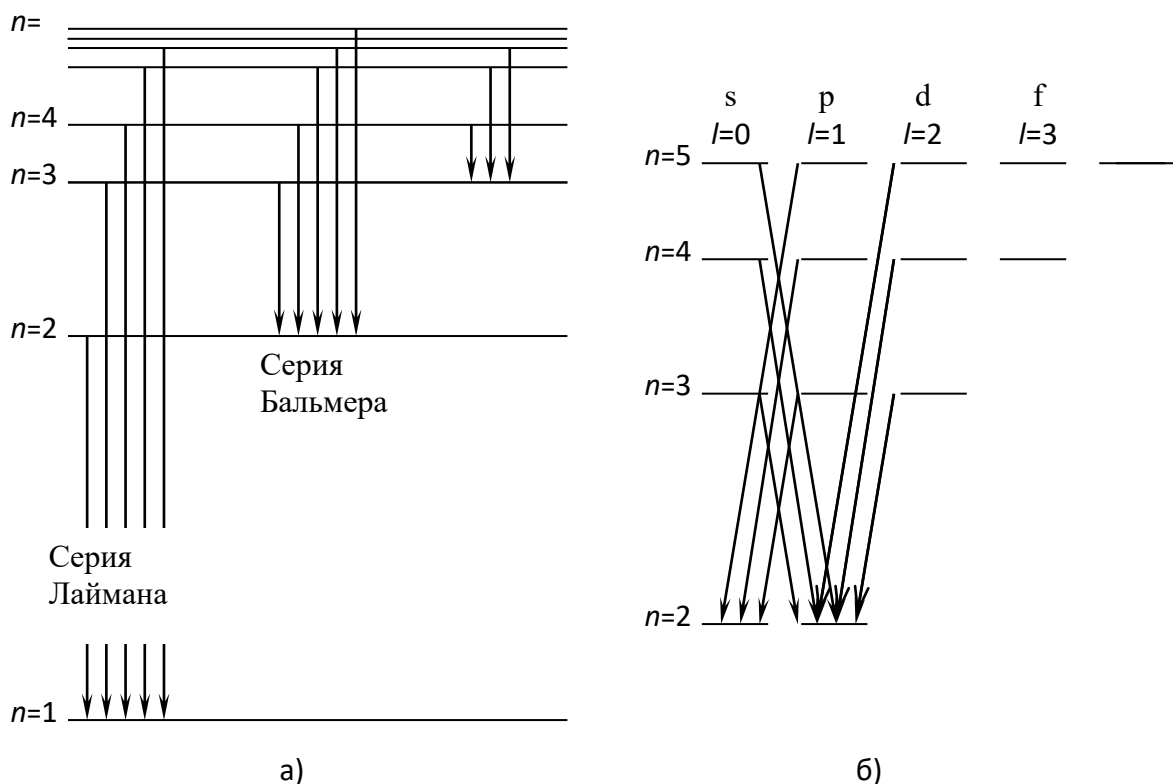


Рис.1

На рис.1б показана схема формирования серии Бальмера с учетом закона сохранения момента импульса ($\Delta l = \pm 1$). По вертикальной оси отложены значения энергии, а по горизонтали указаны состояния с различными значениями момента импульса, определяемого квантовым числом l .

Экспериментальная установка.

В настоящей работе изучается серия Бальмера, линии которой лежат в видимой области. Для измерения длин волн спектральных линий в работе используется спектроскоп (рис. 2), ход лучей в котором приведен на рис. 3.

Газоразрядную водородную трубку, являющуюся источником излучения, устанавливают перед входной щелью спектроскопа. Для наблюдения спектра служит средняя суженная часть трубки, так как интенсивность свечения в этой части наибольшая. Необходимое для разряда напряжение подается на трубку от источника высокого напряжения. Регистрацию спектров излучения производят визуально с помощью зрительной трубы.



Рис. 2

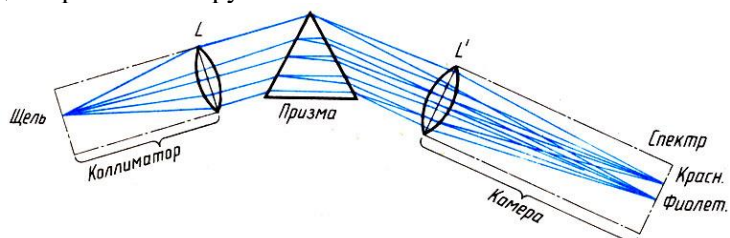


Рис. 3

Проведение эксперимента.

1. Измерьте длины волн водородных линий. Найдите в спектре крайнюю левую линию (в красной области спектра). Для отсчета положения спектральной линии ее центр совмещают с острием указателя. Отсчет производится по делениям барабана. Для уменьшения ошибки ширину щели делают по возможности малой (0,02-0,03 мм). Для наблюдения слабых линий в фиолетовой области щель следует несколько увеличить (до 0,05-0,06 мм). Результаты измерений занесите в таблицу. Измерение линий спектра повторите не менее трех раз.
Следует отметить, что в спектре разряда наряду с линиями атомарного спектра наблюдается спектр молекулярного водорода. Молекулярный спектр состоит из сравнительно слабых полос (уширенных линий) в красно-желтой, зеленой и в голубой областях спектра.
2. Зная волновые числа линии и квантовые числа соответствующих электронных переходов, построить график зависимости $\tilde{\nu} = f(n^{-2})$. Из уравнения (8) видно, что график представляет собой прямую линию, тангенс угла наклона которой равен R , а на оси ординат прямая отсекает отрезок, равный $R/4$ (рис.4).
3. Подсчитайте R по формуле (10) и сравните с результатом, полученным опытным путем. Определите погрешности измерений.

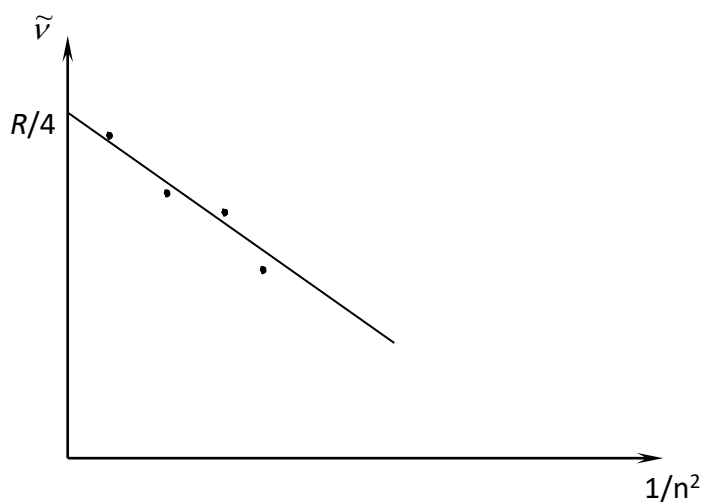


Рис.4

Контрольные вопросы.

1. Что такое спектр электромагнитного излучения (ЭМИ)?
2. Что такое линейчатый спектр ЭМИ? Что является источником этого спектра?
3. Что такое полосатый спектр ЭМИ и что является его источником?
4. При каких условиях излучается сплошной спектр ЭМИ?
5. Опишите планетарную модель атома.
6. Сформулируйте основные положения теории Бора.
7. При каких условиях электроны в атоме излучают или поглощают ЭМИ?
8. Как связаны друг с другом характеристики фотона и электрона, который излучает данный фотон?
9. Какое уравнение используется для анализа квантовой модели атома?
10. Что является решением этого уравнения?
11. Как описывается электрон и его движение в квантовой модели атома?
12. Что определяет квадрат модуля волновой функции?
13. Дайте определение орбитали электрона в атоме.

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ФИЗИКА

**Методические указания для обучающихся по организации и проведению
самостоятельной работы**

Направление подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника
Направленность (профиль) Программное обеспечение средств вычислительной техники и
автоматизированных систем
Квалификация выпускника: бакалавр

Ставрополь 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Общая характеристика самостоятельной работы студента	3
Цель и задачи самостоятельной работы	5
Технологическая карта самостоятельной работы обучающегося	6
Методические указания по видам работ, предусмотренных рабочей программой дисциплины:	
Подготовка к лекциям	7
Подготовка к защите лабораторных работ	9
Методические указания по подготовке к экзамену	10
Критерии оценки	14
Список рекомендуемой литературы	14

Введение

Основная задача высшего образования заключается в формировании творческой личности, способной к саморазвитию, самообразованию, инновационной деятельности.

Самостоятельная работа студентов является одной из важнейших составляющих образовательного процесса. Независимо от полученной профессии и характера работы любой начинающий специалист должен обладать фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности своего профиля, опытом творческой и исследовательской деятельности по решению новых задач, опытом социально-оценочной деятельности. Все эти составляющие образования формируются именно в процессе самостоятельной работы студентов, так как предполагает максимальную индивидуализацию деятельности каждого студента и может рассматриваться как средство совершенствования творческой индивидуальности. Основным принципом организации самостоятельной работы студентов является комплексный подход, направленный на формирование навыков репродуктивной и творческой деятельности студента в аудитории, при внеаудиторных контактах с преподавателем на консультациях и домашней подготовке. Среди основных видов самостоятельной работы студентов традиционно выделяют: подготовка к лекциям, семинарским и практическим занятиям, подготовка к зачетам и экзаменам, написание рефератов, выполнение лабораторных и контрольных работ.

Общая характеристика самостоятельной работы студента

Любой вид занятий, создающий условия для зарождения самостоятельной мысли, познавательной и творческой активности студента связан с самостоятельной работой.

В широком смысле под самостоятельной работой понимают совокупность всей самостоятельной деятельности студентов как в учебной аудитории, так и вне ее, в контакте с преподавателем и в его отсутствие.

Самостоятельная работа может реализовываться: непосредственно в процессе аудиторных занятий – на лекциях, практических и семинарских занятиях, при выполнении контрольных и лабораторных работ и др.; в контакте с преподавателем вне рамок аудиторных занятий – на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении индивидуальных заданий и т.д.; в библиотеке, дома, в общежитии, на кафедре и других местах при выполнении студентом учебных и творческих заданий.

В Федеральных государственных образовательных стандартах высшего профессионального образования (ФГОС ВО) на внеаудиторную работу отводится не менее половины бюджета времени студента за весь период обучения. Это время полностью может быть использовано на самостоятельную работу. Кроме того, большая часть времени, отводимого на аудиторные занятия, также включает самостоятельную работу. Таким образом, времени на самостоятельную работу в учебном процессе вполне достаточно, вопрос в том, как эффективно использовать это время.

Цель самостоятельной работы студента – осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свою профессиональную квалификацию.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная – самостоятельная работа выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию;

• внеаудиторная – самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия

Содержание аудиторной и внеаудиторной самостоятельной работы студентов определяется в соответствии с рекомендуемыми видами учебных заданий, представленными в рабочей программе учебной дисциплины.

Самостоятельная работа помогает студентам:

1) овладеть знаниями:

- чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы и т.д.);
- составление плана текста, графическое изображение структуры текста, конспектирование текста, выписки из текста и т.д.;
- работа со справочниками и др. справочной литературой;
- ознакомление с нормативными и правовыми документами;
- учебно-методическая и научно-исследовательская работа;
- использование компьютерной техники и Интернета и др.;

2) закреплять и систематизировать знания:

- работа с конспектом лекции;
- обработка текста, повторная работа над учебным материалом учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио и видеозаписей;
- подготовка плана;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- подготовка ответов на контрольные вопросы;
- заполнение рабочей тетради;
- аналитическая обработка текста;
- подготовка мультимедиа презентации и докладов к выступлению на семинаре (конференции, круглом столе и т.п.);
- подготовка реферата;
- составление библиографии использованных литературных источников;
- разработка тематических кроссвордов и ребусов;
- тестирование и др.;

3) формировать умения:

- решение ситуационных задач и упражнений по образцу;
- выполнение расчетов (графические и расчетные работы);
- решение профессиональных кейсов и вариативных задач;
- подготовка к контрольным работам;
- подготовка к тестированию;
- подготовка к деловым играм;
- проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности;
- опытно - экспериментальная работа;
- анализ профессиональных умений с использованием аудио- и видеотехники и др.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности и уровня умений студентов.

Контроль результатов самостоятельной работы студентов должен осуществляться в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия и внеаудиторную самостоятельную работу студентов по дисциплине, может проходить в письменной, устной или смешанной форме.

Формы самостоятельной работы студента могут различаться в зависимости от цели, характера, дисциплины, объема часов, определенных учебным планом: подготовка к

лекциям, семинарским, практическим и лабораторным занятиям; изучение учебных пособий; изучение и конспектирование хрестоматий и сборников документов; изучение в рамках программы курса тем и проблем, не выносимых на лекции и семинарские занятия; написание тематических докладов, рефератов на проблемные темы; выполнение исследовательских и творческих заданий; написание контрольных и лабораторных работ; составление библиографии и реферирование по заданной теме.

Самостоятельная работа по дисциплине «Физика» направлена на формирование следующих компетенций:

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ОПК-1. Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности.	ИД-1 _{ОПК-1} понимает основы высшей математики, физики, основы вычислительной техники и программирования. ИД-2 _{ОПК-1} решает стандартные профессиональные задачи с применением естественнонаучных и общетехнических знаний, методов математического анализа и моделирования. ИД-3 _{ОПК-1} осуществляет теоретические и экспериментальные исследования объектов профессиональной деятельности.	Понимает основы физики. Решает стандартные профессиональные задачи с применением физических знаний. Использует законы физики при теоретических и экспериментальных исследованиях объектов профессиональной деятельности.

Цель и задачи самостоятельной работы

Ведущая цель организации и осуществления СРС совпадает с целью обучения студента – формирование набора общенаучных, профессиональных и специальных компетенций будущего бакалавра по направлению подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника.

При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности. Целью самостоятельной работы студентов является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской

деятельности. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Задачами СРС являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсовых и выпускной квалификационной работ, для эффективной подготовки к итоговым зачетам и экзаменам.

Технологическая карта самостоятельной работы обучающегося

Коды реализуемых компетенций, индикаторов	Вид деятельности студентов	Средства и технологии оценки	Объем часов, в том числе		
			СРС	Контактная работа с преподавателем	Всего
1 семестр					
ОПК-1, ИД-1, ИД-2, ИД-3	Подготовка к лабораторным занятиям	Письменный отчет, собеседование	12	2	14
ОПК-1, ИД-1, ИД-2, ИД-3	Подготовка к экзамену	Собеседование или компьютерное тестирование	38	2	40
Итого за 1 семестр			50	4	54
ИТОГО			50	4	54

Методические указания по видам работ, предусмотренных рабочей программой дисциплины:

Подготовка к лекциям

Работа с лекционным материалом в формировании у студентов навыков самостоятельной работы Лекция (от лат. lectio) – это систематическое, последовательное, монологическое устное изложение преподавателем (лектором) учебного материала, как правило, теоретического характера. Как одна из организационных форм обучения и один из методов обучения лекция традиционна для высшей школы, где на ее основе формируются курсы по многим предметам учебного плана. Лекция является ведущей формой организации учебного процесса в высшем учебном заведении. Основными

организационными вопросами при этом являются, во-первых, подготовка к восприятию лекции, и, во-вторых, как записывать лекционный материал. Особое значение лекции состоит в том, что знакомит студентов с наукой, расширяет, углубляет и совершенствует ранее полученные знания, формирует научное мировоззрение, учит методике и технике лекционной работы. Кроме того, на лекции мобилизуется внимание, вырабатываются навыки слушания, восприятия, осмысления и записывания информации. Все это призвано воспитывать логическое мышление студента и закладывает основы научного исследования. Каждой лекции отводится конкретное место в системе учебных занятий по курсу, а работа с лекционным материалом является одной из форм самостоятельной внеаудиторной работы студента. В зависимости от дидактических целей выделяют на несколько типов лекций, которые различаются по строению, приемам изложения материала, характеру обобщений и выводов. Виды лекций: 1. Водная лекция имеет ряд особенностей. Во-первых, этот тип лекции не предполагает рассмотрение всех вопросов, касающихся данной темы. Преподаватель отбирает основные моменты, которые позволят студенту лучше усвоить материал. Вторая особенность вводной лекции – проблемное раскрытие темы. Этим достигается необходимая глубина рассмотрения основных вопросов и целенаправленное внимание студентов при слушании лекции, формирование у них проблемного мышления. Цель вводной лекции – «ввести» в научную дисциплину, помогает понять ее предмет, методология и т.д. 2. Обзорная лекция носит характер повествования, которое сочетается с анализом и обобщениями. Главным в обзорной лекции является отбор и группировка материала с тем, чтобы подготовить студента к восприятию закономерностей, освещаемых в данной лекции. 3. Задача обобщающей лекции состоит в систематизации и обобщении широкого круга знаний, полученных студентами в процессе изучения конкретной темы. В данном случае преподаватель имеет возможность ссылаться на известные студентам факты и события и раскрывать соответствующие закономерности. Основное требование к обобщающей лекции, как и к обзорной, – проблемность ее содержания. Проблемы, рассматриваемые в данном типе лекции, являются ее логической основой. Выделяют и другие формы лекций: лекция-беседа («диалог с аудиторией»), лекция-дискуссия, лекция-консультация. Важным критерием в работе с лекционным материалом является подготовка студентов к сознательному восприятию преподаваемого материала. При подготовке студента к лекции необходимо, во-первых, психологически настроиться на эту работу, осознать необходимость ее систематического выполнения. Во-вторых, необходимо выполнение познавательно-практической деятельности накануне лекции (просматривание записей предыдущей лекции для восстановления в памяти ранее изученного материала; ознакомление с заданиями для самостоятельной работы, включенными в программу, подбор литературы) Подготовка к лекции мобилизует студента на творческую работу, главными в которой являются умения слушать, воспринимать, записывать. Лекция – это один из видов устной речи, когда студент должен воспринимать на слух излагаемый материал. Внимательно слушающий студент напряженно работает – анализирует излагаемый материал, выделяет главное, обобщает с ранее полученной информацией и кратко записывает. Записывание лекции – творческий процесс. Запись лекции крайне важна. Это позволяет надолго сохранить основные положения лекции; способствует поддержанию внимания; способствует лучшему запоминанию материала. Для эффективной работы с лекционным материалом необходимо зафиксировать название темы, план лекции и рекомендованную литературу. После этого приступить к записи содержания лекции. В оформлении конспекта лекции важным моментом является необходимость оставлять поля, которые потребуются для последующей работы над лекционным материалом. Завершающим этапом самостоятельной работы над лекцией является обработка, закрепление и углубление знаний по теме. Необходимо обращаться к

лекциям неоднократно. Первый просмотр записей желательно сделать в тот же день, когда все свежо в памяти. Конспект нужно прочитать, заполнить пропуски, расшифровать некоторые сокращения. Затем надо ознакомиться с материалом темы по учебнику, внести нужные уточнения и дополнения в лекционный материал.

Методические рекомендации по изучению теоретического материала

Методика изучения раздела «Физические основы механики»

Научно-методический анализ раздела «Физические основы механики»: основные понятия и законы, изучаемые в разделе, идея относительности в механике, координатно-векторный способ описания движения.

Научно-методический анализ и методика формирования понятий: система отсчета, перемещение, скорость, ускорение, масса, сила, импульс, работа, энергия, колебательный процесс, амплитуда, период, частота, фаза колебания.

Научно-методический анализ и методика изучения уравнений движения, законов Ньютона, законов сохранения, механических колебаний и волн.

Методика изучения разделов «Электричество» и «Магнетизм»

Научно-методический анализ разделов «Электричество» и «Магнетизм»: основные понятия и законы, изучаемые в разделе, возможные подходы к формированию понятия электромагнитного поля, отражение теории Максвелла в содержании раздела, вопросы классической электронной теории проводимости.

Научно-методический анализ методика формирования понятий: электрический заряд, электромагнитное поле, напряженность, потенциал, разность потенциалов, напряжение, ЭДС, емкость, магнитная индукция, индуктивность, магнитный поток, ЭДС индукции.

Научно-методический анализ и методика изучения электростатики, законов постоянного тока, магнитного поля, электрического тока в различных средах, электромагнитной индукции, элементов специальной теории относительности, электромагнитных колебаний и волн, волновых свойств света.

Методика изучения раздела «Квантовая физика»

Научно-методический анализ раздела «Квантовая физика»: основные понятия и законы, изучаемые в разделе, элементы квантовой теории в содержании раздела.

Научно-методический анализ и методика изучения явления фотоэффекта, эффекта Комптона, постулатов Бора, строения атома.

Методические рекомендации для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Целями лабораторных работ являются изучение специальных понятий и терминов в области материаловедения, ассортимента материалов для одежды, устройства и принципа действия испытательных приборов, требований стандартов к показателям качества материалов, освоение стандартных методик определения основных параметров и показателей качества материалов, расчетных формул и методов обработки результатов, а также методов неразрушающих испытаний.

2. Приступая к лабораторным занятиям, студент должен изучить методические указания к лабораторной работе.

3. Каждая лабораторная работа содержит основные сведения и задание студенту для самостоятельной подготовки.

4. В основных сведениях даны определения специальных понятий, описание приборов и методов испытаний, методические рекомендации по выполнению работы в лаборатории, порядок расчета показателей и их значение при оценке качества материалов.

5. Готовясь к выполнению работы, студент в журнале лабораторных работ должен сформулировать цель работы и ее основные задачи.

6. Готовность студента к выполнению работы проверяется в собеседовании с преподавателем, после представления предварительно оформленной лабораторной работы в журнале. Студенты, допущенные к лабораторным занятиям, получают задание на выполнение лабораторной работы.

7. На лабораторных занятиях в соответствии с заданием и дополнительными указаниями, полученными от преподавателя, студент производит различные экспериментальные измерения, результаты которых студент заносит в журнал лабораторных работ. После обсуждения полученных результатов с преподавателем студент окончательно оформляет отчет. Оформленная лабораторная работа представляется преподавателю для проверки и повторного собеседования для получения зачета по выполненной работе.

Оформление отчета по лабораторной работе

Отчет о лабораторной работе содержит пять разделов.

1. **Цель работы** формулируется студентом исходя из темы лабораторной работы, данных, приводимых в лабораторном практикуме или методических указаниях. Цель работы должна быть изложена кратко и отражать существо рассматриваемого вопроса.

2. **Приборы и материалы.** Приводится перечень всех необходимых материалов и оборудования для выполнения лабораторной работы.

3. **Основные сведения.** Приводятся основные понятия из области методов испытания, физико-механических свойств материалов, которые необходимы в данной лабораторной работе.

4. **Методика проведения работы.** В журнале выполняются схемы приборов и установок для определения соответствующих показателей свойств или параметров материалов с полной спецификацией деталей и узлов. Приводятся описание приборов или установок и кратко принцип их работы, а также методика отбора и подготовки образцов испытуемых материалов с обязательной ссылкой на соответствующие государственные стандарты. Затем приводятся методики испытаний и расчета показателей с указанием размерности в СИ.

5. **Экспериментальная часть.** После испытаний студент заносит в журнал первичные результаты (например, массу до и после намокания образца). Имея первичные результаты, студент по формулам рассчитывает соответствующие показатели, заносит результаты в сводную таблицу.

6. **Выводы.** По результатам лабораторной работы студент обязан сделать выводы, которые основываются на сравнении показателей использованных материалов, оценке тенденций изменений показателей свойств под действием различных факторов, а также на соответствии полученных результатов требованиям государственных стандартов или другой научно-технической документации.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЭКЗАМЕНАМ

Изучение каждой дисциплины заканчивается определенными методами контроля, к которым относятся: текущая аттестация, зачеты и экзамены. Требования к организации подготовки к экзаменам те же, что и при занятиях в течение семестра, но соблюдаться они должны более строго. При подготовке к экзаменам у студента должен быть хороший учебник или конспект литературы, прочитанной по указанию преподавателя в течение

семестра. Вначале следует просмотреть весь материал по сдаваемой дисциплине, отметить для себя трудные вопросы. Обязательно в них разобраться. В заключение еще раз целесообразно повторить основные положения, используя при этом опорные конспекты лекций. Систематическая подготовка к занятиям в течение семестра позволит использовать время экзаменационной сессии для систематизации знаний. Если в процессе самостоятельной работы над изучением теоретического материала или при решении задач у студента возникают вопросы, разрешить которые самостоятельно не удастся, необходимо обратиться к преподавателю для получения у него разъяснений или указаний. В своих вопросах студент должен четко выразить, в чем он испытывает затруднения, характер этого затруднения. За консультацией следует обращаться и в случае, если возникнут сомнения в правильности ответов на вопросы самопроверки.

САМОПРОВЕРКА

После изучения определенной темы по записям в конспекте и учебнику, а также решения достаточного количества соответствующих задач на практических занятиях и самостоятельно студенту рекомендуется, используя лист опорных сигналов, воспроизвести по памяти определения, выводы формул, формулировки основных положений и доказательств. В случае необходимости нужно еще раз внимательно разобраться в материале. Иногда недостаточность усвоения того или иного вопроса выясняется только при изучении дальнейшего материала. В этом случае надо вернуться назад и повторить плохо усвоенный материал. Важный критерий усвоения теоретического материала - умение решать задачи или пройти тестирование по пройденному материалу. Однако следует помнить, что правильное решение задачи может получиться в результате применения механически заученных формул без понимания сущности теоретических положений.

КОНСУЛЬТАЦИИ

Если в процессе самостоятельной работы над изучением теоретического материала или при решении задач у студента возникают вопросы, разрешить которые самостоятельно не удастся, необходимо обратиться к преподавателю для получения у него разъяснений или указаний. В своих вопросах студент должен четко выразить, в чем он испытывает затруднения, характер этого затруднения.

Вопросы к экзамену

Раздел 1. Физические основы механики

1. Кинематическое описание движения материальной точки: материальная точка, система отсчета, перемещение, траектория, путь, скорость, ускорение; кинематические уравнения равнопеременного движения.
2. Криволинейное движение: движение точки по криволинейной траектории: направление линейной скорости при криволинейном движении; нормальное, тангенциальное и полное ускорение (величина, направление, физический смысл).
3. Кинематика вращательного движения: определение вращательного движения, угловой путь, угловая скорость, угловое ускорение (величина, направление, единицы измерения), уравнения равнопеременного вращательного движения; вывод уравнения равнопеременного вращательного движения
4. Законы динамики Ньютона: первый закон Ньютона, инертность; инерциальные системы отсчета; понятие о массе и силе, второй закон Ньютона, третий закон Ньютона.
5. Закон сохранения импульса: импульс материальной точки; импульс системы, внутренние и внешние силы, замкнутая система, формулировка закона сохранения импульса, примеры записи закона сохранения импульса в случае упругого и неупругого соударения.

6. Работа, мощность: работа силы, работа переменной силы, графическое определение работы, определение мощности, единицы измерения работы и мощности.
7. Энергия: кинетическая энергия, связь работы и кинетической энергии, консервативные силы, потенциальные силовые поля, потенциальная энергия, связь консервативной силы и потенциальной энергии, потенциальная энергия тела в поле тяготения Земли, потенциальная энергия упругой деформации.
8. Момент инерции твердого тела: момент инерции материальной точки и твердого тела, момент инерции простейших тел вращения, теорема Штейнера.
9. Работа и кинетическая энергия вращения: кинетическая энергия при вращательном движении; работа силы при вращении тела вокруг неподвижной оси.
10. Основной закон динамики вращательного движения: момент силы относительно точки, момент импульса относительно точки, основной закон динамики вращательного движения.
11. Закон сохранения момента импульса: момент импульса материальной точки относительно неподвижной точки, момент импульса твёрдого тела, закон сохранения момента импульса, примеры, демонстрирующие справедливость закона сохранения момента импульса.
12. Механические колебания: определение колебательного движения, гармонические колебания и их характеристики (амплитуда, фаза, частота, период), дифференциальное уравнение гармонических колебаний.
13. Свободные гармонические колебания: скорость, ускорение при гармонических колебаниях, амплитудные значения скорости и ускорения, кинетическая и потенциальная энергия гармонических колебаний, закон сохранения энергии при гармонических колебаниях.
14. Физический и математический маятник: физический маятник, уравнение колебания физического маятника, период колебаний физического маятника, приведенная длина физического маятника, математический маятник, период колебания математического маятника.
15. Затухающие колебания: дифференциальное уравнение затухающих колебаний и его решение, амплитуда и частота затухающих колебаний, определение коэффициента затухания, декремента, логарифмического декремента затухания, времени релаксации и добротности.
16. Вынужденные колебания: дифференциальное уравнение вынужденных колебаний и его решение, установившийся режим, зависимость амплитуды вынужденных колебаний от частоты вынуждающей силы, резонанс.

Раздел 2. Электричество

17. Электрический заряд: фундаментальные свойства электрических зарядов, закон сохранения заряда, точечные заряды, закон Кулона (величина и направление силы), распределённые заряды, линейная, поверхностная и объёмная плотность заряда.
18. Электрическое поле. Силовая характеристика электрического поля: понятие электрического поля, напряжённость электрического поля (определение, направление, единицы измерения), сила, действующая на заряд со стороны электрического поля, напряженность поля точечного заряда, принцип суперпозиции, линии напряженности (определение, направление, картина линий напряженности точечного заряда), однородное электрическое поле.
19. Теорема Остроградского – Гаусса для электростатического поля в вакууме: определение потока вектора напряжённости электрического поля сквозь элементарную площадку и некоторую поверхность, формулировка теоремы Остроградского – Гаусса для электростатического поля в вакууме, формулы для нахождения напряженности поля бесконечной заряженной плоскости, бесконечной заряженной нити, заряженной сферы.

20. Работа электростатического поля: работа сил электростатического поля по перемещению заряда, потенциальный характер электростатического поля, потенциал электростатического поля (определение, единицы измерения), потенциал поля точечного заряда, потенциал поля системы точечных зарядов (принцип суперпозиции), циркуляция вектора напряженности электростатического поля, теорема о циркуляции вектора напряженности электростатического поля.

21. Связь напряжённости электрического поля с потенциалом: напряженность электрического поля как градиент потенциала (формула), понятие эквипотенциальных поверхностей, взаимное расположение силовых линий поля и эквипотенциальных поверхностей.

22. Проводники в электрическом поле: распределение зарядов внутри и на поверхности проводников, напряженность поля внутри проводника, потенциал поля внутри проводника, электростатическая защита.

23. Электроёмкость. Конденсаторы: электроёмкость уединённого проводника (определение, единицы измерения), электроёмкость уединённого шара, конденсаторы, электроёмкость конденсатора, формула ёмкости плоского конденсатора, соединения конденсаторов.

24. Диэлектрики в электрическом поле: диполь, дипольный момент, виды диэлектриков, поляризация полярных и неполярных диэлектриков в электрическом поле, вектор поляризации (определение, единицы измерения), связь между векторами поляризации и напряженности электрического поля в диэлектрике, напряженность электростатического поля в диэлектрике, диэлектрическая проницаемость (физический смысл), вектор электрического смещения, теорема Гаусса для электростатического поля в диэлектрике.

25. Сегнетоэлектрики: особенности строения сегнетоэлектриков, поведение сегнетоэлектриков при изменении температуры, температура Кюри, поведение сегнетоэлектриков во внешнем электрическом поле, петля гистерезиса; понятие остаточной поляризованности и коэрцитивной силы.

26. Энергия электростатического поля: формула энергии системы неподвижных точечных зарядов; формула энергии уединённого заряженного проводника; формула энергии заряженного конденсатора; формула объемной плотности энергии электростатического поля.

27. Постоянный электрический ток: электрический ток (определение), условия существования электрического тока в цепи, сила и плотность тока (определение, формула, единицы измерения).

28. Закон Ома для однородного участка цепи: закон Ома для однородного участка цепи в интегральной форме, сопротивление проводников, зависимость сопротивления проводников от размеров, материала проводника и температуры, закона Ома в дифференциальной форме.

29. Закон Ома для замкнутой цепи: сторонние силы, электродвижущая сила (определение, формула, единицы измерения), напряжение (определение, формула, единицы измерения), закон Ома для неоднородной цепи, закон Ома для замкнутой цепи.

30. Работа и мощность электрического тока: работа по перемещению электрического заряда на участке цепи, закон Джоуля – Ленца в интегральной форме, мощность электрического тока.

Раздел 3. Магнетизм

31. Магнитное поле в вакууме: источники магнитного поля, индукция магнитного поля (определение, единицы измерения), силовые линии магнитного поля (определение, направление), картина силовых линий прямолинейного проводника с током, закон Био – Савара – Лапласа, принцип суперпозиции.

32. Движение заряженных частиц в магнитном поле: сила Лоренца (величина и направление), описание движения заряженных частиц в магнитном поле в зависимости от угла между вектором скорости и вектором магнитной индукции поля, работа силы Лоренца.
33. Взаимодействие магнитного поля с током: закон Ампера, направление силы Ампера, взаимодействие параллельных проводников с током, характер взаимодействия в зависимости от направления токов.
34. Рамка с током в магнитном поле: магнитный момент рамки с током (величина, направление), момент сил, действующих на рамку с током в однородном магнитном поле, устойчивое и неустойчивое положения равновесия рамки с током в магнитном поле, работа, совершаемая при вращении рамки с током в магнитном поле.
35. Поток вектора магнитной индукции: определение потока вектора магнитной индукции сквозь элементарную площадку и некоторую поверхность, теорема Гаусса для магнитного поля в вакууме.
36. Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле: сила Ампера, движение проводника с током в магнитном поле, работа магнитного поля при перемещении проводника с током.
37. Электромагнитная индукция: явление электромагнитной индукции (опыты Фарадея), закон электромагнитной индукции, правило Ленца, причины появления ЭДС индукции в контуре, движущемся в постоянном магнитном поле, и в неподвижном контуре, расположенном в переменном магнитном поле.
38. Явление самоиндукции: индуктивность контура (определение, единицы измерения), индуктивность соленоида, явление самоиндукции, ЭДС самоиндукции, направление тока самоиндукции, токи при замыкании и размыкании цепи, содержащей индуктивность (формулы), графики процессов.
39. Энергия магнитного поля: работа магнитного поля при изменении магнитного потока сквозь контур, формула энергии магнитного поля тока; понятие объёмной плотности энергии, формула объёмной плотности энергии магнитного поля.
40. Закон полного тока: циркуляция вектора магнитной индукции, закон полного тока для магнитного поля в вакууме, вихревой характер магнитного поля, индукция магнитного поля соленоида.
41. Уравнения Максвелла: система уравнений Максвелла в интегральной форме, физический смысл уравнений, ток смещения (величина, физический смысл), вывод о существовании электромагнитных волн.
42. Электромагнитные волны: возникновение электромагнитных волн, волновое уравнение и его решение в случае плоской электромагнитной волны, скорость волны, свойства электромагнитных волн, энергия электромагнитной волны, вектор Умова – Пойнтинга, шкала электромагнитных волн.
43. Электромагнитные колебания в колебательном контуре: колебательный контур, возникновение электромагнитных колебаний в идеальном контуре, дифференциальное уравнение свободных незатухающих колебаний и его решение, формула Томсона.
44. Затухающие электромагнитные колебания: дифференциальное уравнение затухающих колебаний и его решение, коэффициент затухания, амплитуда и частота затухающих колебаний, добротность колебательного контура.
45. Вынужденные электромагнитные колебания. Переменный ток: дифференциальное уравнение вынужденных колебаний и его решение, активное сопротивление, конденсатор и катушка индуктивности в цепи переменного напряжения, ёмкостное и индуктивное сопротивление, резонанс напряжений, мощность в цепи переменного тока, действующие значения тока и напряжения.

Раздел 4. Квантовая физика

46. Тепловое излучение: определение и свойства теплового излучения; спектральная плотность энергетической светимости, интегральная энергетическая светимость, поглощательная способность тела; определение абсолютно черного тела, закон Кирхгофа.
47. Тепловое излучение АЧТ: определение и модель абсолютно черного тела; спектр излучения абсолютно черного тела и его зависимость от температуры; закон Стефана-Больцмана; закон смещения Вина; объяснение теплового излучения на основе квантовой гипотезы Планка.
48. Экспериментальное изучение внешнего фотоэффекта: определение фотоэффекта; экспериментальная установка для исследования фотоэффекта; вольтамперная характеристика фотоэлемента и её особенности (ток насыщения, задерживающее напряжение); законы фотоэффекта.
49. Квантовая теория внешнего фотоэффекта: определение фотоэффекта; выражение для энергии фотона; уравнение Эйнштейна для фотоэффекта; определение работы выхода.
50. Эффект Комптона: сущность эффекта Комптона; формула Комптона; объяснение эффекта на основе квантовой теории.
51. Корпускулярно-волновой дуализм. Давление света: фотон как квант электромагнитного излучения; выражение для энергии, массы, импульса фотона; экспериментальное исследование давления света (опыты Лебедева); выражение для определения давления света при нормальном падении света на поверхность.
52. Боровская теория водородоподобного атома: атом как сложная система электрически заряженных частиц и спектр его излучения, сериальные формулы; модель атома Резерфорда-Бора, постулаты Бора; объяснение спектра излучения атома водорода с помощью теории Бора; недостатки теории Бора.

Критерии оценки:

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами и вопросами не только базового, но и повышенного уровня, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопросы базового уровня, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач базового уровня, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала базового уровня, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при решении задач базового уровня.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, не знающему значительной части программного материала, допускающему грубые ошибки, не умеющему решать практические задачи.

Литература

Перечень основной литературы:

1. Стародубцева, Г.П. Курс лекций по физике: механика, молекулярная физика, термодинамика. Электричество и магнетизм / Г.П. Стародубцева, А.А. Хашенко; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Ставропольский государственный аграрный университет. – Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2017. – 169 с.: ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=485008> – Библиогр. в кн. – Текст : электронный.

2. Старостина, И. А. Краткий курс физики для бакалавров [Электронный ресурс]: учебное пособие / И. А. Старостина, Е. В. Бурдова, Р. С. Сальманов. — Электрон. текстовые данные. — Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2016. — 364 с. — 978-5-7882-2035-2. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/79312.html>

3. Ветрова, В. Т. Физика. Сборник задач [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. Т. Ветрова. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Вышэйшая школа, 2015. — 446 с. — 978-985-06-2452-9. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/48021.html>

Перечень дополнительной литературы:

1. Трофимова, Т. И. Курс физики: учебник / Т. И. Трофимова. – 17-е изд., стер. – М.: ACADEMIA, 2008. – 560 с.: ил., табл. – (Высшее профессиональное образование). – ISBN 978-5-7695-5782-8.

2. Савельев, И. В. Курс общей физики: учеб. пособие для вузов: [в 3 т.] / И. В. Савельев, Т. 3, Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. – Изд. 2-е, испр. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1982. – 304 с.: ил. – Предм. указ.: с. 302-304.

3. Дмитриева, В. Ф. Основы физики: учеб. пособие / В. Ф. Дмитриева, В. Л. Прокофьев. – Изд. 2-е, испр. и доп. – М.: Высшая школа, 2001. – 527 с.: ил. – Гриф: Доп. МО. – Прил.: с. 500-506. – Предм. указ.: с. 510-519. – ISBN 5-06-003790-8.

4. Ташлыкова-Бушкевич И.И. Физика. Часть 1. Механика. Молекулярная физика и термодинамика. Электричество и магнетизм [Электронный ресурс]: учебник / И.И. Ташлыкова-Бушкевич. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Высшая школа, 2014. — 304 с. — 978-985-06-2505-2. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/35562.html>

5. Ташлыкова-Бушкевич И.И. Физика. Часть 2. Оптика. Квантовая физика. Строение и физические свойства вещества [Электронный ресурс]: учебник / И.И. Ташлыкова-Бушкевич. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Высшая школа, 2014. — 232 с. — 978-985-06-2506-9. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/35563.html>