

**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 05.03.06 Экология и природопользование
Направленность (профиль) Экология и экологическая безопасность

Ставрополь, 2026

Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1.....	23
ИЗУЧЕНИЕ КИНЕМАТИКИ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ВОЗДУШНОЙ ДОРОЖКЕ.....	23
ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ.....	33
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2.....	35
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ НАКЛОННОГО МАЯТНИКА.....	35
ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ.....	46
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3.....	48
ИЗУЧЕНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА.....	48
ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ.....	56
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4.....	58
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ (C_{PCV}) ВОЗДУХА МЕТОДОМ АДИАБАТИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ (КЛЕМАНА–ДЕЗОРМА).....	58
ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ.....	69
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5	
ИЗУЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ И ПОЛУПРОВОДНИКОВ.....	89
ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ.....	101
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6.....	103
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА.....	103
ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ.....	116
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7.....	136
ВНЕШНИЙ ФОТОЭФФЕКТ.....	136
ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ.....	150

Предисловие

Актуальность учебной дисциплины «физика» обусловлена необходимостью формирования у будущих специалистов теоретико-методологических компетенций, практических умений на которых базируется профессиональная деятельность. В современных условиях важнейшим элементом подготовки специалистов в области медицинской биохимии 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 связанных со способностью проводить исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы и информационных

Основные задачи дисциплины:

- приобретение 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;

- развитие творческих способностей в процессе решения физических задач, выполнении экспериментальных заданий;

- 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;

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

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора
ОПК -1 Способен применять базовые знания фундаментальных разделов наук о Земле, естественно-научного и математического циклов при решении задач в области экологии и природопользования	ИД-2 _{ОПК-1} Применяет базовые знания физических законов и анализа физических явлений для решения задач в области экологии и природопользования

Физика – одна из самых важных дисциплин, формирующих мироздание человека.

В результате освоения дисциплины студент должен

- овладеть умениями проводить наблюдения, планировать и выполнять эксперименты, обрабатывать результаты экспериментов, применять теоретические знания при решении задач;
- применять знания по физике для объяснения явлений природы, принципов работы технических устройств
- самостоятельно приобретать знания, использовать современные информационные технологии для поиска, переработки и представления информации по физике;

С основами физического эксперимента студент знакомится еще при обучении в школе. Физический эксперимент всегда вызывает интерес у обучающихся. Приобщение студентов к экспериментальным методам и приемам начинается с лабораторных занятий по физике. Здесь применяется теория, и, кроме того, формируются практические умения и навыки в проведении физических измерений, в обработке и представлении результатов.

Перечень работ, предлагаемых в данном учебном пособии, предназначен для достижения цели обучения физике и отвечает требованиям, предъявляемым к этому виду занятий.

Практикум содержит инструкции и методические указания к выполнению работ, построенных единообразно, по примерной форме: *цель работы, краткая теория, экспериментальная установка, задания для формирования компетенций*. В заданиях к работам подробно описаны методики экспериментов и даны указания к выполнению исследований и грамотной обработке и представлению результатов.

Чтобы качественно выполнить лабораторную работу, представить и защитить полученные результаты, студенту необходимо предварительно подготовиться к исследованиям – познакомиться с теорией, экспериментальной установкой, правилами работы с приборами и, обязательно, техникой безопасности.

Студент может приступить к выполнению лабораторной работы, лишь сдав допуск к работе. Он должен представить преподавателю план работы, т.е. последовательность действий при проведении эксперимента, показать умения работы с приборами установки.

Получив допуск, студент собирает экспериментальную установку, правильность сборки которой проверяется преподавателем, после чего студент может приступить к измерениям.

Лабораторные работы выполняются группами из 2-3 человек. Такая работа формирует навыки командной работы, взаимодействие в коллективе. Результаты измерений должны быть оформлены в виде краткого отчета. В данном пособии приведены примерные формы отчетов к каждой лабораторной работе. В них показано, какие именно таблицы, графики, расчеты обязательны в отчетах. Отчеты должны содержать выводы, сделанные на основании результатов работы. Если есть необходимость, студент имеет право корректировать форму отчета, добиваясь максимальной наглядности представления результатов. При обработке результатов измерений следует уделять большое внимание расчету погрешностей измерений и критическому анализу полученных результатов, который должен быть представлен в выводах. В данном пособии представлена теория к математической обработке результатов исследований и расчетам погрешностей измерений.

Математическая обработка результатов измерений

Физика — экспериментальная наука. Она основывается на экспериментально установленных фактах. Факты остаются, а их интерпретация может со временем меняться. Факты устанавливаются из наблюдений и опытов, которые в свою очередь приобретают особую ценность, когда они выражают физические величины числами, которые определяются в результате измерений.

Таким образом, *основной задачей экспериментальной физики* является количественное исследование физических явлений, в процессе которого определяются числовые значения физических величин и, в конечном итоге, устанавливаются законы исследуемых явлений.

Под измерением понимают сравнение измеряемой величины с другой величиной, принятой за единицу измерения.

Следует различать два способа измерения:

- 1) *прямые измерения*, т.е. непосредственное измерение физических величин (например, линейные размеры тела, вес, сопротивление и т.д.);
- 2) *при косвенных измерениях* искомая величина определяется (вычисляется) по результатам прямых измерений других величин, которые

связаны с измеряемой величиной определенной функциональной зависимостью.

Погрешности результатов измерений

Точность измерения является всегда ограниченной, и результат измерений дает лишь приближенное значение измеряемой величины. Это обусловлено неточностью измерительных приборов, неполнотой наших знаний об исследуемом явлении, трудностью учета всех побочных факторов, влияющих на измерения. Таким образом, любые измерения производятся с какими-либо погрешностями (*ошибками*).

Погрешности, возникающие при измерениях, делят по закономерности их появлений на *систематические, случайные* и *промахи (грубые ошибки)*.

Систематическая погрешность является либо постоянной, либо изменяется по какому-либо закону в процессе измерений. Причинами появления таких погрешностей могут быть: смещение нулевого отсчета прибора; неточная градуировка прибора; некорректная методика проведения эксперимента (не учитываются, например, температурные поправки, влажность, наличие магнитного поля и пр.); использование при расчетах приближенных формул, что может привести к систематическому завышению или занижению результатов измерений.

Выявить систематические погрешности можно только экспериментально: в результате тщательной отладки используемых приборов, их дополнительной проверки с использованием эталонов, учета постоянно действующих факторов, критического анализа методики проведения измерений, использования различных методик для определения одной и той же величины. Если систематическая погрешность выявлена, то она учитывается при измерениях и называется в этом случае поправкой.

Промахи – это ошибки, связанные с резким нарушением условий эксперимента при отдельных измерениях. Сюда относятся ошибки, связанные с неисправностью прибора, грубым просчетом экспериментатора, посторонним вмешательством. Грубая ошибка присутствует обычно не более чем в одном – двух измерениях и характерна своим резким отличием по величине от прочих погрешностей других измерений.

Случайными погрешностями называют погрешности, возникающие по многим причинам, действующим в каждом отдельном измерении различным образом. Они могут быть связаны с трением и зазорами в измерительных устройствах, с влиянием внешних условий (вибрацией, колебаниями температуры, влажности и др.), с несовершенством наших органов чувств.

Случайные погрешности всегда присутствуют в эксперименте, они изменяются от одного измерения к другому, и не могут быть определены заранее. Случайные погрешности служат причиной разброса результатов

повторных измерений относительно истинного значения измеряемой величины.

Если систематические погрешности в принципе могут быть выявлены и учтены (хотя это может оказаться очень сложной задачей), то исключить случайные погрешности нельзя. Но именно потому, что они случайные, они поддаются обработке с помощью математической статистики, основанной на теории вероятности. Используя методы математической статистики, мы можем оценить, насколько близок полученный результат к истинному значению измеряемой величины.

Истинное значение физической величины обычно точно определить нельзя. Корректный способ представления результатов любого измерения состоит в том, что экспериментатор указывает свою наилучшую оценку измеряемой величины $x_{наил}$ и интервал, в котором, как он уверен, она лежит:

$$(\text{измеренная величина}) \quad x = \bar{x}_{наил} \pm \Delta x. \quad (1)$$

Например: $g = 9,82 \pm 0,02 \text{ м/с}^2$.

Величину Δx называют *абсолютной погрешностью*.

Очевидно, что качество измерения характеризуется не только самой абсолютной погрешностью, но также и отношением Δx к $x_{наил}$, т.е. *относительной погрешностью* измерения

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{|\bar{x}_{наил}|} \cdot 100\% \quad (2)$$

Оценка точности результатов одного прямого измерения

Если при повторении измерений в одних и тех же условиях 3 – 4 раза получено одно и то же значение, то это означает, что измерения не обнаруживают случайных изменений, а погрешность обусловлена только *систематической погрешностью*. Систематическая погрешность в данном случае определяется погрешностями измерительных приборов и часто называется *инструментальной или приборной погрешностью*. Есть несколько способов задания этой погрешности:

а) Для некоторых приборов инструментальная погрешность дается в виде абсолютной погрешности. Например, для штангенциркуля, в зависимости от конструкции его нониуса, – 0,1 мм или 0,05 мм, для микрометра – 0,01 мм.

б) Для характеристики большинства измерительных приборов часто используют понятие *приведенной погрешности* ε_n (класса точности).

Приведенная погрешность – это отношение абсолютной погрешности Δx к предельному значению $x_{пр}$ измеряемой величины (т.е. к наибольшему её значению, которое может быть измерено по шкале прибора). Приведенная погрешность обычно дается в процентах:

$$\varepsilon_n = |\Delta x / x_{пр}| \cdot 100\% \quad (3)$$

По величине приведенной погрешности приборы разделяют на семь классов: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4.

Зная класс прибора, можно рассчитать его абсолютную погрешность. Например, вольтметр имеет шкалу делений в пределах от 0 до 300 В ($x_{np}=300$ В) и класс точности 0,5. Тогда

$$\Delta x = \pm (\varepsilon_{np}/100) \cdot x_{np} = \pm (0,5/100) \cdot 300 = \pm 1,5 \text{ В}.$$

в) В некоторых случаях используется смешанный способ задания инструментальной погрешности. Например, весы технические (Т-200) имеют класс точности 2. В то же время указывается, что при нагрузке до 20 г абсолютная погрешность равна 5 мг, до 100 г – 50 мг, до 200 г – 100 мг. Набор школьных гирь относится 4-му классу точности, а допустимые погрешности масс гирь указаны в таблице 1.

Таблица 1

Номинальное значение, г	100	50	20	10	5	2	1
Абсолютная погрешность, мг	+40	+30	+20	+12	+8	+6	+4
Номинальное значение, г	500	200	100	50	20	10	5
Абсолютная погрешность, мг	± 3	± 2	± 1	± 1	± 1	± 1	± 1

г) В тех случаях, когда класс точности прибора не указан, абсолютная погрешность принимается равной *половине цены наименьшего деления шкалы прибора*. Так при измерении линейкой, наименьшее деление которой 1 мм, абсолютная погрешность равна 0,5 мм.

д) Измерения с помощью приборов с цифровыми показаниями. К таким приборам должна прилагаться специальная инструкция, в которой указываются формулы для расчетов погрешностей, которые обычно бывают довольно сложные. Если такой инструкции нет, целесообразно в качестве абсолютной погрешности прибора принять *единицу последнего разряда в показаниях*. Например, прибор показывает 4,5, тогда результат следует записать в виде: $4,5 \pm 0,1$.

Математическая обработка результатов измерений при наличии только случайных ошибок

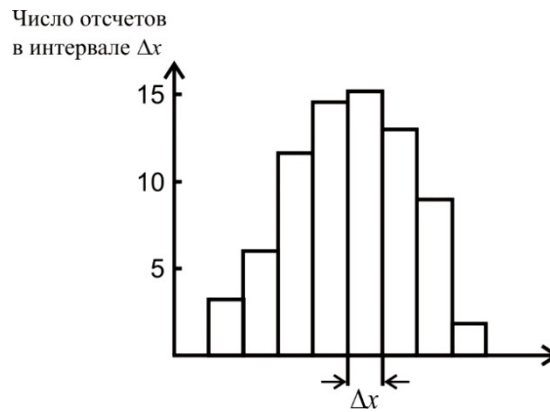


Рис. 1. Гистограмма

Допустим, что мы проводим серию из n измерений одной и той же физической величины. Предполагается, что измерения проводятся одним и тем же наблюдателем с помощью одного и того же прибора. Будем считать, что систематические погрешности отсутствуют, промахи также исключены. В результате мы получим ряд чисел: $x_1, x_2, \dots, x_n$, при этом возможны и повторяющиеся числа. Если число измерений достаточно велико, то на каждый интервал $(x, x + \Delta x)$ будет приходиться некоторая доля отсчетов. Графически это можно представить в виде *гистограммы* – столбчатой диаграммы, показанной на рис. 1.

При очень большом числе измерений ($n \rightarrow \infty$) ширину интервала Δx можно взять бесконечно малой: $\Delta x \rightarrow dx$. Тогда вместо гистограммы можно построить график в виде гладкой кривой (рис. 2).

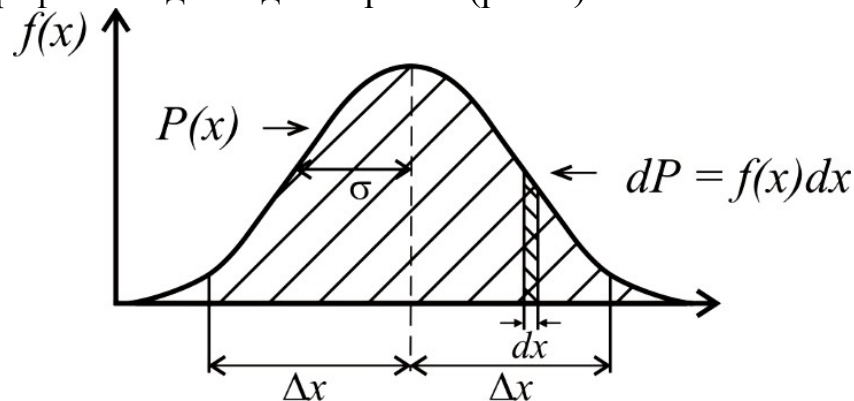


Рис. 2. Распределение случайной величины.

Здесь по оси ординат отложена функция $f(x)$, называемая *плотностью вероятности распределения случайной величины x* . Выясним смысл $f(x)$.

Пусть P – вероятность. Тогда:

$dP = f(x) \cdot dx$ – вероятность того, что результат отдельного измерения окажется в интервале $(x, x + dx)$;

$f(x) = \frac{dP}{dx}$ – вероятность того, что результат отдельного измерения окажется в интервале $(x, x + dx)$, но уже в расчете на единичный интервал dx ;

$P(x) = \int_{x-\Delta x}^{x+\Delta x} f(x) dx$ – вероятность того, что результат отдельного измерения попадет в интервал $(x - \Delta x, x + \Delta x)$.

На рис. 2: dP равна площади плотно заштрихованного участка, а P – всей заштрихованной площади.

Строго говоря, вид функции заранее неизвестен, но во многих случаях кривая распределения случайных величин, приведенная на рис. 3, математически описывается уравнением:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(x_i - \bar{x})^2}{2\sigma^2}\right). \quad (4)$$

Это выражение называют *законом Гаусса*, а само распределение случайных величин в этом случае называют *нормальным* или *гауссовым распределением*. Здесь: x_i – значение i -го измерения величины x ; $\bar{x}$ – среднее значение; σ – *среднее квадратичное отклонение* (или *средняя квадратичная погрешность*) отдельного измерения.

Кривая нормального распределения $f(x)$ является симметричной и характеризуется двумя параметрами: средним значением $\bar{x}$ и средним квадратичным отклонением σ . Кривая имеет перегибы в точках $x = \bar{x} \pm \sigma$.

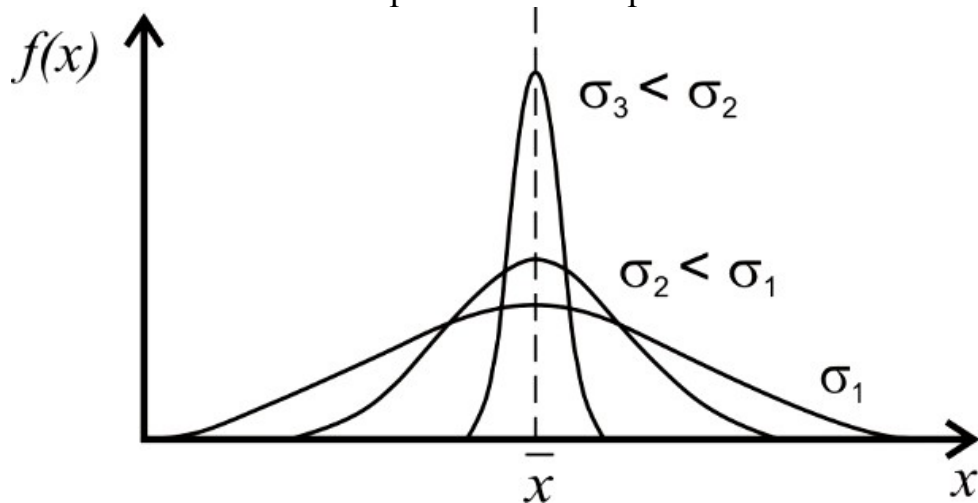


Рис. 3. Распределение случайной величины при различной дисперсии.

Вместо величины σ часто используют σ^2 , называемую *дисперсией*. Дисперсия σ^2 (и средняя квадратичная погрешность σ) характеризуют разброс значений, полученный при измерении данной величины x . Чем меньше σ (т.е. ширина гауссовой кривой), тем меньше разброс значений (рис. 3).

Рассмотрим теперь, как оценить результат измерений какой-либо величины. Пусть мы получили n значений для величины x . За наилучшее

приближение к истинному значению измеряемой величины x принимается среднее арифметическое из всех имеющихся чисел:

$$x_{\text{наш}} = \bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (5)$$

Среднее значение не является истинным значением измеряемой величины x , это только приближение к нему. При большом разбросе данных и малом числе измерений x может существенно отличаться от истинного значения. Для того чтобы оценить степень приближения среднего значения к истинному, используется величина, называемая *доверительным интервалом* – интервалом значений измеряемой физической величины, в который попадает ее истинное значение, но не точно, а с некоторой вероятностью α . Эту вероятность α называют *доверительной вероятностью* или *надежностью*. Пусть Δx – полуширина доверительного интервала, тогда $(x - \Delta x)$ будет нижней границей доверительного интервала, а $(x + \Delta x)$ – его верхней границей. Таким образом, результат измерений некоторой величины x можно записать в виде:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x \text{ с надежностью } \alpha = \dots \%$$

Такую запись следует понимать так: истинное значение измеряемой величины x лежит в пределах от $(x - \Delta x)$ до $(x + \Delta x)$ с вероятностью α .

Таким образом, за истинное значение может быть принят любой результат отдельного измерения, попавший в доверительный интервал, определенный с заданной доверительной вероятностью α . Однако, подчеркнем еще раз: речь идет о границах погрешности единичного опыта x_i , проведенного в данном эксперименте. Но n опытов проводилось для того, чтобы определить среднее значение $\bar{X}$.

Каково же отличие $\bar{X}$ от истинного значения искомой величины?

В теории случайных погрешностей доказывается, что

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}},$$

т.е. *среднеквадратичное отклонение среднего арифметического $\sigma_{\bar{x}}$ в $\sqrt{n}$ раз меньше среднего квадратичного отклонения единичного измерения σ . Последнее выражение имеет фундаментальное значение в теории и практике измерений. Оно подтверждает принципиальную возможность уменьшения случайных погрешностей при увеличении числа опытов.*

Гауссово распределение выполняется при очень большом числе измерений (теоретически при $n \rightarrow \infty$). При малом числе измерений ($n < 30$) полуширина доверительного интервала определяется по формуле:

$$\Delta x_{\text{случ}} = t(\alpha, n) \cdot \sigma_{\bar{x}},$$

где $t(\alpha, n)$ – *коэффициент Стьюдента*, зависящий от надежности α и числа измерений n , а $\sigma_{\bar{x}}$ – *средняя квадратичная погрешность результата n измерений*, называемая также погрешностью среднего арифметического и определяемая из выражения:

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}. \quad (6)$$

Коэффициент Стьюдента $t(\alpha, n)$ определяется по специальным таблицам при известном числе измерений n . В таблице 2 приведены коэффициенты $t(\alpha, n)$ при некоторых значениях n и α .

При всех измерениях в лабораторном практикуме рекомендуется задавать надежность $\alpha = 0,95$ (95%). Более высокая надежность 0,99 или 0,999 требуется только при очень точных и ответственных экспериментах.

Таблица 2.

Число измерений n	Надежность α			
	0,90	0,95	0,99	0,999
2	6,3	12,7	63,7	636,6
3	2,9	4,3	9,9	31,6
4	2,4	3,2	5,8	12,9
5	2,1	2,8	4,6	8,6
6	2,0	2,6	4,0	6,9
7	1,9	2,4	3,7	6,0
8	1,9	2,4	3,5	5,4
9	1,9	2,3	3,4	5,0
10	1,8	2,3	3,3	4,8
∞	1,6	1,96	2,6	3,3

Таким образом, для вычисления измеряемой величины в случае конечного числа измерений имеем выражение:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x_{\text{случ}} = \bar{x} \pm t(\alpha, n) \sigma_{\bar{x}}. \quad (7)$$

Чтобы учесть и случайную и систематическую погрешность, т.е. рассчитать полную погрешность измерений, обычно используют *правило квадратического сложения*:

$$\Delta x = \sqrt{(\Delta x_{\text{случ}})^2 + (\Delta x_{\text{сист}})^2}. \quad (8)$$

Оценка точности косвенных измерений

Большинство физических величин обычно невозможно измерить непосредственно, и их определение включает два различных этапа. Сначала измеряют одну или более величин x , ..., z , которые могут быть непосредственно измерены, и с помощью которых можно вычислить интересующую нас величину. Затем, используя измеренные значения x , ..., z , вычисляют саму искомую величину. Если измерение включает эти два этапа, то и оценка погрешностей тоже включает их. Сначала надо оценить

погрешности в величинах, которые измеряются непосредственно, а затем определить, к какой погрешности они приводят в конечном результате. При этом, конечно, необходимо учитывать вид функциональной связи между величинами.

Погрешность функции $q = f(x, \dots, z)$ нескольких переменных $x, \dots, z$, измеренных с погрешностями $\Delta x, \dots, \Delta z$ в случае, если погрешности независимы и случайны, определяется по формуле:

$$\Delta q = \sqrt{\left(\frac{\partial q}{\partial x} \Delta x\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial q}{\partial z} \Delta z\right)^2}. \quad (9)$$

Вычисления погрешности с помощью формулы (9) обычно оказываются достаточно громоздкими. Поэтому лучше производить поэтапное вычисление, используя некоторые правила, два из которых являются наиболее употребляемыми:

1. *Абсолютная погрешность суммы и разности* равна квадратичной сумме абсолютных погрешностей

$$q = x + \dots + z - u - \dots - w, \\ \Delta q = \sqrt{(\Delta x)^2 + \dots + (\Delta z)^2 + (\Delta u)^2 + \dots + (\Delta w)^2}. \quad (10)$$

2. *Относительная погрешность комбинации произведения и частного* равна квадратичной сумме относительных погрешностей

$$q = \frac{x \cdot \dots \cdot z}{u \cdot \dots \cdot w}, \\ \delta_q = \frac{\Delta q}{q} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\Delta z}{z}\right)^2 + \left(\frac{\Delta u}{u}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\Delta w}{w}\right)^2}. \quad (11)$$

Правила вычисления погрешностей для некоторых других функций приведены в Приложении 1.

Рассмотрим последовательность действий при вычислении погрешности косвенного измерения на примере формулы

$$v = \frac{m + M}{m} S \sqrt{\frac{g}{l}}.$$

Сначала найдем абсолютную и относительную погрешность суммы $w = m + M$:

$$\Delta w = \sqrt{(\Delta m)^2 + (\Delta M)^2}; \quad \frac{\Delta w}{w} = \frac{\sqrt{(\Delta m)^2 + (\Delta M)^2}}{m + M}.$$

Затем найдем относительную и абсолютную погрешности величины v :

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta v}{v} = \sqrt{\left(\frac{\Delta w}{w}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta S}{S}\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \frac{\Delta l}{l}\right)^2}, \quad \Delta v = \varepsilon_v \cdot v.$$

Анализ полученной окончательной формулы позволяет установить:

а) погрешности каких именно величин вносят наибольший вклад в общую погрешность. Точному измерению этих величин необходимо уделить наибольшее внимание.

б) погрешности каких величин практически не влияют на окончательный результат и их можно даже отбросить.

Будем в дальнейшем не принимать в расчет погрешности постоянных (g , e , π , ...) и табличных величин, измеренных с большой точностью. Например, погрешность приближенного числа $\pi \approx 3,14$ составляет всего 0,05 %.

Основные определения теории приближенных вычислений

При записи численного результата наилучшую оценку и ошибку измерения необходимо записывать с нужным количеством цифр. В правильной записи числа должны быть только значащие (верные и сомнительные) цифры.

Цифра называется верной, если ошибка не превышает единицы разряда этой цифры.

Цифра называется сомнительной, если ее разряд совпадает с разрядом погрешности.

Все остальные цифры числа называются неверными и должны быть отброшены округлением.

Верные и сомнительные цифры называются значащими.

При округлении необходимо пользоваться следующими правилами:

1) если первая из отбрасываемых цифр меньше 5, то последняя из оставляемых не изменяется;

2) если первая из отбрасываемых цифр больше или равна 5, то к последней из оставляемых прибавляется единица.

Значащими цифрами приближенного числа являются все верные цифры и одна сомнительная, кроме нулей, стоящих впереди числа. Например, у числа 63,458 пять значащих цифр, а у числа 0,006 – одна. Нули, стоящие позади значащих цифр, могут быть значащими и незначащими. Если эти нули получались в результате округления больших чисел, то они незначащие. Например, скорость света в вакууме, по данным опытов, равна 299 792,5 км/с. Это число обычно округляется до 300 000 км/с. В последнем случае у числа лишь одна значащая цифра. Если же нули означают, что последние разряды пустые, но верные (один сомнительный), то их необходимо считать значащими. Например, у числа 2080 четыре значащие цифры. Незначащие цифры нужны для того, чтобы задать порядок числа.

Для удобства проведения математических действий над приближенными числами последние представляют в так называемой нормальной форме: значащие цифры распределяют так, чтобы первая стояла в разряде единиц остальные – в десятичных разрядах после запятой, и к числу приписывается множитель вида 10^n , где n – целое число.

Например, число 0,0348 в нормальной форме имеет вид $3,48 \times 10^{-2}$, число $30100 = 3,01 \times 10^4$. Удобство такой записи состоит в том, что в числе остаются только значащие цифры, а незначащие "уходят" в степень десяти.

Рассмотрим, как округляют погрешности. Погрешности, в отличие от других приближенных чисел, округляются всегда в сторону увеличения и, как правило, до одной значащей цифры. Если погрешности выражаются числами $\pm 1,837$; $\pm 0,065$; $\pm 0,00845$, то следует писать соответственно, ± 2 ; $\pm 0,07$; $\pm 0,009$. Исключением является случай, когда первая значащая цифра ошибки 1, а вторая меньше 5. Тогда в записи оставляют 2 значащие цифры. Например, если погрешность $\pm 0,014$, то необходимо оставить обе цифры.

Правила действий над приближенными числами

Проведение математических операций над приближенными числами дает результаты, являющиеся также приближенными числами. Чтобы определить значащие цифры результата, необходимо найти его абсолютную погрешность. Такой прием весьма неудобен тогда, когда результат является промежуточным. Поэтому пользуется правилами для приближенного подсчета значащих цифр.

1. При сложении (вычитании) приближенных чисел окончательный результат округляют так, чтобы он не содержал значащих цифр в тех (младших) разрядах, где они отсутствуют хотя бы в одном из слагаемых, Например, складывая числа $4,461 + 2,38 + 1,17273 + 1,0262 = 9,04093$, следует округлить сумму до сотых долей, т.е. принять ее равной 9,04, так как второе слагаемое округлено до сотых.

2. При умножении (делении) округляют сомножители так, чтобы каждый из них содержал столько значащих цифр, сколько их имеет сомножитель с наименьшим числом таких цифр, результат умножения (деления) записывается с таким же числом значащих цифр. Например, вместо вычисления выражения $3,723 \cdot 2,45 \cdot 5,1846$ следует вычислить выражение $3,72 \cdot 2,45 \cdot 5,18 = 46,176 \rightarrow 46,18$.

3. При возведении в степень следует у результата оставлять столько значащих цифр, сколько их содержит основание степени: $1,32^2 = 1,74$.

4. При извлечении корня любой степени в результате следует оставлять столько значащих цифр, сколько их в подкоренном выражении:

$$\sqrt{1,7 \cdot 10^{-8}} = 1,3 \cdot 10^{-4}.$$

5. При логарифмировании результат должен содержать столько значащих цифр, сколько их содержит само логарифмируемое число. Верно и обратное: находимое по логарифму число должно иметь столько же значащих цифр, сколько их имеет результат вычисления логарифма, Например, $\lg 5555 = 3,745$.

При выполнении лабораторных работ точность результат определяется точностью измерительных приборов, тщательностью проведения измерений и не может быть повышена в дальнейшем, путем искусственного набирания знаков при арифметических действиях.

Графическое представление результатов опыта

Часто результаты измерений физических величин, полученных в процессе выполнения лабораторной работы или при других исследованиях, целесообразно представлять в виде графиков. График является удобным и наглядным способом представления опытных данных: позволяет легко определить скорости изменения величин, обнаружить наличие максимумов, точек перегиба, установить функциональную зависимость между исследуемыми величинами и т.д.

Как правило, результаты опыта при изучении какой-либо зависимости приводят в виде таблицы, где каждому значению одного параметра соответствует определенное значение другого параметра.

Построение графика состоит из следующих основных моментов:

1) *выбор типа бумаги.* График строят на миллиметровой бумаге и лишь в исключительных случаях по согласованию с преподавателем – на обычных листах «в клетку»;

2) *выбор координатных осей.* Принято по оси абсцисс (оси X) откладывать ту величину, значения которой задает сам экспериментатор, а по оси ординат (оси Y) – ту величину, которую он при этом определяет. Короче говоря, по оси абсцисс откладываются значения аргумента, а по оси ординат – значения зависимой переменной;

3) *выбор масштабов по осям координат.* Неудачный выбор масштабов по осям координат может сделать график непригодным, поэтому при выборе масштабов следует руководствоваться следующими правилами.

а) Экспериментальные точки не должны сливаться друг с другом.

б) Масштаб должен быть простым, т.е. шкала должна легко читаться. Это достигается, если одна клетка масштабной сетки соответствует удобному числу – 1; 2; 5; 10; ... (но не 3; 7; 11; 13; ...) единиц изображенной на графике величины.

в) График получается более наглядным, если основная часть кривой имеет наклон, не слишком отличающийся от 45° . Масштаб наносится на осях графика в виде равностоящих «круглых» чисел, например: 6; 8; 10; ... или 4,74; 4,76; 4,78. Не следует расставлять эти числа слишком густо – достаточно нанести их через 2 или через 5 см;

Нужно отметить, что не обязательно, чтобы точка пересечения оси абсцисс и оси ординат имела координаты (0,0). Масштаб нужно нанести так, чтобы площадь графика использовалась рационально. Для этого необходимо начинать отсчет с наименьших значений переменных или несколько меньших их величин.

3) *написание обозначений на осях.* На оси обязательно указывается обозначение и, через запятую, единицы измерения соответствующей величины. Для удобства на каждой координатной оси целесообразно

указывать не символическое, а полное название переменной и единиц ее измерения. Например: давление, Н/м²;

4) нанесение данных на график. Полученные экспериментальные результаты наносят на график в виде жирных точек, крестиков, кружочков. Различные группы данных на одном и том же графике должны быть помечены разными знаками;

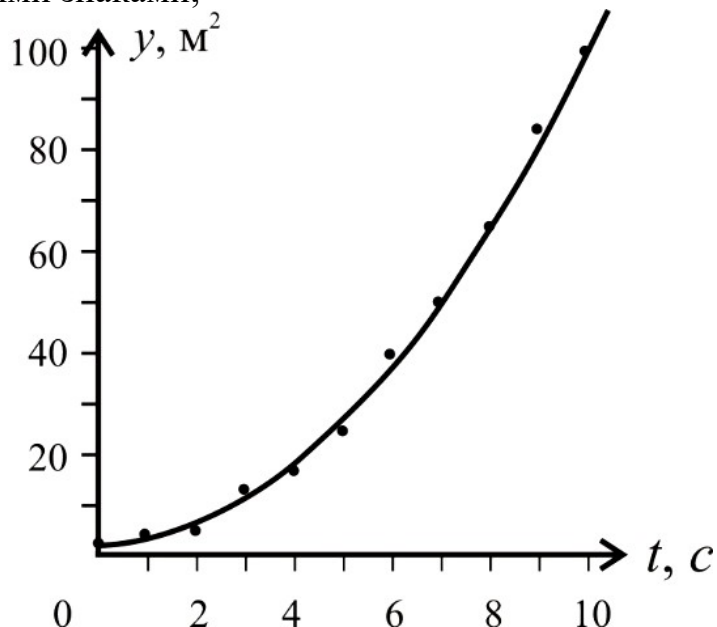


Рис. 4. Зависимость величины расстояния от времени

5) проведение кривой через нанесение точки. Через полученные точки проводится гладкая линия так, чтобы точки оказались слева и справа от нее, причем отклонения (в перпендикулярном направлении от линии) в сумме слева и справа должны быть примерно одинаковы. *Нельзя соединять полученные точки между собой в виде ломаной линии.* Физические процессы в подавляющем своем большинстве происходят "гладко" исключения составляют флуктуации, шумы в радиотехнической аппаратуре и т.п. Кроме того, следует помнить, что точка на графике не является истинным значением измеряемой величины (см. рис. 4);

6) составление заголовка графика. Каждый график должен иметь название, отражающее его содержание, а иногда и необходимые пояснения.

Линеаризация функции и метод наименьших квадратов

В физических исследованиях очень часто для сравнения эксперимента с теорией пользуются методом линеаризации теоретической зависимости, Например, исследуется зависимость перемещения S равноускоренного движения от времени движения. Теоретическая зависимость имеет вид

$$S = \frac{at^2}{2}, \quad (12)$$

где a – ускорение грузов.

Если по экспериментальным точкам построить график зависимости S от t , представляющий собой восходящую кривую, то по виду графика нельзя утверждать, что это парабола и именно та парабола второго порядка, которая соответствует проверяемой закономерности, т.к. похожие графики могут иметь другие закономерности. Единственным графиком, по внешнему виду которого можно однозначно судить о характере исследуемой зависимости, является прямая линия. Для того, чтобы воспользоваться этим свойством в проверяемой закономерности необходимо выявить в ней такие новые переменные, зависимость между которыми была бы линейной. В нашем случае такими переменными являются S и t^2 . Следовательно, для проверки справедливости этого соотношения имеет смысл строить график экспериментальной зависимости S от t^2 .

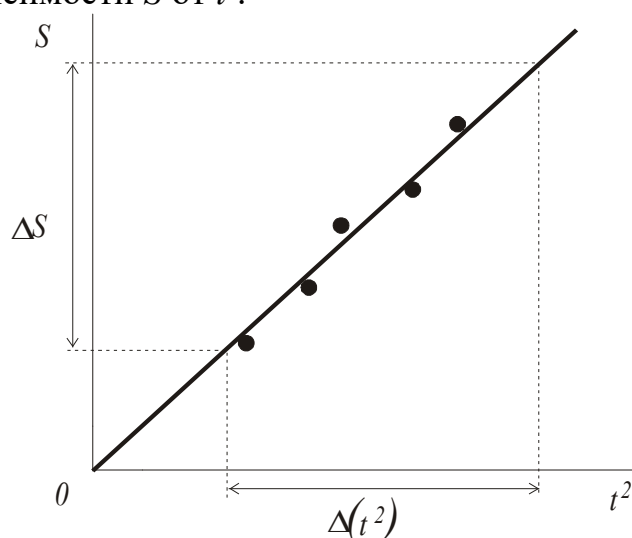


Рис. 5.

Используя график линеаризованной зависимости, можно определить некоторые параметры изучаемого явления из следующих соображений. Уравнение прямой можно записать в виде

$$y = kx + b. \quad (13)$$

Угловой коэффициент k :

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta x}, \quad (14)$$

где Δx – произвольный отрезок на оси OX – приращение аргумента, Δy – соответствующее приращение функции. Величина b может быть определена как величина отрезка, отсекаемого графиком на оси OY . В нашем случае знание коэффициента k позволяет определить ускорение движения: $a = 2k$.

При нахождении величин k и b из графика к погрешностям измерения добавляется погрешность построения графика. Существует точный метод нахождения величин k и b – *метод наименьших квадратов (МНК)*. Этот метод позволяет провести прямую так, что сумма квадратов отклонений экспериментальных точек от графика минимальна. Формулы для определения величин k и b имеют вид:

$$k = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2}, \quad b = \bar{y} - k\bar{x}. \quad (15)$$

Зная k и b и задавшись какими-либо значениями x_1 и x_2 , можно по формуле (13) вычислить y_1 и y_2 . Затем через две точки с координатами (x_1, y_1) и (x_2, y_2) проводится искомая линия.

Теория позволяет также найти погрешности коэффициентов k и b . Сначала вычисляют величины:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2}, \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (y_i - \bar{y})^2}. \quad (16)$$

Затем вычисляют коэффициент линейной корреляции:

$$r = k \frac{\sigma_x}{\sigma_y}. \quad (17)$$

Это число принимает значения между -1 и $+1$. Если r близко к ± 1 , то точки лежат вблизи некоторой прямой линии; если r близко к 0 , то точки не коррелированы и либо незначительно, либо совсем не группируются около прямой линии.

Вычисление абсолютных погрешностей коэффициентов k и b выполняется по формулам:

$$\Delta k = \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}, \quad \Delta b = \Delta k \cdot \bar{x}. \quad (18)$$

Основные требования, предъявляемые к студенту при выполнении эксперимента и обработке результатов измерений

Любой эксперимент – даже учебная лабораторная работа – должен вестись сознательно на основе ясного понимания поставленной задачи. При подготовке к работе нужно четко усвоить: какие физические явления будут исследоваться; какие величины следует измерить; на какой теоретической основе базируется метод измерения данной величины; каков принцип действия данной установки в целом и каждого из применяемых приборов в отдельности. Только после этого можно приступать к измерениям (и монтажу схемы установки, если это необходимо).

Измерения

Измерения должны проводиться тщательно и с соблюдением правил техники безопасности. Эта часть работы является наиболее ответственной и ее надо проводить очень аккуратно и тщательно, согласно указаниями, которые даны в данном практикуме по каждой работе для измерения и наблюдения данной физической величины. Излишняя поспешность при проведении измерений может обернуться значительными затратами времени на поиск ошибок, допущенных в ходе эксперимента, или может привести к необходимости повторного проведения измерений.

Запись результатов измерений

Все записи, касающиеся выполнения эксперимента, ведутся в специальной рабочей тетради. Не ведите запись результатов измерений карандашом, это избавит вас от соблазна впоследствии «скорректировать» результаты. У многих студентов очень плохая привычка записывать результаты сначала на клочке бумаги, затем переписывать в рабочую тетрадь, а оригинал уничтожать. Это приводит к излишней потере времени и к ошибкам, которые могут возникнуть при переписывании. Все результаты прямых измерений следует записывать немедленно и без какой-либо предварительной обработки.

Не проводите никаких – даже самых простых – арифметических расчетов в уме, прежде чем записать результат измерения. Это правило связано с необходимостью уменьшить вероятность появления ошибок при записи. При записи измерений хорошо проверьте то, что вы записали, взглянув еще раз на приборы.

Все промежуточные вычисления лучше вычислять в отдельном месте рабочей тетради. Однако, все вычисления необходимо сохранять, с тем, чтобы можно было найти возможную ошибку, полученную при обработке результатов измерений.

Оформление работ

Для оформления отчетов по физическому практикуму необходимо иметь специальный журнал экспериментальной работы (тетрадь).

Заполнение отчета проводят по следующей схеме:

1. Записывают название, номер работы и ее цель.
2. Дают краткое описание теории метода и приборов с описанием схем приборов и установок (берут из данной работы физического практикума) и подготавливают таблицу для записи измерений.
3. В таблицу записи измерений вписывают результаты измерений (берут из опытов).
4. Обработывают результаты измерений: вычисляют измеряемую величину по формулам и дают оценку погрешности измерений.

5. Анализируют полученный результат. Выявляют основные источники погрешностей.

В заключение *студенты должны сформулировать выводы* по лабораторной работе. Причем вывод не должен быть типа: сделано то-то и то-то. Если целью работы является определение какой-либо физической величины (например, ускорения свободного падения, скорости звука в воздухе и т.д.), то нужно указать, как согласуется полученное вами значение со справочными данными.

Если не согласуется по каким-либо причинам, то указать эти причины. Если целью работы является проверка какой-нибудь теоретической закономерности, то следует указать, подтверждают ли ваши данные теоретические расчеты, а если нет, то почему.

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.

Знать: Основные методы исследования в механике.

Уметь: проводить физические измерения и анализировать полученные результаты; строить и анализировать физические модели.

Владеть: навыками грамотного использования научных методов исследований

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

Краткая 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 (точка *A*) к ее положению в конечный момент (точка *B*) (рис. 1.1).

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.

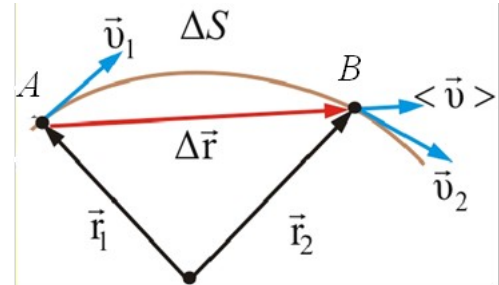


Рис. 1.1

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:

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

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. 1.1).

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. 1.1).

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:

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (1.1)$$

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

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

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t; \quad \vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0t + \frac{\vec{a}t^2}{2} \quad (1.2)$$

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. 1.2).

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.

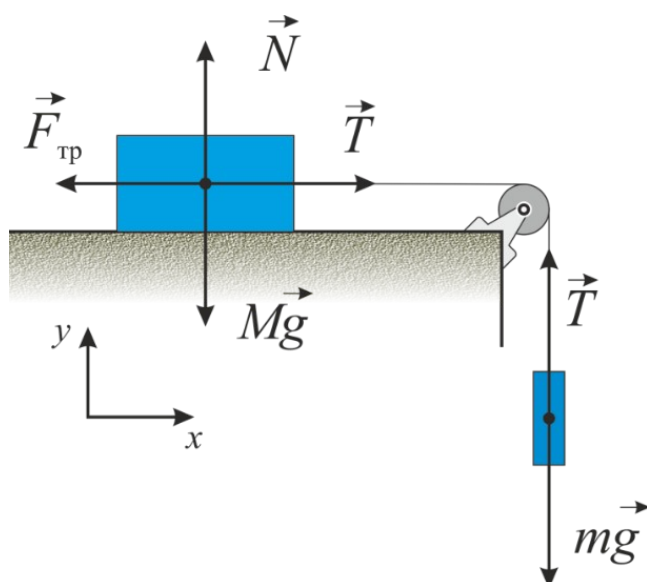


Рис. 1.2

Выберем систему координат, как показано на рис. 1.2. тогда второй закон Ньютона для груза в проекции на ось y имеет вид:

$$T - mg = -ma \quad (1.3)$$

а для ползуна в проекции на ось x

$$T = Ma \quad (1.4)$$

Решая эту систему уравнений, получим

$$a = \frac{m}{m+M} g \quad (1.5)$$

Стартовая система

установлена таким образом, что

пусковое устройство спускает ползун, не сообщая ему начальной скорости. В этом случае система уравнений будет иметь вид:

$$v = at \quad (1.6)$$

$$S = \frac{at^2}{2} \quad (1.7)$$

7)

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

Экспериментальная установка

Экспериментальная установка представлена на рис.1.3. 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.

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.

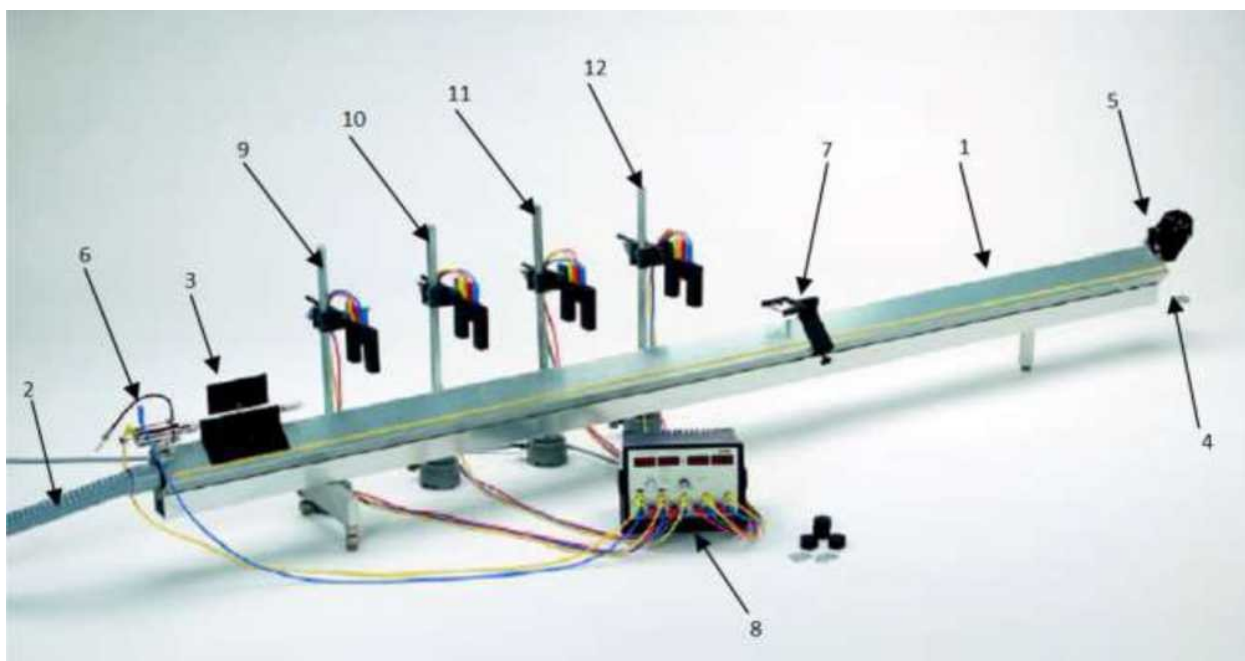


Рис. 1.3.

Методика проведения 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 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 (• ) , 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. Не устанавливать на воздуходувке значения больше 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 тросике 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 $\langle v \rangle_i = \frac{S_i}{\langle t \rangle_i}$.
Результаты занесите в таблицу отчета.
11. Для равноускоренного движения эти скорости равны соответствующим мгновенным скоростям $v(t)$ на этих участках в моменты времени

$$t = \frac{t_i}{2} \quad (1.9)$$
12. Построить график зависимости мгновенной скорости v от времени t . Убедиться, что это зависимость линейная.
13. По наклону этого графика определить ускорение системы $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, и сравнить его с теоретическим значением, рассчитанным по формуле (1.5).

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?
7. Опишите экспериментальную установку и методику проведения эксперимента.

ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Перед тем как войти в лабораторию подготовьтесь к занятию: изучите цель и методику проведения работы, подготовьте форму отчета.
2. В холодное время года не допускается приходить в лабораторию в верхней одежде.
3. В лаборатории недопустимо находиться в одежде, которая допускает возможность зацепления приборов, материалов, замыкание электрических цепей. Украшения, такие как кольца, длинные цепи и т.п. должны быть сняты.
4. Длинные волосы должны быть собраны и закреплены во избежание их попадания в детали установок.
5. Сумки и рюкзаки необходимо оставить в специально предназначенном месте.
6. Категорически не допускается наличие продуктов питания и напитков в лаборатории.
7. Проверить отсутствие внешних видимых повреждений электроустановки и изоляции проводов, наличие и исправность контрольно-измерительного и монтажного инструмента, сигнальных приборов, переключателей и т.п.
8. Убедиться в целостности крышек электророзеток и выключателей, исправности электровилки и изоляции электрокабеля.
9. Убедиться в наличии и целостности заземляющего проводника корпуса электроустановки и электровилки.
10. Точно выполнять все указания преподавателя и лаборанта при проведении лабораторной работы, без разрешения не выполнять самостоятельно никаких работ.
11. При работе со спиртовкой беречь одежду и волосы от воспламенения, не зажигать одну спиртовку от другой, не извлекать из горячей спиртовки горелку с фитилем, не задувать пламя спиртовки ртом, а гасить его, накрывая специальным колпачком.
12. При нагревании жидкости в пробирке или колбе использовать специальные держатели (штативы), отверстие пробирки или горлышко колбы не направлять на себя и на своих товарищей.
13. Во избежание ожогов жидкость и другие физические тела нагревать не выше 60-70°C, не брать их незащищенными руками.
14. Соблюдать осторожность при обращении с приборами из стекла и лабораторной посудой, не бросать, не ронять и не ударять их.

15. При использовании лазера недопустимо направлять его в глаза. Опасным является и отраженный луч.
16. При выполнении работ с маятниками и движущимися грузами недопустимо находиться в области их движения.
17. Следить за исправностью всех креплений в приборах и приспособлениях, не прикасаться и не наклоняться близко к вращающимся и движущимся частям машин и механизмов.
18. При сборке электрической схемы использовать провода с наконечниками, без видимых повреждений изоляций, избегать пересечений проводов, источник тока подключать в последнюю очередь.
19. Собранную электрическую схему включать под напряжение только после проверки ее преподавателем или лаборантом. Включение и выключение электроустановки производить только сухими руками и с использованием индивидуальных средств защиты.
20. Не прикасаться к находящимся под напряжением элементам электрической цепи, к корпусам стационарного электрооборудования, к зажимам конденсаторов, не производить переключений в цепях до отключения источника тока.
21. Не допускать предельных нагрузок измерительных приборов.
22. Не оставлять без надзора не выключенные электрические устройства и приборы.
23. Срочно прекратить работу в случае обнаружения: искрения соединений или щеток эл. машины, нарушения изоляции проводов или кабеля, поломки или разъединения заземляющего провода.
24. При возникновении какой либо неисправности, в работе электрических приборов, работу незамедлительно прекратить, обесточить электроустановку, сообщить преподавателю, работу продолжить после устранения неисправности.
25. В случае поражения человека электрическим током, в первую очередь освободить пострадавшего от воздействия тока, путем отключения установки от электрической сети, отброса провода при помощи сухой палки, перекусывания проводов, оттягивания пострадавшего за одежду. Далее определить степень поражения для оказания первой медицинской помощи.
26. В случае возгорания электроустановки, немедленно ее обесточить и приступить к тушению первичными средствами (песок, пенным или углекислотным огнетушителем).
27. При получении травмы сообщить об этом преподавателю, которому немедленно оказать первую помощь пострадавшему и сообщить администрации учреждения, при необходимости отправить пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение.
28. По окончании работы отключить источник тока. Разрядить конденсаторы с помощью изолированного проводника и разобрать электрическую схему.

29. Категорически запрещается производить отключение влажными и мокрыми руками путем дергания за питающий шнур или кабель.
30. Разборку установки для нагревания жидкости производить после ее остывания.
31. Привести в порядок рабочее место, сдать преподавателю (лаборанту) приборы, оборудование, материалы и тщательно вымыть руки с мылом.

Список литературы:

- 1 Савельев, И. В. Курс общей физики : [учеб. пособие] : в 4 т. / И.В. Савельев ; под общ. ред. И.В. Савельева, Т. 1, Механика. Молекулярная физика и термодинамика. - М. : Кнорус, 2009. - 528 с. : ил. - На учебнике гриф: Доп.УМО. - Прил.: с. 505-515. - ISBN 978-5-85971-899-3
- 2 Савельев, И. В. Курс общей физики : [учеб. пособие] : в 4 т. / И.В. Савельев ; под общ. ред. И.В. Савельева, Т. 2, Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. - М. : Кнорус, 2009. - 576 с. - На учебнике гриф: Доп.УМО. - Прил.: с. 553-560. - Библиогр. в подстроч. примеч. - ISBN 978-5-85971-898-6
- 3 Савельев, И. В. Курс общей физики : в 4 т. : [учеб. пособие] / И.В. Савельев ; под общ. ред. И.В. Савельева, Т. 3, Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. - М. : КНОРУС, 2009. - 368 с. : ил. - На учебнике гриф: Доп.МО. - Библиогр. в подстроч. примеч. - ISBN 978-5-85971-900-6
- 4 Трофимова, Т. И. Курс физики : учеб. пособие / Т.И. Трофимова. - 20-е изд., стер. - М. : Академия, 2014. - 560 с. - На учебнике гриф: Рек.МО. - ISBN 978-5-4468-0627-0
- 5 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского, Вып. 7, Физика сплошных сред. - 6-е изд., суц. испр. - М. : URSS, 2013. - 287 с. : ил. - Часть текста прил. на англ. яз. - На обл.: Существенно испр. изд. - Библиогр. в подстроч. примеч. - ISBN 978-5-453-00039-5. - ISBN 978-5-397-03635-1
- 6 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского, Вып. 3, Излучение. Волны. Кванты. - 9-е изд. - М. : URSS, 2014. - 240 с. : ил. - Библиогр. в подстроч. прим. - ISBN 978-5-453-00059-3. - ISBN 978-5-397-04361-8

7 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р.Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского, Вып. 4, Кинетика. Теплота. Звук. - 9-е изд. - М. : URSS, 2014. - 260 с. : ил. - Библиогр. в подстроч. прим. - ISBN 978-5-453-00060-9. - ISBN 978-5-397-04362-5

8 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р.Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского, Вып. 6, Электродинамика. - 7-е изд. - М. : URSS, 2014. - 347 с. : ил. - Библиогр. в подстроч. прим. - ISBN 978-5-453-00058-6. - ISBN 978-5-397-04359-5

9 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике. Современная наука о природе. Законы механики. Пространство. Время. Движение. 1-2 / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского. - 10-е изд. - М. : URSS, 2014. - 439 с. : ил., портр., табл. - ISBN 978-5-397-04280-2. - ISBN 978-5-453-00055-5

Допуск	Выполнение	Защита

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

«.....»
.....»

выполненной студентом.....
.....курса, группы

Цель работы:
.....
.....

Оборудование и материалы:
.....
.....

Параметры установки: $M=$ кг , $m=$ кг

Задание. Исследование зависимости пройденного пути и скорости ползуна от времени при постоянной силе.

Таблица 1

$N_{\text{д}}$	$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$	$t_3, \text{с}$	$t_4, \text{с}$	$\langle v \rangle_1, \text{м/с}$	$\langle v \rangle_2, \text{м/с}$	$\langle v \rangle_3, \text{м/с}$	$\langle v \rangle_4, \text{м/с}$	$a, \text{м/с}^2$	$a_{\text{теор}}, \text{м/с}^2$
1										
2										
3										
4										
$t_i > \frac{l}{2}$										
$t = t_i > \frac{l}{2}$										

График зависимости пройденного пути от времени

График зависимости скорости от времени

Вычисление ускорения по углу наклона прямой

$$a = \quad \pm \quad \text{м/с}^2, \quad \varepsilon = \quad \%$$

Вывод:.....
.....
.....
.....

Лабораторная работа 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ НАКЛОННОГО МАЯТНИКА

Цель работы: определить коэффициент трения качения различных шаров по пластине с помощью наклонного маятника.

Знать: Основные методы исследования в механике.

Уметь: проводить физические измерения и анализировать полученные результаты; строить и анализировать физические модели

Владеть: навыками грамотного использования научных методов исследований

Оборудование и материалы: наклонный маятник, штангенциркуль.

Краткая теория

Рассмотрим кратко силы трения, не затрагивая вопроса о происхождении этих сил, а ограничиваясь описанием найденных экспериментально законов трения.

В отличие от других сил (сил упругости, электрических сил и т.д.), зависящих от конфигурации тел и их взаимного расположения, силы трения также зависят еще и от *относительных скоростей тел*, между которыми они действуют. Силы трения могут действовать между соприкасающимися телами или их частями как при их относительном движении, так и при их относительном покое. Трение называется *внешним*, если оно действует между различными соприкасающимися телами, не образующими единого тела (например, трение между бруском и наклонной поверхностью, на которой он лежит или с которой он соскальзывает). Если же трение проявляется между различными частями одного и того же тела, например между различными слоями жидкости или газа, скорости которых непрерывно меняются от слоя к слою, то трение называется *внутренним*.

Трение между поверхностями двух соприкасающихся твердых тел при отсутствии между ними жидкой или газообразной прослойки (смазки) называется *сухим*. Применительно к этому случаю, когда соприкасающиеся тела движутся друг относительно друга, различают *трение скольжения* и *трение качения*. Трение между поверхностью твердого тела и окружающей его жидкой или газообразной средой, в которой оно движется, а также трение между различными слоями такой среды, называется *жидким* или *вязким*.

Рассмотрим законы сухого трения. Такое трение возникает не только при скольжении одного тела по поверхности другого, но и при всякой попытке вызвать такое скольжение. В последнем случае трение называется трением покоя. Наличие трения покоя – характерная особенность сухого трения. Рассмотрим тяжелый брусок на горизонтальной поверхности (рис. 2.1). В состоянии покоя вес бруска P уравновешен силой нормального давления f_n , с которой на брусок действует стол ($P = f_n$). Приложим к бруску горизонтальную силу f как можно ближе к поверхности стола, чтобы предотвратить опрокидывание бруска, когда он придет в движение. Опыт показывает, что если сила f не превосходит некоторой определенной величины f_0 ($f < f_0$), то брусок не приходит в движение. Отсюда следует сделать вывод, что на брусок со стороны стола действует равная и противоположно направленная сила f_{mp} , уравнивающая силу f . Это и есть сила трения покоя. Такая же сила трения, но в противоположном направлении действует на поверхность стола со стороны бруска. Сила трения покоя принимает значения, равные внешней силе f . Максимальное значение силы трения покоя равно f_0 .

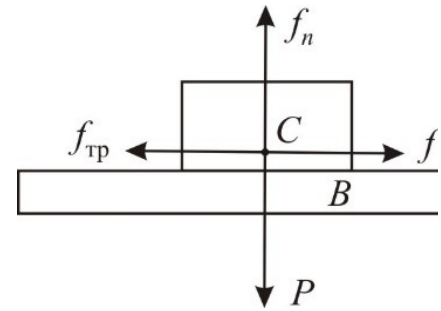


Рис. 2.1.

Пусть теперь брусок скользит по поверхности стола со скоростью v . При равномерном движении действующая сила f по-прежнему уравнивается силой трения f_{mp} . Если равновесия нет, то движение будет ускоренным. В обоих случаях величина силы трения f_{mp} зависит от скорости v .

Как экспериментально установил Кулон (1736 – 1806), величина силы трения не зависит от величины площади поверхности, вдоль которой тела соприкасаются, и пропорциональна силе нормального давления f_n , с которой одно тело действует на другое. Поэтому можно записать

$$f_{mp} = \mu f_n.$$

Постоянная μ называется *коэффициентом трения* и зависит от природы и состояния трущихся поверхностей. Если тело действительно скользит по поверхности другого тела, то μ называют *коэффициентом трения скольжения*. Если же тела покоятся друг относительно друга, то его называют *коэффициентом трения покоя*. Вообще говоря, коэффициент трения μ зависит от скорости движения тел, но, как правило, когда не требуется большая точность его можно считать независимым от скорости.

Во многих случаях силы трения оказываются полезными (например, автомобиль приводится в движение силами трения, действующими между шинами колес и дорогой, и т.п.). Но также часто силы трения оказываются вредными (например, силы трения между деталями машин, приводящие к преждевременному износу), и с ними приходится бороться. Одним из способов уменьшения сил трения является замена силы трения скольжения трением качения. Под трением качения понимают трение, возникающее

между шарообразным или цилиндрическим телом, катящимся без скольжения по плоской или изогнутой поверхности. Трение качения формально подчиняется тем же законам, что и трение скольжения. Однако коэффициент трения при качении значительно меньше, чем при скольжении.

Природа трения качения полностью не выяснена. Ниже представлена в упрощенном виде одна из возможных точек зрения на трение качения.

Трение качения появляется вследствие неупругой деформации как катящегося тела, так и поверхности, по которой катится тело. На рис. 2.2 схематически показана только деформация поверхности, имеющая несимметричный характер.

Качение можно представить как совокупность двух одновременно совершаемых телом движений: поступательного и вращательного.

На катящееся тело массы m действуют сила тяжести mg и результирующая сила со стороны деформированной поверхности F , точка приложения последней силы на рисунке обозначена через P . Вертикальная и горизонтальная составляющие силы F равны $F \cos \gamma$, $F \sin \gamma$ соответственно (см. рис. 2.2).

Второй закон Ньютона в проекциях на вертикальное и горизонтальное направления имеет вид:

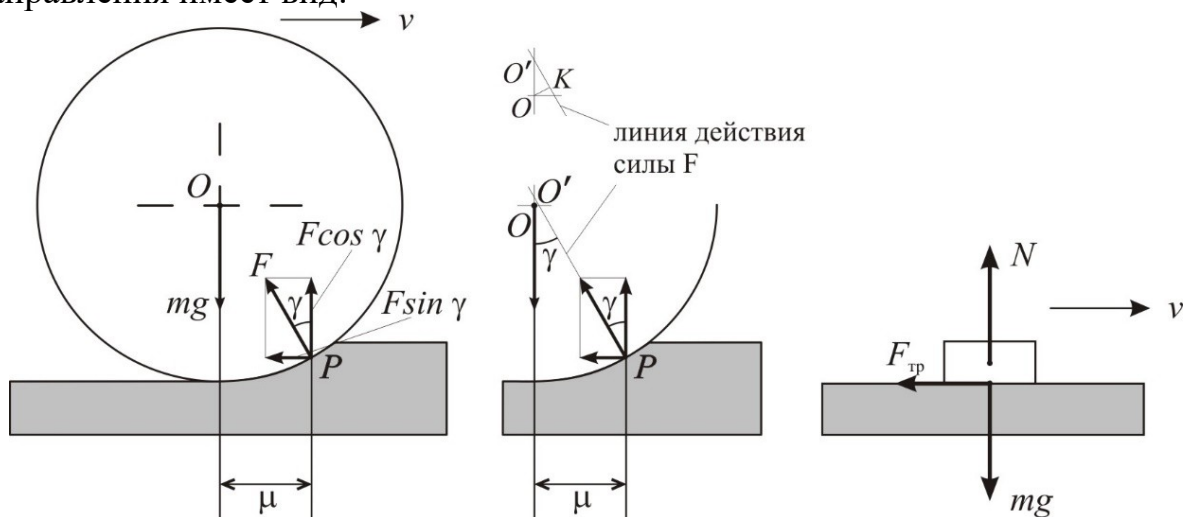


Рис. 2.2.

$$\begin{cases} F \cos \gamma - mg = 0; \\ F \sin \gamma = ma. \end{cases}$$

где a – ускорение поступательного движения катящегося тела. Горизонтальная составляющая $F \sin \gamma$ представляет собой силу трения качения F_k , т.е. $F_k = F \sin \gamma$.

Из рис. 2.2 видно, что $\tan \gamma = F_k / mg$. Так как в большинстве случаев $F_k \ll mg$, то $\tan \gamma$ и γ достаточно малы. Поэтому

$$\sin \gamma \approx \gamma, \cos \gamma \approx 1, F_k = F \gamma, F \approx mg.$$

Длина дуги μ , заключенная между вертикальной линией действия силы тяжести и точкой приложения P силы F , при малых значениях γ примерно

равна длине перпендикуляра, опущенного из точки приложения P силы F на линию действия силы тяжести.

Расстояние $O'P$ примерно равно радиусу тела R , поэтому $\gamma \approx \mu/R$.

Равенство $R \approx O'P$ следует из следующих соображений. Вращательное движение катящегося тела характеризуется малым угловым ускорением ε . Согласно основному закону динамики вращательного движения абсолютно твердого тела $M = J\varepsilon$, где в случае качения M – момент силы F , J – момент инерции катящегося тела относительно оси вращения, проходящей через центр тела O перпендикулярно к плоскости рис. 2.2. Величина ε мала в том случае, если к катящемуся телу приложен малый момент M .

Последний мал, если мало плечо силы F , т.е. мала длина перпендикуляра OK , опущенного из центра катящегося тела O на линию действия силы F . Если OK мало, то расстояния OP ($= R$) и $O'P$ практически равны.

На основании вышесказанного сила трения качения имеет вид

$$F_k \approx mg \mu / R$$

Величина μ называется коэффициентом трения качения и имеет размерность длины.

В случае трения скольжения μ – коэффициент трения скольжения и является безразмерной величиной.

Экспериментальная установка

Схема установки показана на рис. 2.3. На основании 1 укреплена вертикальная стойка 2, к верхней части которой на кронштейне 3 крепится наклонная платформа 4. Угол платформы к вертикали можно изменять с помощью винта 5. Значение этого угла определяется по шкале 6. В верхней части платформы крепится наклонный маятник. При измерении коэффициента трения скольжения в качестве маятника используется стержень 7 с обоймой 8, в которой закрепляется усеченный стальной шар. Опора 9 на верхнем конце стержня 7 позволяет ему свободно отклоняться в плоскости, параллельной платформе 4. При измерении коэффициента трения качения маятником служит стальной шар 10, подвешенный на тонкой неупругой нити 11.

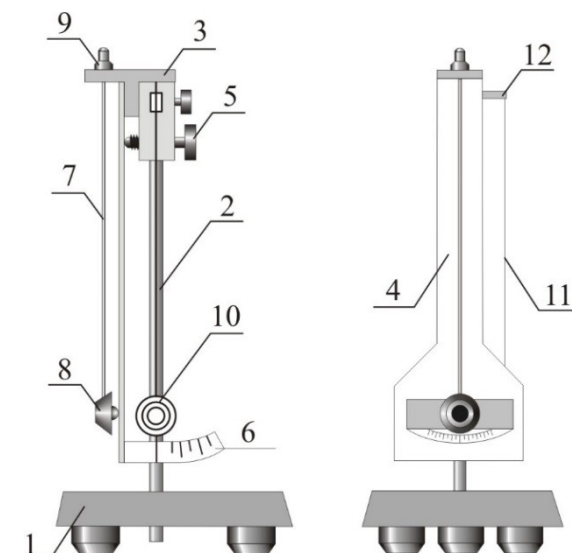


Рис. 2.3.

11. Шар с нитью используется также для контроля вертикальности стойки 2, в этом случае его подвешивают на кронштейн 12.

Методика проведения эксперимента

Если маятник отклонить вдоль наклонной плоскости на некоторый угол и отпустить, то начнутся колебания, которые будут затухать под действием силы трения маятника о плоскость, сопротивления среды и трения в подвесе маятника. Основной причиной в данном случае будет интересующее нас трение о плоскость. Двумя другими силами трения можно пренебречь. Пусть масса маятника m . Основные силы, действующие на маятник в отклоненном положении, изображены на рисунке 2.4. Их четыре: сила тяжести mg , сила N нормальной реакции плоскости, сила F_{mp} трения о плоскость и сила T натяжения подвеса. Сила трения связана с силой реакции плоскости законом

$$F_{mp} = \mu N, \quad (2.1)$$

где μ – коэффициент трения.

Разложим силу тяжести на компоненты $mg_{\parallel}$, параллельную плоскости, и $mg_{\perp}$, перпендикулярную плоскости. Сила N нормальной реакции уравнивает компоненту $mg_{\perp}$, следовательно, эти два вектора равны по величине: $N = mg_{\perp} = mg \cdot \sin \gamma$ и для силы трения получается выражение

$$F_{mp} = \mu mg \cdot \sin \gamma.$$

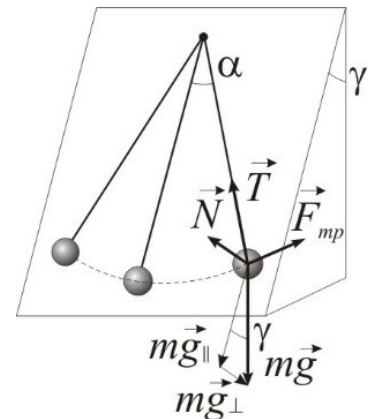


Рис. 2.4.

Обозначим начальный угол отклонения маятника вдоль плоскости α_0 , максимальный угол в противоположную сторону (через половину периода) $\alpha_{1/2}$, угол отклонения через период – α_1). При медленном убывании амплитуды потери энергии за каждый период приблизительно одинаковы и $\alpha_{1/2} = (\alpha_0 + \alpha_1)/2$. За период точка касания маятника проходит путь $S = l \cdot (\alpha_0 + 2\alpha_{1/2} + \alpha_1) = 2l(\alpha_0 + \alpha_1)$. При этом сила трения совершает работу

$$A_{mp} = -F_{mp}S = -2kmgl \sin \gamma (\alpha_0 + \alpha_1) \quad (2.2)$$

На величину этой работы уменьшается полная механическая энергия маятника. В крайних положениях эта энергия состоит только из потенциального вклада mgh , поэтому

$$A_{mp} = mgh_0 - mgh_1, \quad (2.3)$$

где h_0, h_1 – высоты подъема маятника в крайнем положении, соответствующие углам α_0, α_1 .

С помощью рисунка 2.5 найдем, как высота подъема h связана с углом α отклонения маятника. В отклоненном положении центр тяжести маятника поднят вдоль плоскости на отрезок $BD = AC = l \cdot (1 - \cos \alpha)$. Из треугольника BDE получаем:

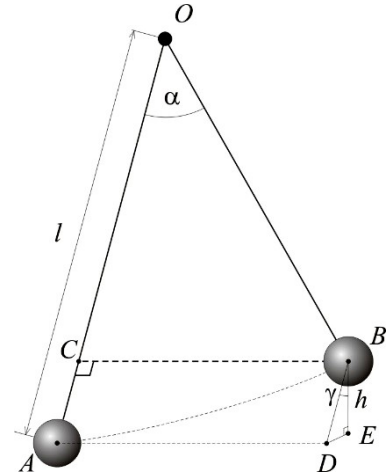


Рис. 2.5.

$$h = BD \cos \gamma = l \cdot \cos \gamma (1 - \cos \alpha) = 2l \cos \gamma \sin^2(\alpha/2) \approx l \cos \gamma \alpha^2 / 2$$

Последнее приближенное равенство справедливо при малых углах, в этом случае $\sin(\alpha/2) \approx \alpha/2$. Подставляя выражение для каждой из высот в уравнение (3.3) и учитывая формулу (3.2) получим:

$$-2mgl \sin \gamma (\alpha_0 + \alpha_1) = mgl \cos \gamma (\alpha_1^2 / 2 - \alpha_0^2 / 2).$$

Сократив с обеих сторон равенства одинаковые множители, получим следующее выражение:

$$\mu = \operatorname{ctg} \gamma (\alpha_0 - \alpha_1) / 4 \quad (2.4)$$

Рассмотрим n последовательных колебаний наклонного маятника. Формула аналогичная (3.4) будет справедлива для каждого из n периодов:

$$\mu = \operatorname{ctg} \gamma (\alpha_0 - \alpha_1) / 4; \mu = \operatorname{ctg} \gamma (\alpha_1 - \alpha_2) / 4; \dots \mu = \operatorname{ctg} \gamma (\alpha_{n-1} - \alpha_n) / 4; \quad (2.5)$$

Здесь $\alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$ – угловые амплитуды отклонения после второго, третьего, ..., n -го периода колебаний. Сложим все формулы (2.5). В правой части все промежуточные углы $\alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_{n-1}$ сократятся. После деления на число периодов n получим окончательную формулу для определения коэффициента трения:

$$\mu = \operatorname{ctg} \gamma (\alpha_0 - \alpha_n) / 4n. \quad (2.6)$$

В том случае, когда маятник представляет собой шарик, катящийся без проскальзывания по наклонной платформе, основной диссипативной силой служит сила $F_{тр,к}$, трения качения. Тормозящий момент силы трения качения пропорционален силе нормальной реакции, т. е.

$$F_{тр,к} R = \mu_1 N, \quad (2.7)$$

где μ_1 – коэффициент трения качения, имеющий размерность длины, R – радиус кривизны катящегося тела. Рассуждения, приведенные выше для трения скольжения, можно повторить для трения качения, используя вместо формулы (2.1) соотношение (2.7). При этом для коэффициента трения качения получим

$$\mu_1 = \operatorname{ctg} \gamma (\alpha_0 - \alpha_n) R / 4n. \quad (2.8)$$

Методика проведения эксперимента

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

Задание. Определение коэффициента трения качения.

1. Установить одну из сменных пластин на платформу 4. При необходимости подрегулировать положение основания так, чтобы указатель маятника оказался против нулевого деления шкалы отсчета угла отклонения маятника, но без нарушения вертикальности стойки.
2. Установить угол γ наклона платформы таким, чтобы шарик катался по пластине без проскальзывания.
3. Установить маятник качения так, чтобы в равновесии указатель маятника оказался напротив нулевого деления отсчета углов α . Записать выбранное значение α_0 .
4. Отпустить маятник без толчка и записать угол α_n максимального отклонения после совершения им $n = 20$ полных колебаний.
5. Повторить измерения пять раз при одном и том же начальном угле α_0 и количестве колебаний n . Найти среднее значение угла α_n отклонения после n колебаний.
6. Измерить штангенциркулем диаметр D шара маятника качения. Вычислить радиус шара $R = D/2$.
7. Перевести углы α_0 и среднее значение угла α_n в радианную меру. Определить коэффициент трения качения по формуле (2.8).
8. Провести аналогичные измерения для других пластин.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют виды сил трения? В чем отличие между ними?
2. Физический смысл коэффициента трения качения и трения скольжения.
3. Какое фундаментальное взаимодействие определяет возникновение сил трения?
4. Представьте графически зависимость силы трения от скорости скольжения.
5. Какова роль сил трения в природе?
6. Какая сила создает горизонтальное ускорение автомобиля при старте?

ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Перед тем как войти в лабораторию подготовьтесь к занятию: изучите цель и методику проведения работы, подготовьте форму отчета.
2. В холодное время года не допускается приходить в лабораторию в верхней одежде.
3. В лаборатории недопустимо находиться в одежде, которая допускает возможность зацепления приборов, материалов, замыкание электрических цепей. Украшения, такие как кольца, длинные цепи и т.п. должны быть сняты.
4. Длинные волосы должны быть собраны и закреплены во избежание их попадания в детали установок.
5. Сумки и рюкзаки необходимо оставить в специально предназначенном месте.
6. Категорически не допускается наличие продуктов питания и напитков в лаборатории.
7. Проверить отсутствие внешних видимых повреждений электроустановки и изоляции проводов, наличие и исправность контрольно-измерительного и монтажного инструмента, сигнальных приборов, переключателей и т.п.
8. Убедиться в целостности крышек электророзеток и выключателей, исправности электровилки и изоляции электрокабеля.
9. Убедиться в наличии и целостности заземляющего проводника корпуса электроустановки и электровилки.
10. Точно выполнять все указания преподавателя и лаборанта при проведении лабораторной работы, без разрешения не выполнять самостоятельно никаких работ.
11. При работе со спиртовкой беречь одежду и волосы от воспламенения, не зажигать одну спиртовку от другой, не извлекать из горячей спиртовки горелку с фитилем, не задувать пламя спиртовки ртом, а гасить его, накрывая специальным колпачком.
12. При нагревании жидкости в пробирке или колбе использовать специальные держатели (штативы), отверстие пробирки или горлышко колбы не направлять на себя и на своих товарищей.
13. Во избежание ожогов жидкость и другие физические тела нагревать не выше 60-70°C, не брать их незащищенными руками.
14. Соблюдать осторожность при обращении с приборами из стекла и лабораторной посудой, не бросать, не ронять и не ударять их.
15. При использовании лазера недопустимо направлять его в глаза. Опасным является и отраженный луч.
16. При выполнении работ с маятниками и движущимися грузами недопустимо находиться в области их движения.
17. Следить за исправностью всех креплений в приборах и приспособлениях, не прикасаться и не наклоняться близко к вращающимся и движущимся частям машин и механизмов.

18. При сборке электрической схемы использовать провода с наконечниками, без видимых повреждений изоляций, избегать пересечений проводов, источник тока подключать в последнюю очередь.
19. Собранную электрическую схему включать под напряжение только после проверки ее преподавателем или лаборантом. Включение и выключение электроустановки производить только сухими руками и с использованием индивидуальных средств защиты.
20. Не прикасаться к находящимся под напряжением элементам электрической цепи, к корпусам стационарного электрооборудования, к зажимам конденсаторов, не производить переключений в цепях до отключения источника тока.
21. Не допускать предельных нагрузок измерительных приборов.
22. Не оставлять без надзора не выключенные электрические устройства и приборы.
23. Срочно прекратить работу в случае обнаружения: искрения соединений или щеток эл. машины, нарушения изоляции проводов или кабеля, поломки или разъединения заземляющего провода.
24. При возникновении какой либо неисправности, в работе электрических приборов, работу незамедлительно прекратить, обесточить электроустановку, сообщить преподавателю, работу продолжить после устранения неисправности.
25. В случае поражения человека электрическим током, в первую очередь освободить пострадавшего от воздействия тока, путем отключения установки от электрической сети, отброса провода при помощи сухой палки, перекусывания проводов, оттягивания пострадавшего за одежду. Далее определить степень поражения для оказания первой медицинской помощи.
26. В случае возгорания электроустановки, немедленно ее обесточить и приступить к тушению первичными средствами (песок, пенным или углекислотным огнетушителем).
27. При получении травмы сообщить об этом преподавателю, которому немедленно оказать первую помощь пострадавшему и сообщить администрации учреждения, при необходимости отправить пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение.
28. По окончании работы отключить источник тока. Разрядить конденсаторы с помощью изолированного проводника и разобрать электрическую схему.
29. Категорически запрещается производить отключение влажными и мокрыми руками путем дергания за питающий шнур или кабель.
30. Разборку установки для нагревания жидкости производить после ее остывания.
31. Привести в порядок рабочее место, сдать преподавателю (лаборанту) приборы, оборудование, материалы и тщательно вымыть руки с мылом.

Список литературы:

- 1 Савельев, И. В. Курс общей физики : [учеб. пособие] : в 4 т. / И.В. Савельев ; под общ. ред. И.В. Савельева, Т. 1, Механика. Молекулярная физика и термодинамика. - М. : Кнорус, 2009. - 528 с. : ил. - На учебнике гриф: Доп.УМО. - Прил.: с. 505-515. - ISBN 978-5-85971-899-3
- 2 Савельев, И. В. Курс общей физики : [учеб. пособие] : в 4 т. / И.В. Савельев ; под общ. ред. И.В. Савельева, Т. 2, Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. - М. : Кнорус, 2009. - 576 с. - На учебнике гриф: Доп.УМО. - Прил.: с. 553-560. - Библиогр. в подстроч. примеч. - ISBN 978-5-85971-898-6
- 3 Савельев, И. В. Курс общей физики : в 4 т. : [учеб. пособие] / И.В. Савельев ; под общ. ред. И.В. Савельева, Т. 3, Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. - М. : КНОРУС, 2009. - 368 с. : ил. - На учебнике гриф: Доп.МО. - Библиогр. в подстроч. примеч. - ISBN 978-5-85971-900-6
- 4 Трофимова, Т. И. Курс физики : учеб. пособие / Т.И. Трофимова. - 20-е изд., стер. - М. : Академия, 2014. - 560 с. - На учебнике гриф: Рек.МО. - ISBN 978-5-4468-0627-0
- 5 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского, Вып. 7, Физика сплошных сред. - 6-е изд., суц. испр. - М. : URSS, 2013. - 287 с. : ил. - Часть текста прил. на англ. яз. - На обл.: Существенно испр. изд. - Библиогр. в подстроч. примеч. - ISBN 978-5-453-00039-5. - ISBN 978-5-397-03635-1
- 6 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского, Вып. 3, Излучение. Волны. Кванты. - 9-е изд. - М. : URSS, 2014. - 240 с. : ил. - Библиогр. в подстроч. прим. - ISBN 978-5-453-00059-3. - ISBN 978-5-397-04361-8
- 7 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского, Вып. 4, Кинетика. Теплота. Звук. - 9-е изд. - М. : URSS, 2014. - 260 с. : ил. - Библиогр. в подстроч. прим. - ISBN 978-5-453-00060-9. - ISBN 978-5-397-04362-5
- 8 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского, Вып. 6, Электродинамика. - 7-е изд. - М. : URSS, 2014. - 347 с. : ил. - Библиогр. в подстроч. прим. - ISBN 978-5-453-00058-6. - ISBN 978-5-397-04359-5

9 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике. Современная наука о природе. Законы механики. Пространство. Время. Движение. 1-2 / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского. - 10-е изд. - М. : URSS, 2014. - 439 с. : ил., портр., табл. - ISBN 978-5-397-04280-2. - ISBN 978-5-453-00055-5

Допуск	Выполнение	Защита

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

«.....
.....
.....»

выполненной студентом.....
.....курса, группы

Цель работы:
.....
.....

Оборудование и материалы:
.....

Схема установки:



Задание. Определение коэффициента трения качения.
 $\gamma = ^\circ$

Таблица 1. Пластика 1:

N	$\alpha_0, ^\circ$	$\alpha_0, \text{рад}$	n	$\alpha_n, ^\circ$	$\langle \alpha_n \rangle, ^\circ$	$\langle \alpha_n \rangle, \text{рад}$	$D, \text{мм}$	$R, \text{мм}$	$\mu_1, \text{мм}$
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									

Таблица 2. Пластика 2:

N	$\alpha_0, ^\circ$	$\alpha_0, \text{рад}$	n	$\alpha_n, ^\circ$	$\langle \alpha_n \rangle, ^\circ$	$\langle \alpha_n \rangle, \text{рад}$	$D, \text{мм}$	$R, \text{мм}$	$\mu_1, \text{мм}$
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									

Таблица 3. Пластика 3:

N	$\alpha_0, ^\circ$	$\alpha_0, \text{рад}$	n	$\alpha_n, ^\circ$	$\langle \alpha_n \rangle, ^\circ$	$\langle \alpha_n \rangle, \text{рад}$	$D, \text{мм}$	$R, \text{мм}$	$\mu_1, \text{мм}$
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									

Вычисление коэффициента трения качения:

Вывод:.....

Лабораторная работа 3

ИЗУЧЕНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Цель работы: изучение основных закономерностей колебательного движения математического маятника.

Знать: Основные методы исследования колебательного движения.

Уметь: проводить физические измерения и анализировать полученные результаты; строить и анализировать физические модели

Владеть: навыками грамотного использования научных методов исследований

Оборудование и материалы: штатив, нить, грузы разной массы одинаковой формы, весы, секундомер, рулетка (линейка).

Краткая теория

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 $\nu = \frac{1}{T}$, а величина $\omega = 2\pi\nu$ – циклической частотой.

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.

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.3.1). 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:

$$\vec{M} = I \vec{\epsilon}, \quad (3.1)$$

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

$$\vec{M} = \vec{M}_T + \vec{M}_g \quad (3.2)$$

Тогда

$$I \vec{\varepsilon} = \vec{M}_T + \vec{M}_g \quad (3.3)$$

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

$$I\varepsilon = mgl \cdot \sin(\vec{L}, \vec{g}) + Tl \cdot \sin(\vec{T}, \vec{l}), \quad (3.4)$$

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

$$I\varepsilon = -mg \cdot \sin \varphi \quad (3.5)$$

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

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \omega_0^2 \cdot \sin \varphi = 0 \quad (3.6)$$

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

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \omega_0^2 \varphi = 0, \quad (3.7)$$

где $\omega_0^2 = \frac{g}{l}$.

Решение уравнения (3.7) представляет собой гармоническую функцию, соответствующую гармоническому колебанию

$$\varphi = \varphi_0 \cos(\omega_0 t + \alpha_0), \quad (3.8)$$

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:

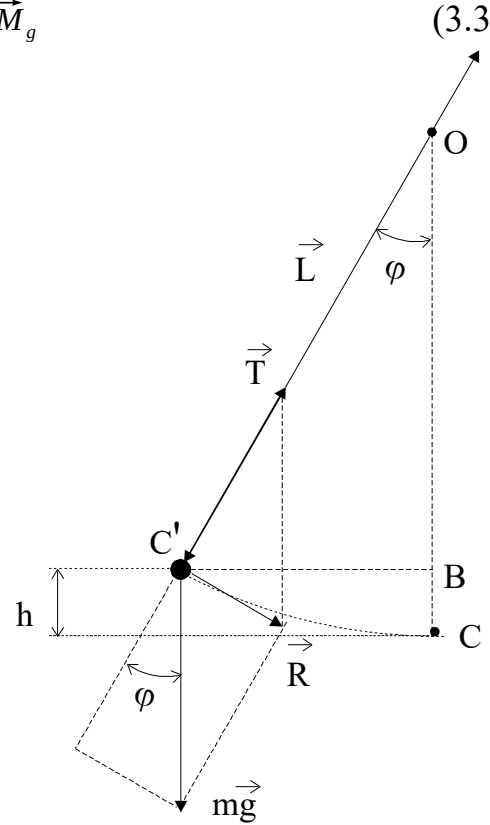


Рис. 3.1.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad (3.9)$$

Из равенства (3.9) следует, что малые колебания математического маятника не зависят от амплитуды. Такие колебания называются изохронными.

Равенство (3.9) 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.4.2). Время колебаний измеряют с помощью секундомера.

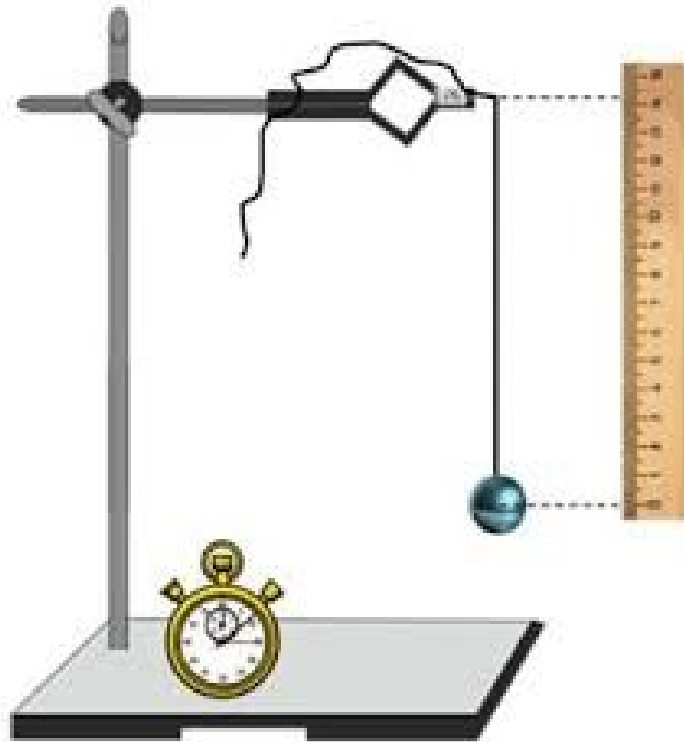


Рис. 3.2.

Методика проведения 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 (3.9).
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. Дайте определения параметров, характеризующих колебательное движение.
3. Какие колебания называются гармоническими? При каких условиях колебания математического маятника являются гармоническими?
4. Приведите формулу периода колебаний математического маятника.
5. Выведите дифференциальное уравнение свободных гармонических колебаний.
6. Какие колебания называются изохронными? Являются ли колебания математического маятника изохронными? При каком условии колебания математического маятника можно считать изохронными?

ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Перед тем как войти в лабораторию подготовьтесь к занятию: изучите цель и методику проведения работы, подготовьте форму отчета.
2. В холодное время года не допускается приходить в лабораторию в верхней одежде.

3. В лаборатории недопустимо находиться в одежде, которая допускает возможность зацепления приборов, материалов, замыкание электрических цепей. Украшения, такие как кольца, длинные цепи и т.п. должны быть сняты.
4. Длинные волосы должны быть собраны и закреплены во избежание их попадания в детали установок.
5. Сумки и рюкзаки необходимо оставить в специально предназначенном месте.
6. Категорически не допускается наличие продуктов питания и напитков в лаборатории.
7. Проверить отсутствие внешних видимых повреждений электроустановки и изоляции проводов, наличие и исправность контрольно-измерительного и монтажного инструмента, сигнальных приборов, переключателей и т.п.
8. Убедиться в целостности крышек электророзеток и выключателей, исправности электровилки и изоляции электрокабеля.
9. Убедиться в наличии и целостности заземляющего проводника корпуса электроустановки и электровилки.
10. Точно выполнять все указания преподавателя и лаборанта при проведении лабораторной работы, без разрешения не выполнять самостоятельно никаких работ.
11. При работе со спиртовкой беречь одежду и волосы от воспламенения, не зажигать одну спиртовку от другой, не извлекать из горящей спиртовки горелку с фитилем, не задувать пламя спиртовки ртом, а гасить его, накрывая специальным колпачком.
12. При нагревании жидкости в пробирке или колбе использовать специальные держатели (штативы), отверстие пробирки или горлышко колбы не направлять на себя и на своих товарищей.
13. Во избежание ожогов жидкость и другие физические тела нагревать не выше 60-70°C, не брать их незащищенными руками.
14. Соблюдать осторожность при обращении с приборами из стекла и лабораторной посудой, не бросать, не ронять и не ударять их.
15. При использовании лазера недопустимо направлять его в глаза. Опасным является и отраженный луч.
16. При выполнении работ с маятниками и движущимися грузами недопустимо находиться в области их движения.
17. Следить за исправностью всех креплений в приборах и приспособлениях, не прикасаться и не наклоняться близко к вращающимся и движущимся частям машин и механизмов.
18. При сборке электрической схемы использовать провода с наконечниками, без видимых повреждений изоляций, избегать пересечений проводов, источник тока подключать в последнюю очередь.
19. Собранную электрическую схему включать под напряжение только после проверки ее преподавателем или лаборантом. Включение и выключение

электроустановки производить только сухими руками и с использованием индивидуальных средств защиты.

20. Не прикасаться к находящимся под напряжением элементам электрической цепи, к корпусам стационарного электрооборудования, к зажимам конденсаторов, не производить переключений в цепях до отключения источника тока.

21. Не допускать предельных нагрузок измерительных приборов.

22. Не оставлять без надзора не выключенные электрические устройства и приборы.

23. Срочно прекратить работу в случае обнаружения: искрения соединений или щеток эл. машины, нарушения изоляции проводов или кабеля, поломки или разъединения заземляющего провода.

24. При возникновении какой либо неисправности, в работе электрических приборов, работу незамедлительно прекратить, обесточить электроустановку, сообщить преподавателю, работу продолжить после устранения неисправности.

25. В случае поражения человека электрическим током, в первую очередь освободить пострадавшего от воздействия тока, путем отключения установки от электрической сети, отброса провода при помощи сухой палки, перекусывания проводов, оттягивания пострадавшего за одежду. Далее определить степень поражения для оказания первой медицинской помощи.

26. В случае возгорания электроустановки, немедленно ее обесточить и приступить к тушению первичными средствами (песок, пенным или углекислотным огнетушителем).

27. При получении травмы сообщить об этом преподавателю, которому немедленно оказать первую помощь пострадавшему и сообщить администрации учреждения, при необходимости отправить пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение.

28. По окончании работы отключить источник тока. Разрядить конденсаторы с помощью изолированного проводника и разобрать электрическую схему.

29. Категорически запрещается производить отключение влажными и мокрыми руками путем дергания за питающий шнур или кабель.

30. Разборку установки для нагревания жидкости производить после ее остывания.

31. Привести в порядок рабочее место, сдать преподавателю (лаборанту) приборы, оборудование, материалы и тщательно вымыть руки с мылом.

Список литературы:

- 1 Савельев, И. В. Курс общей физики : [учеб. пособие] : в 4 т. / И.В. Савельев ; под общ. ред. И.В. Савельева, Т. 1, Механика. Молекулярная физика и термодинамика. - М. : Кнорус, 2009. - 528 с. : ил. - На учебнике гриф: Доп.УМО. - Прил.: с. 505-515. - ISBN 978-5-85971-899-3
- 2 Савельев, И. В. Курс общей физики : [учеб. пособие] : в 4 т. / И.В. Савельев ; под общ. ред. И.В. Савельева, Т. 2, Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. - М. : Кнорус, 2009. - 576 с. - На учебнике гриф: Доп.УМО. - Прил.: с. 553-560. - Библиогр. в подстроч. примеч. - ISBN 978-5-85971-898-6
- 3 Савельев, И. В. Курс общей физики : в 4 т. : [учеб. пособие] / И.В. Савельев ; под общ. ред. И.В. Савельева, Т. 3, Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. - М. : КНОРУС, 2009. - 368 с. : ил. - На учебнике гриф: Доп.МО. - Библиогр. в подстроч. примеч. - ISBN 978-5-85971-900-6
- 4 Трофимова, Т. И. Курс физики : учеб. пособие / Т.И. Трофимова. - 20-е изд., стер. - М. : Академия, 2014. - 560 с. - На учебнике гриф: Рек.МО. - ISBN 978-5-4468-0627-0
- 5 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского, Вып. 7, Физика сплошных сред. - 6-е изд., суц. испр. - М. : URSS, 2013. - 287 с. : ил. - Часть текста прил. на англ. яз. - На обл.: Существенно испр. изд. - Библиогр. в подстроч. примеч. - ISBN 978-5-453-00039-5. - ISBN 978-5-397-03635-1
- 6 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского, Вып. 3, Излучение. Волны. Кванты. - 9-е изд. - М. : URSS, 2014. - 240 с. : ил. - Библиогр. в подстроч. прим. - ISBN 978-5-453-00059-3. - ISBN 978-5-397-04361-8
- 7 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского, Вып. 4, Кинетика. Теплота. Звук. - 9-е изд. - М. : URSS, 2014. - 260 с. : ил. - Библиогр. в подстроч. прим. - ISBN 978-5-453-00060-9. - ISBN 978-5-397-04362-5
- 8 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского, Вып. 6, Электродинамика. - 7-е

изд. - М. : URSS, 2014. - 347 с. : ил. - Библиогр. в подстроч. прим. - ISBN 978-5-453-00058-6. - ISBN 978-5-397-04359-5

9 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике. Современная наука о природе. Законы механики. Пространство. Время. Движение. 1-2 / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского. - 10-е изд. - М. : URSS, 2014. - 439 с. : ил., портр., табл. - ISBN 978-5-397-04280-2. - ISBN 978-5-453-00055-5

Допуск	Выполнение	Защита

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

«.....»
.....»

выполненной студентом.....
.....курса, группы

Цель работы:
.....
.....

Оборудование и материалы:
.....
.....
.....

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

Таблица 1

Длина маятника $l =$ м. Первоначальное отклонение $\varphi =$.

N	$m, \text{ кг}$	N	$t, \text{ с}$	$T, \text{ с}$
1				
2				
3				

Вывод:.....
.....

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

Таблица 2

Первоначальное отклонение $\varphi =$.

N	$l, \text{ м}$	N	$t, \text{ с}$	$T, \text{ с}$	$T^2, \text{ с}^2$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

График зависимости квадрата периода колебаний математического маятника от его длины $T^2(l)$

Расчет ускорения свободного падения по тангенсу угла наклона прямой:

$$g = \pm \text{ м/с}^2, \quad \varepsilon = \%$$

Вывод:.....

Лабораторная работа 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ ($\frac{C_p}{C_v}$) ВОЗДУХА МЕТОДОМ АДИАБАТИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ (КЛЕМАНА–ДЕЗ-ОРМА).

Цель работы: углубить представления о тепловых свойствах газов и их зависимости от характера тепловых процессов. Освоить один из методов определения отношения теплоемкостей.

Знать: Основные методы исследования физических явлений в термодинамике.

Уметь: проводить физические измерения и анализировать полученные результаты; строить и анализировать физические модели

Владеть: навыками грамотного использования научных методов исследований

Оборудование и материалы: лабораторный комплекс ЛКТ-5.

Краткая теория

Теплоемкостью тела называется то количество теплоты, которое необходимо сообщить этому телу, чтобы изменить его температуру на 1 градус:

$$C_{\text{тела}} = \frac{\Delta Q_{\text{тела}}}{\Delta T},$$

где $\Delta Q_{\text{тела}}$ – количество теплоты, сообщаемое телу при изменении его температуры на ΔT градусов. Единицей измерения теплоёмкости тела является Дж/К.

Однако, этим понятием пользоваться неудобно, т.к. оно характеризует способность только данного тела, а не вещества из которого оно изготовлено. Поэтому гораздо чаще используют понятие теплоемкости, отнесенное не к произвольному телу, а к единице массы вещества, из которого оно изготовлено. Такая теплоемкость называется *удельной теплоемкостью* c и представляет собой количество теплоты, которое необходимо сообщить единице массы вещества, чтобы изменить ее температуру на 1 градус.

$$c = \frac{C_{\text{тела}}}{m} = \frac{\Delta Q_{\text{тела}}}{m \Delta T},$$

где m – масса тела. Единицей измерения удельной теплоёмкости является $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

Еще чаще в физике предпочитают пользоваться понятием молярной теплоемкости. Под *молярной теплоемкостью* C понимают такое количество теплоты ΔQ_M , которое необходимо сообщить одному молю вещества, чтобы изменить его температуру на 1 градус:

$$C = \frac{\Delta Q_M}{\Delta T}, \quad (4.1)$$

где ΔQ_M – количество теплоты, сообщаемое одному молю вещества при изменении его температуры на ΔT градусов. Единицей измерения молярной теплоёмкости является $\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$.

Между удельной и молярной теплоёмкостями существует простая связь:

$$C = M c, \quad (4.2)$$

где M – молярная масса данного вещества.

Так дело обстоит только с твердыми и жидкими телами. Газы же могут нагреваться либо при постоянном объеме, либо при постоянном давлении. От этих условий нагревания газа очень сильно зависит их молярная теплоемкость, которую в дальнейшем для краткости будем называть просто теплоемкостью. Согласно первому началу термодинамики, все количество теплоты ΔQ , подводимое к газу, идет на изменение его внутренней энергии ΔU и на совершение газом работы $A = p \Delta V$. Запишем этот закон для одного моля идеального газа:

$$\Delta Q_M = \Delta U_M + p_M \Delta V, \quad (4.3)$$

где ΔV – изменение объема газа вследствие его теплового расширения. Если количество теплоты ΔQ_M сообщают одному молю газа с целью повысить его температуру на 1 градус ($\Delta T = 1 \text{ К}$), то (4.1) примет вид:

$$C = \Delta Q_M \text{ или } C = \Delta U_M + p_M \Delta V. \quad (4.4)$$

Рассмотрим теперь каждое из условий нагревания газа в отдельности.

Нагревание газа при постоянном объеме ($V = \text{const}$, $p_M \neq \text{const}$). В этом случае газ не расширяется ($\Delta V = 0$), а следовательно работа против внешних сил им не совершается. Тогда, согласно (4.3), все подводимое к газу тепло ΔQ_M идет только на изменение внутренней энергии ΔU_M газа:

$$\Delta Q_M = \Delta U_M.$$

Подставляя последнее выражение в формулу (7.4), получаем:

$$C_V = \Delta Q_M = \Delta U_M, \quad (4.5)$$

где C_V – молярная теплоемкость при постоянном объеме, ΔU_M – изменение внутренней энергии идеального газа при его нагревании на $\Delta T=1\text{K}$. Т.к. $\Delta U_M = \frac{i}{2} R \Delta T = \frac{i}{2} R$, то

$$C_V = \frac{i}{2} R, \quad (4.6)$$

где i – сумма числа степеней свободы поступательного, вращательного и удвоенного числа степеней свободы колебательного движения молекул газа.

Теплоёмкость газа, нагреваемого при постоянном объёме, часто называют *изохорной теплоёмкостью*.

Нагревание газа при постоянном давлении ($p_M = \text{const}$, $V \neq \text{const}$). В этом случае $\Delta V \neq 0$ и тепло, подводимое к газу, идет не только на изменение его внутренней энергии, но и на совершение $p_M \Delta V$ против внешних сил. Тогда, согласно (4.4), получаем:

$$C_p = \Delta U_M + p_M \Delta V,$$

где C_p – молярная теплоемкость газа при постоянном давлении. С учетом (4.5) имеем:

$$C_p = C_V + p_M \Delta V \quad (4.7)$$

это означает, что газ, расширяющийся при постоянном давлении, обладает большей теплоемкостью, чем газ, расширяющийся при постоянном объеме, на величину, равную работе $p_M \Delta V$, совершаемой газом против внешних сил.

Выражение (4.7) чаще записывают в несколько ином виде. Для этого выразим величину $p_M \Delta V$ из уравнения Менделеева-Клапейрона, записанного для одного моля газа:

$$p_M \Delta V = R \Delta T \Rightarrow p_M \Delta V = R \quad (\text{т.к. } \Delta T = 1 \text{ K}).$$

Подставляя это выражение в формулу (4.7), получаем:

$$C_p = C_V + R. \quad (4.8)$$

Сравнивая выражения (4.7) и (4.8), можно сделать очень интересный и важный вывод: *работа одного моля газа против внешних сил, расширяющегося при постоянном давлении, всегда равна универсальной газовой постоянной*.

Численное значение теплоемкости при постоянном давлении зависит от числа степеней свободы молекул газа, которое можно записать в виде:

$$C_p = \frac{i+2}{2} R. \quad (4.9)$$

Теплоёмкость газа, нагреваемого при постоянном давлении, часто называют *изобарной теплоемкостью*.

Весьма важное значение при изучении свойств идеальных газов играет отношение молярных теплоемкостей газа C_p к C_v . Это отношение обозначают буквой γ и называют *показателем адиабаты*:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i} > 1. \quad (4.10)$$

Для одноатомных молекул $i=3$, для двухатомных с вращательной степенью свободы $i=5$, для двухатомных с вращательной и колебательной степенями свободы $i=7$, и т. д. Поэтому для сопоставления теории с опытом достаточно сравнивать экспериментальные и теоретические значения γ . Например, для одноатомного газа, согласно теории, $i=3$ и $\gamma = 5/3 = 1,67$, для 2-х атомного газа при комнатной температуре $i=5$ и $\gamma = 7/5 = 1,4$.

Выражение (4.10) можно получить, разделив (4.9) на (4.6). Важность его заключается в том, что показатель адиабаты является величиной, характерной для каждого газа, и входит в уравнение, описывающее адиабатические процессы в газах. Это уравнение называется *уравнением адиабаты* или *уравнением Пуассона*:

$$PV^\gamma = \text{const}. \quad (4.11.a)$$

Заменяя в (4.11.a) PV^γ через $PV \cdot V^{\gamma-1}$ и применяя уравнение Менделеева-Клапейрона, получим иную запись уравнения Пуассона:

$$TV^{\gamma-1} = \text{const}. \quad (4.11.b)$$

Следует заметить, что уравнение Пуассона, описывающее адиабатические процессы, очень похоже на уравнение Бойля-Мариотта ($PV = \text{const}$), описывающее изотермические процессы. Однако, показатель степени в уравнении Пуассона (4.11.a) свидетельствует о том, что адиабата всегда располагается круче изотермы (рис.4.1). Иными словами, тангенс угла наклона касательной к адиабате в γ раз больше тангенса угла наклона касательной к изотерме.

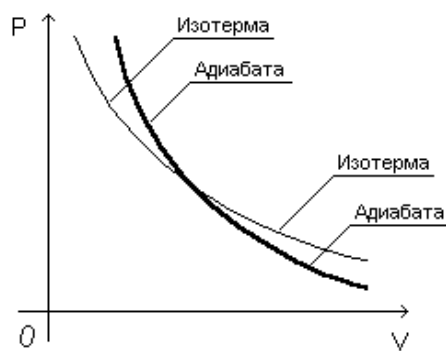


Рис. 4.1

Экспериментальная установка

Лабораторная работа выполняется на базе лабораторного комплекса ЛКТ-5 (рис. 4.2). Основным элементом комплекса – баллон объемом 3,25 л. Баллон снабжен клапаном КЗ, позволяющем быстро сбрасывать давление газа в баллоне. Педаль клапана выведена на панель прибора. Клапан

открывается при нажатии на педаль. В целях безопасности на баллон в рабочем состоянии надет чехол из плотной ткани.

Элементы комплекса соединены шлангами из синтетического материала. Краны К1 и К2 пережимают соответствующие шланги. Полная схема соединений элементов изображена на передней панели прибора. Исследуемый газ подается в баллон через штуцер Ш2, при этом происходит удаление влаги из газа.

Если осушение не требуется, то газ подается через штуцер Ш1. Штуцер Ш3 позволяет соединить баллон с дополнительными устройствами.

Традиционным методом определения величины показателя адиабаты является метод адиабатического расширения или, как его ещё называют, метод Клемана-Дезорма. Экспериментальная установка (рис. 4.2) этого метода представляет собой достаточно большого объёма сосуд, который при помощи резиновых шлангов и двух клапанов, может соединяться либо с окружающей средой, либо с компрессором. Разность давлений внутри сосуда и снаружи измеряется манометром. Суть метода состоит в следующем. Когда клапан «Сброс» открыт, то воздух массой m_0 , заполняющий сосуд объёмом V_0 , находится под давлением, равным атмосферному p_0 , а температура его равна температуре окружающей среды T_0 . Для определения показателя адиабаты воздуха следует изначально находящийся в сосуде газ массой m_0 последовательно провести через три различных состояния.

Первое состояние: закрывают клапан «К3», открывают клапан «К1» и повышают давление воздуха в баллоне до тех пор, пока разность давлений в баллоне и окружающей среде не достигнет ~ 200 мм рт. ст. Далее необходимо выждать некоторое время, пока температура воздуха в баллоне, возросшая из-за быстрого нагнетания, не станет равной температуре T_0 окружающей среды, о чём можно судить по прекращению изменения давления. Вследствие нагнетания в сосуд некоторого количества газа, масса воздуха m_0 , занимавшего изначально весь объём V_0 сосуда, окажется в сжатом состоянии и будет теперь занимать меньший объём $V_1 < V_0$, находясь при этом под давлением $p_1 = p_0 + \Delta p_1$ (где Δp_1 – разность давлений воздуха внутри сосуда и с наружи) при температуре окружающей среды T_0 .

Второе состояние: открывают клапан «К3» и позволяют газу, находящемуся в баллоне под повышенным давлением, как можно быстрее расширяться до давления, равного атмосферному, после чего клапан «К3» тут же закрывают. На этом этапе эксперимента происходит следующее. При расширении воздуха его температура понижается. Поскольку процесс расширения газа протекает очень быстро, то температура внутри баллона не



Рис. 4.2

успевает выровняться с температурой воздуха в комнате. Поэтому такой процесс можно считать протекающим практически без теплообмена с окружающей средой, т.е. адиабатическим.

Поэтому к моменту расширения газа до атмосферного давления p_0 его температура T_2 оказывается несколько ниже комнатной температуры T_0 ($T_2 < T_0$), объем воздуха массой m_0 несколько возрастет до величины $V_2 < V_0$.

Третье состояние. По истечении некоторого промежутка времени газ в баллоне вследствие теплообмена с окружающей средой нагреется до комнатной температуры T_0 , в результате чего его давление возрастет до некоторой величины $p_2 = p_0 + \Delta p_2$ (где Δp_2 – разность давлений воздуха внутри сосуда и с наружи). Объем воздуха массой m_0 останется прежним.

Ниже в таблице сведены воедино параметры газа в каждом из трех описанных состояний.

Параметр системы	Первое состояние	Второе состояние	Третье состояние
Давление	$p_1 = p_0 + \Delta p_1$	p_0	$p_2 = p_0 + \Delta p_2$
Температура	T_0	$T_2 < T_0$	T_0
Объем	$V_1 < V_0$	$V_1 < V_2 < V_0$	$V_3 = V_2$

Адиабатический процесс перехода газа из *первого* состояния во *второе* может быть описан уравнением Пуассона:

$$\frac{p_0^{\gamma-1}}{T_0^\gamma} = \frac{p_2^{\gamma-1}}{T_2^\gamma}. \quad (4.12)$$

Поскольку переход газа из *второго* состояния в *третье* происходит изохорически (см. таблицу), то этот процесс может быть описан законом Шарля:

$$\frac{p_0}{T_2} = \frac{p_2}{T_0}. \quad (4.13)$$

Решая совместно уравнения (4.12) и (4.13), получаем:

$$\left(\frac{p_1}{p_2} \right)^\gamma = \frac{p_1}{p_0}. \quad (4.14)$$

Логарифмируя выражение (4.14), получаем формулу для расчета показателя адиабаты:

$$\gamma = \frac{\lg p_1 - \lg p_0}{\lg p_1 - \lg p_2}. \quad (4.15)$$

раскладывая выражение (4.15) в ряд Тейлора и ограничиваясь его первыми двумя членами, а так же учитывая, что $p_1 = p_0 + \Delta p_1$ и $p_2 = p_0 + \Delta p_2$, получаем:

$$\gamma = \frac{\Delta p_1}{\Delta p_1 - \Delta p_2}. \quad (4.16)$$

Методика проведения эксперимента

1. Закрывать штуцер ШЗ заглушкой.
2. Закрывать кран К2.
3. Подключить грушу-помпу к штуцеру Ш1.
4. Открыть кран К3 и убедиться, что давление в баллоне равно атмосферному (стрелка манометра должна стоять на отметке «0»).
5. Накачать в баллон воздух до избыточного давления Δp_1 , после чего закрыть кран К1. Подождать 1-2 минуты, пока установится температура воздуха, и давление перестанет изменяться. Если необходимо, аккуратно довести давление до заданного значения, слегка приоткрывая кран К2 или накачивая воздух грушей. Полученное значение записать в таблицу 1 отчета.
6. На короткое время с открытым краном К3 баллона (опустить вниз педаль до упора) и снова закрыть его (отпустить педаль) сразу после прекращения шипения выходящего из сосуда воздуха. На этом этапе эксперимента следует помнить, что точность измерений во многом зависит именно от времени истечения воздуха при открытом клапане. Этот процесс должен длиться ровно столько времени, сколько необходимо для выравнивания давления воздуха внутри сосуда с давлением атмосферным при соблюдении условия адиабатичности процесса. Этому состоянию будет соответствовать прекращение шипения выходящего через кран К3 воздуха. Подождать 1-2 минуты до установления температуры и давления в баллоне. Записать установившееся избыточное давление Δp_2 в таблицу 1 отчета.
7. Повторить опыт ещё 19 раз, нагнетая каждый раз в баллон воздух до разного избыточного давления Δp_1 .
8. Определить показатель адиабаты по формуле (4.16).
9. Сравнить полученный результат с теоретическим.
10. Сделать вывод.

Контрольные вопросы

1. Дайте определения теплоёмкости тела, удельной и молярной теплоёмкости.
2. Какой процесс называется адиабатическим? Приведите примеры адиабатных процессов.
3. Запишите уравнение Пуассона.

4. Дайте определение показателя адиабаты. Чему равны теплоемкости при постоянном объеме и при постоянном давлении?
5. Выведите уравнение Майера.
6. Почему при адиабатном расширении температура газа падает, а при сжатии возрастает?
7. В чем суть способа определения показателя адиабаты методом адиабатического расширения (Клемана-Дезорма)?

ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Перед тем как войти в лабораторию подготовьтесь к занятию: изучите цель и методику проведения работы, подготовьте форму отчета.
2. В холодное время года не допускается приходить в лабораторию в верхней одежде.
3. В лаборатории недопустимо находиться в одежде, которая допускает возможность зацепления приборов, материалов, замыкание электрических цепей. Украшения, такие как кольца, длинные цепи и т.п. должны быть сняты.
4. Длинные волосы должны быть собраны и закреплены во избежание их попадания в детали установок.
5. Сумки и рюкзаки необходимо оставить в специально предназначенном месте.
6. Категорически не допускается наличие продуктов питания и напитков в лаборатории.
7. Проверить отсутствие внешних видимых повреждений электроустановки и изоляции проводов, наличие и исправность контрольно-измерительного и монтажного инструмента, сигнальных приборов, переключателей и т.п.
8. Убедиться в целостности крышек электророзеток и выключателей, исправности электровилки и изоляции электрокабеля.
9. Убедиться в наличии и целостности заземляющего проводника корпуса электроустановки и электровилки.
10. Точно выполнять все указания преподавателя и лаборанта при проведении лабораторной работы, без разрешения не выполнять самостоятельно никаких работ.
11. При работе со спиртовкой беречь одежду и волосы от воспламенения, не зажигать одну спиртовку от другой, не извлекать из горячей спиртовки горелку с фитилем, не задувать пламя спиртовки ртом, а гасить его, накрывая специальным колпачком.
12. При нагревании жидкости в пробирке или колбе использовать специальные держатели (штативы), отверстие пробирки или горлышко колбы не направлять на себя и на своих товарищей.
13. Во избежание ожогов жидкость и другие физические тела нагревать не выше 60-70°C, не брать их незащищенными руками.

14. Соблюдать осторожность при обращении с приборами из стекла и лабораторной посудой, не бросать, не ронять и не ударять их.
15. При использовании лазера недопустимо направлять его в глаза. Опасным является и отраженный луч.
16. При выполнении работ с маятниками и движущимися грузами недопустимо находиться в области их движения.
17. Следить за исправностью всех креплений в приборах и приспособлениях, не прикасаться и не наклоняться близко к вращающимся и движущимся частям машин и механизмов.
18. При сборке электрической схемы использовать провода с наконечниками, без видимых повреждений изоляций, избегать пересечений проводов, источник тока подключать в последнюю очередь.
19. Собранную электрическую схему включать под напряжение только после проверки ее преподавателем или лаборантом. Включение и выключение электроустановки производить только сухими руками и с использованием индивидуальных средств защиты.
20. Не прикасаться к находящимся под напряжением элементам электрической цепи, к корпусам стационарного электрооборудования, к зажимам конденсаторов, не производить переключений в цепях до отключения источника тока.
21. Не допускать предельных нагрузок измерительных приборов.
22. Не оставлять без надзора не выключенные электрические устройства и приборы.
23. Срочно прекратить работу в случае обнаружения: искрения соединений или щеток эл. машины, нарушения изоляции проводов или кабеля, поломки или разъединения заземляющего провода.
24. При возникновении какой либо неисправности, в работе электрических приборов, работу незамедлительно прекратить, обесточить электроустановку, сообщить преподавателю, работу продолжить после устранения неисправности.
25. В случае поражения человека электрическим током, в первую очередь освободить пострадавшего от воздействия тока, путем отключения установки от электрической сети, отброса провода при помощи сухой палки, перекусывания проводов, оттягивания пострадавшего за одежду. Далее определить степень поражения для оказания первой медицинской помощи.
26. В случае возгорания электроустановки, немедленно ее обесточить и приступить к тушению первичными средствами (песок, пенным или углекислотным огнетушителем).
27. При получении травмы сообщить об этом преподавателю, которому немедленно оказать первую помощь пострадавшему и сообщить администрации учреждения, при необходимости отправить пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение.

28. По окончании работы отключить источник тока. Разрядить конденсаторы с помощью изолированного проводника и разобрать электрическую схему.
29. Категорически запрещается производить отключение влажными и мокрыми руками путем дергания за питающий шнур или кабель.
30. Разборку установки для нагревания жидкости производить после ее остывания.
31. Привести в порядок рабочее место, сдать преподавателю (лаборанту) приборы, оборудование, материалы и тщательно вымыть руки с мылом.

Список литературы:

- 1 Савельев, И. В. Курс общей физики : [учеб. пособие] : в 4 т. / И.В. Савельев ; под общ. ред. И.В. Савельева, Т. 1, Механика. Молекулярная физика и термодинамика. - М. : Кнорус, 2009. - 528 с. : ил. - На учебнике гриф: Доп.УМО. - Прил.: с. 505-515. - ISBN 978-5-85971-899-3
- 2 Савельев, И. В. Курс общей физики : [учеб. пособие] : в 4 т. / И.В. Савельев ; под общ. ред. И.В. Савельева, Т. 2, Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. - М. : Кнорус, 2009. - 576 с. - На учебнике гриф: Доп.УМО. - Прил.: с. 553-560. - Библиогр. в подстроч. примеч. - ISBN 978-5-85971-898-6
- 3 Савельев, И. В. Курс общей физики : в 4 т. : [учеб. пособие] / И.В. Савельев ; под общ. ред. И.В. Савельева, Т. 3, Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. - М. : КНОРУС, 2009. - 368 с. : ил. - На учебнике гриф: Доп.МО. - Библиогр. в подстроч. примеч. - ISBN 978-5-85971-900-6
- 4 Трофимова, Т. И. Курс физики : учеб. пособие / Т.И. Трофимова. - 20-е изд., стер. - М. : Академия, 2014. - 560 с. - На учебнике гриф: Рек.МО. - ISBN 978-5-4468-0627-0
- 5 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского, Вып. 7, Физика сплошных сред. - 6-е изд., сущ. испр. - М. : URSS, 2013. - 287 с. : ил. - Часть текста прил. на англ. яз. - На обл.: Существенно испр. изд. - Библиогр. в подстроч. примеч. - ISBN 978-5-453-00039-5. - ISBN 978-5-397-03635-1
- 6 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского, Вып. 3, Излучение. Волны. Кванты. - 9-е изд. - М. : URSS, 2014. - 240 с. : ил. - Библиогр. в подстроч. прим. - ISBN 978-5-453-00059-3. - ISBN 978-5-397-04361-8

7 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р.Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского, Вып. 4, Кинетика. Теплота. Звук. - 9-е изд. - М. : URSS, 2014. - 260 с. : ил. - Библиогр. в подстроч. прим. - ISBN 978-5-453-00060-9. - ISBN 978-5-397-04362-5

8 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р.Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского, Вып. 6, Электродинамика. - 7-е изд. - М. : URSS, 2014. - 347 с. : ил. - Библиогр. в подстроч. прим. - ISBN 978-5-453-00058-6. - ISBN 978-5-397-04359-5

9 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике. Современная наука о природе. Законы механики. Пространство. Время. Движение. 1-2 / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского. - 10-е изд. - М. : URSS, 2014. - 439 с. : ил., портр., табл. - ISBN 978-5-397-04280-2. - ISBN 978-5-453-00055-5

Допуск	Выполнение	Защита

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

«.....
.....
.....»

выполненной студентом.....
.....курса, группы

Цель работы:
.....
.....

Оборудование и материалы:
.....
.....

Таблица 1

№	ΔP_1 , мм.рт.ст	ΔP_2 , мм.рт.ст	ΔP_1 , Па	ΔP_2 , Па	γ	$\bar{\gamma}$
1						
2						
3						
4						
5						

6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

Вычисления показателя адиабаты:

$$\gamma_{cp} = \pm \quad , \quad \varepsilon = \quad \%$$

Вывод:.....
.....
.....

Лабораторная работа 5

ИЗУЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ И ПОЛУПРОВОДНИКОВ

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

Знать: Основные методы исследования физических явлений в электродинамике.

Уметь: проводить физические измерения и анализировать полученные результаты; строить и анализировать физические модели

Владеть: навыками грамотного использования научных методов исследований

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

Краткая теория

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 решётки 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 решётки 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:

$$\alpha = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dT} \quad (6.1)$$

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

$$R_t = R_0 (1 + \alpha \cdot t) \quad (6.2)$$

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:

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_2 t_1 - R_1 t_2} \quad (6.3)$$

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.

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

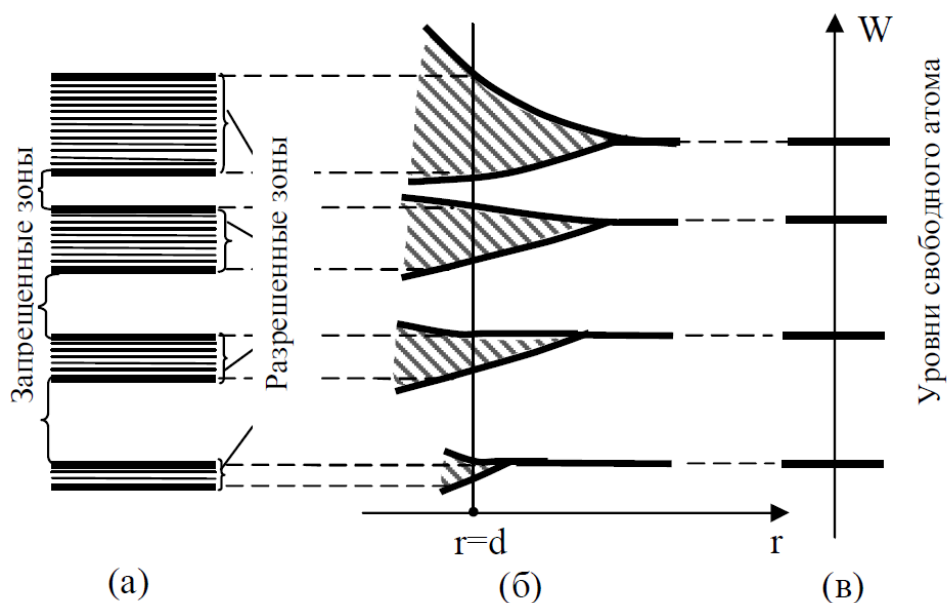


Рис. 6.1. Образование энергетических зон в кристаллах.

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 1 К 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

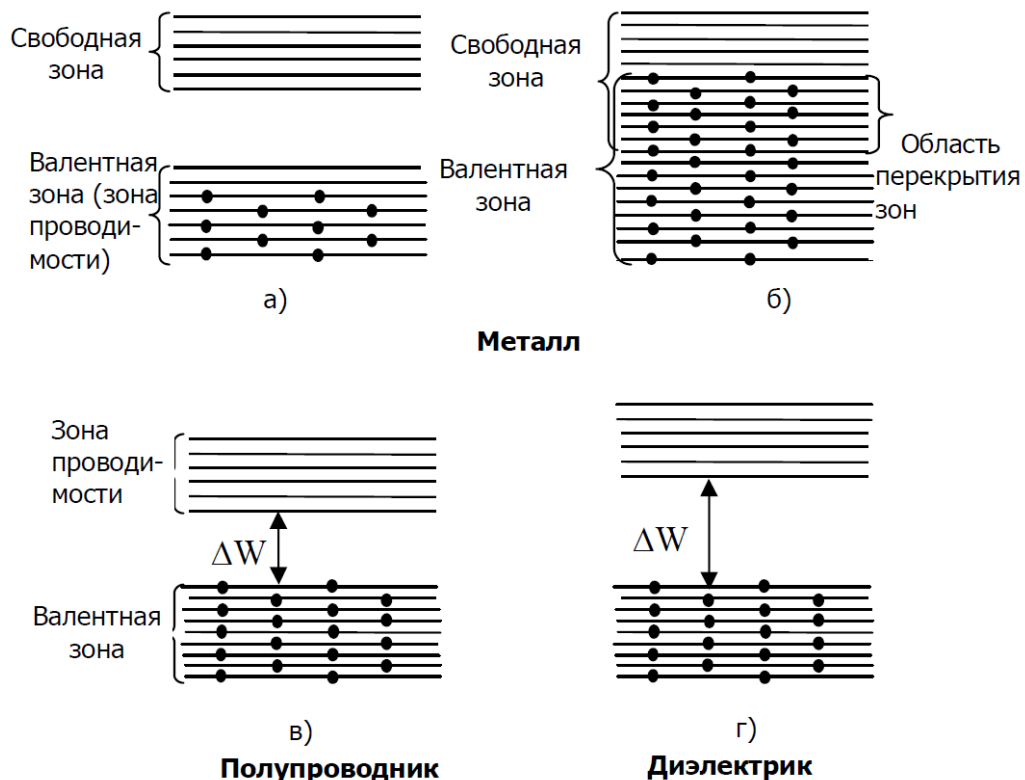


Рис. 6.2. Энергетические зоны в металлах (а, б), полупроводниках (в) и изоляторах (г).

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.

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 запретной 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 освободившиеся 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

$$R = A e^{\frac{\Delta E}{2kT}}, \quad (6.4)$$

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 (6.4) даёт

$$\ln R = \frac{\Delta E}{2k} \cdot \frac{1}{T} + \ln A \quad (6.5)$$

График зависимости $\ln(R)=f(1/T)$ представляет собой прямую, угловой коэффициент которой равен $\Delta E/2k$. Построив график зависимости (6.5), этот угловой коэффициент можно определить по формуле

$$\frac{\Delta E}{2k} = \frac{\ln R_2 - \ln R_1}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}} \quad (6.6)$$

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

Экспериментальная установка



Рис. 6.3.

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 положением десятичного разделителя.

Методика проведения эксперимента

1. Соберите экспериментальную установку как показано на рис. 6.3.
2. Заполните ванну водой, так чтобы зонд был полностью погружен в жидкость.
3. На термостате выставьте регулятор температуры на 20°C и включите термостат.
4. Подключите мультиметры к клеммам образцов и измерьте их сопротивление (при переходе от одного образца к другому необходим будет переключать предел измерения).
5. Изменяя температуру с шагом 5°C, повторите измерения до температуры 70-80°C. Результаты измерения занесите таблицу.
6. Постройте график зависимости сопротивления от температуры для проводника. Определите величину температурного коэффициента сопротивления по формуле (6.3).
7. Заполните таблицу 2, переведите для этого температуру из градусов Цельсия в Кельвины, рассчитайте логарифмы от сопротивлений полупроводников.
8. Постройте график зависимости логарифма сопротивления от обратной температуры для полупроводников $\ln R = f(1/T)$ и определите энергию активации ΔE для полупроводников по формуле (6.6).

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 полупроводников.

ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Перед тем как войти в лабораторию подготовьтесь к занятию: изучите цель и методику проведения работы, подготовьте форму отчета.
2. В холодное время года не допускается приходить в лабораторию в верхней одежде.
3. В лаборатории недопустимо находиться в одежде, которая допускает возможность зацепления приборов, материалов, замыкание электрических цепей. Украшения, такие как кольца, длинные цепи и т.п. должны быть сняты.
4. Длинные волосы должны быть собраны и закреплены во избежание их попадания в детали установок.
5. Сумки и рюкзаки необходимо оставить в специально предназначенном месте.
6. Категорически не допускается наличие продуктов питания и напитков в лаборатории.
7. Проверить отсутствие внешних видимых повреждений электроустановки и изоляции проводов, наличие и исправность контрольно-измерительного и монтажного инструмента, сигнальных приборов, переключателей и т.п.
8. Убедиться в целостности крышек электророзеток и выключателей, исправности электровилки и изоляции электрокабеля.
9. Убедиться в наличии и целостности заземляющего проводника корпуса электроустановки и электровилки.
10. Точно выполнять все указания преподавателя и лаборанта при проведении лабораторной работы, без разрешения не выполнять самостоятельно никаких работ.
11. При работе со спиртовкой беречь одежду и волосы от воспламенения, не зажигать одну спиртовку от другой, не извлекать из горящей спиртовки горелку с фитилем, не задувать пламя спиртовки ртом, а гасить его, накрывая специальным колпачком.
12. При нагревании жидкости в пробирке или колбе использовать специальные держатели (штативы), отверстие пробирки или горлышко колбы не направлять на себя и на своих товарищей.
13. Во избежание ожогов жидкость и другие физические тела нагревать не выше 60-70°C, не брать их незащищенными руками.
14. Соблюдать осторожность при обращении с приборами из стекла и лабораторной посудой, не бросать, не ронять и не ударять их.
15. При использовании лазера недопустимо направлять его в глаза. Опасным является и отраженный луч.
16. При выполнении работ с маятниками и движущимися грузами недопустимо находиться в области их движения.
17. Следить за исправностью всех креплений в приборах и приспособлениях, не прикасаться и не наклоняться близко к вращающимся и движущимся частям машин и механизмов.

18. При сборке электрической схемы использовать провода с наконечниками, без видимых повреждений изоляций, избегать пересечений проводов, источник тока подключать в последнюю очередь.
19. Собранную электрическую схему включать под напряжение только после проверки ее преподавателем или лаборантом. Включение и выключение электроустановки производить только сухими руками и с использованием индивидуальных средств защиты.
20. Не прикасаться к находящимся под напряжением элементам электрической цепи, к корпусам стационарного электрооборудования, к зажимам конденсаторов, не производить переключений в цепях до отключения источника тока.
21. Не допускать предельных нагрузок измерительных приборов.
22. Не оставлять без надзора не выключенные электрические устройства и приборы.
23. Срочно прекратить работу в случае обнаружения: искрения соединений или щеток эл. машины, нарушения изоляции проводов или кабеля, поломки или разъединения заземляющего провода.
24. При возникновении какой либо неисправности, в работе электрических приборов, работу незамедлительно прекратить, обесточить электроустановку, сообщить преподавателю, работу продолжить после устранения неисправности.
25. В случае поражения человека электрическим током, в первую очередь освободить пострадавшего от воздействия тока, путем отключения установки от электрической сети, отброса провода при помощи сухой палки, перекусывания проводов, оттягивания пострадавшего за одежду. Далее определить степень поражения для оказания первой медицинской помощи.
26. В случае возгорания электроустановки, немедленно ее обесточить и приступить к тушению первичными средствами (песок, пенным или углекислотным огнетушителем).
27. При получении травмы сообщить об этом преподавателю, которому немедленно оказать первую помощь пострадавшему и сообщить администрации учреждения, при необходимости отправить пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение.
28. По окончании работы отключить источник тока. Разрядить конденсаторы с помощью изолированного проводника и разобрать электрическую схему.
29. Категорически запрещается производить отключение влажными и мокрыми руками путем дергания за питающий шнур или кабель.
30. Разборку установки для нагревания жидкости производить после ее остывания.
31. Привести в порядок рабочее место, сдать преподавателю (лаборанту) приборы, оборудование, материалы и тщательно вымыть руки с мылом.

Список литературы:

- 1 Савельев, И. В. Курс общей физики : [учеб. пособие] : в 4 т. / И.В. Савельев ; под общ. ред. И.В. Савельева, Т. 1, Механика. Молекулярная физика и термодинамика. - М. : Кнорус, 2009. - 528 с. : ил. - На учебнике гриф: Доп.УМО. - Прил.: с. 505-515. - ISBN 978-5-85971-899-3
- 2 Савельев, И. В. Курс общей физики : [учеб. пособие] : в 4 т. / И.В. Савельев ; под общ. ред. И.В. Савельева, Т. 2, Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. - М. : Кнорус, 2009. - 576 с. - На учебнике гриф: Доп.УМО. - Прил.: с. 553-560. - Библиогр. в подстроч. примеч. - ISBN 978-5-85971-898-6
- 3 Савельев, И. В. Курс общей физики : в 4 т. : [учеб. пособие] / И.В. Савельев ; под общ. ред. И.В. Савельева, Т. 3, Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. - М. : КНОРУС, 2009. - 368 с. : ил. - На учебнике гриф: Доп.МО. - Библиогр. в подстроч. примеч. - ISBN 978-5-85971-900-6
- 4 Трофимова, Т. И. Курс физики : учеб. пособие / Т.И. Трофимова. - 20-е изд., стер. - М. : Академия, 2014. - 560 с. - На учебнике гриф: Рек.МО. - ISBN 978-5-4468-0627-0
- 5 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского, Вып. 7, Физика сплошных сред. - 6-е изд., суц. испр. - М. : URSS, 2013. - 287 с. : ил. - Часть текста прил. на англ. яз. - На обл.: Существенно испр. изд. - Библиогр. в подстроч. примеч. - ISBN 978-5-453-00039-5. - ISBN 978-5-397-03635-1
- 6 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского, Вып. 3, Излучение. Волны. Кванты. - 9-е изд. - М. : URSS, 2014. - 240 с. : ил. - Библиогр. в подстроч. прим. - ISBN 978-5-453-00059-3. - ISBN 978-5-397-04361-8
- 7 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского, Вып. 4, Кинетика. Теплота. Звук. - 9-е изд. - М. : URSS, 2014. - 260 с. : ил. - Библиогр. в подстроч. прим. - ISBN 978-5-453-00060-9. - ISBN 978-5-397-04362-5
- 8 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского, Вып. 6, Электродинамика. - 7-е

изд. - М. : URSS, 2014. - 347 с. : ил. - Библиогр. в подстроч. прим. - ISBN 978-5-453-00058-6. - ISBN 978-5-397-04359-5

9 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике. Современная наука о природе. Законы механики. Пространство. Время. Движение. 1-2 / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского. - 10-е изд. - М. : URSS, 2014. - 439 с. : ил., портр., табл. - ISBN 978-5-397-04280-2. - ISBN 978-5-453-00055-5

Допуск	Выполнение	Защита

--	--	--

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

«.....
.....»

выполненной студентом.....
.....курса, группы

Цель работы:
.....
.....

Оборудование и материалы:
.....
.....

Задание. Исследование сопротивления различных материалов от температуры.

Таблица 1

№	$t, ^\circ C$	Проводник Cu	Термистор NTC	Полупроводник Si	Полупроводник Ge
		$R, \text{кОм}$	$R, \text{кОм}$	$R, \text{кОм}$	$R, \text{кОм}$

График зависимости сопротивления от температуры для проводника

$R=f(t)$

Таблица 2

№	$t, ^\circ\text{C}$	T, K	$1/T, \text{K}^{-1}$	Термистор	Полупроводник	Полупроводник
				NTC	Si	Ge
				$\ln R$	$\ln R$	$\ln R$

График зависимости логарифма сопротивления от обратной температуры для полупроводников $\ln R = f(1/T)$

Расчет температурного коэффициента сопротивления для проводника и энергии активации в термисторах

$$\alpha = \pm \quad , \quad ^\circ\text{C}^{-1} \quad , \quad \varepsilon = \quad \%$$

$$\Delta E = \pm \quad \text{Дж} \quad , \quad \varepsilon = \quad \%$$

Вывод:.....

Лабораторная работа 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА

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

Знать: Основные методы исследования физических явлений в электродинамике.

Уметь: проводить физические измерения и анализировать полученные результаты; строить и анализировать физические модели

Владеть: навыками грамотного использования научных методов исследований

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.

Краткая теория

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

$$d\vec{f} = i[d\vec{l} \times \vec{B}] \quad (7.1)$$

Заменив $id\vec{l}$ через $S\vec{j}dl$, 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:

$$\vec{f}_{ед.об.} = [\vec{j} \times \vec{B}] \quad (7.2)$$

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 $\vec{v}$ в магнитном поле $\vec{B}$, действует сила

$$\vec{f} = e' [\vec{v} \vec{B}] \quad (7.3)$$

Силу (7.3) называют *силой Лоренца* или *лоренцевой силой*.

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

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

Модуль лоренцевой силы равен

$$f = e' v B \sin \alpha, \quad (7.4)$$

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 $[\vec{v} \vec{B}]$. В случае отрицательного e' направления векторов $\vec{f}$ и $[\vec{v} \vec{B}]$ противоположны (рис. 7.1).

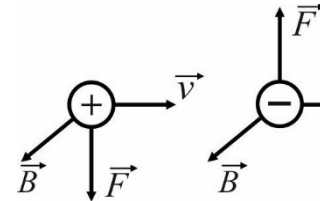


Рис. 7.1.

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.

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

$$a_n = \frac{f}{m} = \frac{e'}{m} v B \quad (7.5)$$

(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 $a_n = \frac{v^2}{R}$. Подставляя сюда значение (7.5) для a_n и решая получившееся уравнение относительно R , получаем

$$R = \frac{m}{e'} \frac{v}{B} \quad (7.6)$$

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*.

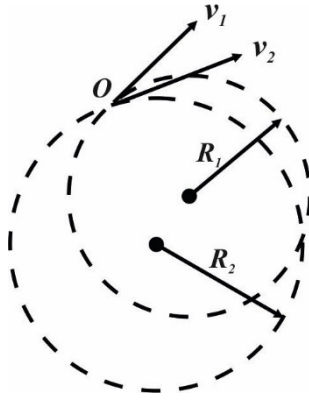


Рис. 7.2

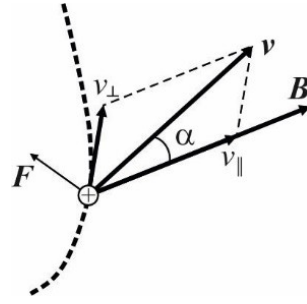


Рис. 7.3

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

$$T = 2\pi \frac{m}{e} \frac{1}{B} \quad (7.7)$$

Период обращения частицы по окружности оказывается не зависящим от ее скорости, он определяется только удельным зарядом частицы и магнитной индукцией поля. На рис. 7.2 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 .

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. 7.3). Легко видеть, что

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

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; 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 (7.6) с заменой v на $v_\perp = v \sin \alpha$. Траектория движения представляет собой спираль, ось которой совпадает с направлением $\vec{B}$ (рис. 7.4).

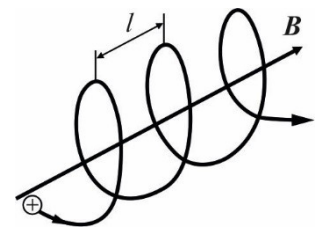


Рис. 7.4.

Шаг спирали l можно найти, умножив $v_{\parallel}$ на определяемый формулой (7.7) период обращения T :

$$l = v \cdot \underbrace{\frac{1}{v} \cdot 2\pi \frac{m}{e} \frac{1}{B} v \cos \alpha}_{T} \quad (7.8)$$

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 О на перпендикулярный к нему экран (рис. 7.5). 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, 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

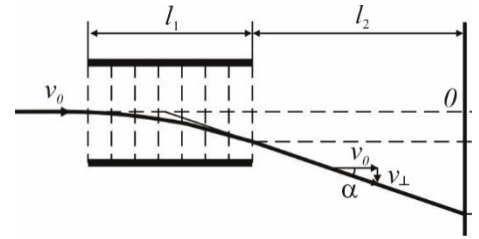


Рис. 7.5.

$$y_1 = \frac{1}{2} a_\perp t^2 = \frac{1}{2} \frac{e'}{m} E \frac{l_1^2}{v_0^2} \quad (7.9)$$

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

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_\perp}{v_0} = \frac{e'}{m} E \frac{l_1}{v_0^2} \quad (7.10)$$

В результате в дополнение к смещению (7.9) 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.

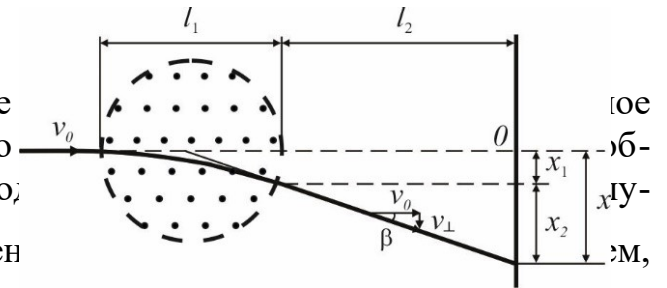
Таким образом, смещение следа пучка относительно точки О равно

$$y = y_1 + y_2 = \frac{e'}{m} E \frac{l_1}{v_0^2} \left(\frac{1}{2} l_1 + l_2 \right) \quad (7.11)$$

Последнее выражение можно с учетом (10.10) записать в виде $y = \operatorname{tg} \alpha \left(\frac{1}{2} l_1 + l_2 \right)$, откуда вытекает, что частицы, покинув поле, летят так, как

если бы они вылетели из центра конденсатора, создающего поле, под углом α , который определяется формулой (7.10).

Теперь предположим, что на имеющем протяженность l_1 пути частиц включается перпендикулярное поле (рис. 7.6; поле перпендикулярно ведена пунктирной окружностью). По-
чит постоянное по величине ускорен



когда 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 $a_{\perp} = \frac{e}{m} v_0 B$. В результате для смещения, которое мы теперь обозначим буквой x , получим

$$x = \frac{e}{m} B \frac{l_1}{v_0} \left(\frac{1}{2} l_1 + l_2 \right) \quad (7.12)$$

Угол, на который отклонится пучок магнитным полем, определится выражением

$$\tan \beta = \frac{e}{m} B \frac{l_1}{v_0} \quad (7.13)$$

С учетом (7.13) формулу (7.12) можно записать следующим образом: $x = \tan \beta \left(\frac{1}{2} l_1 + l_2 \right)$. 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 (7.13).

Отметим, что как отклонение (7.11) электрическим полем, так и отклонение (7.12) 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. 7.7) 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. Экран трубки покрывают флуоресцирующим

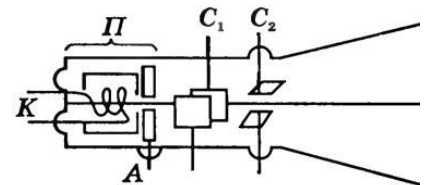


Рис. 7.7.

составом. Поэтому в месте попадания на экран электронного луча возникает ярко светящееся пятно.

Электронно-лучевые трубки применяются в осциллографах – приборах, позволяющих наблюдать и фотографировать быстропротекающие 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. 7.8. Выходящий из отверстия в аноде A электронный пучок проходил между

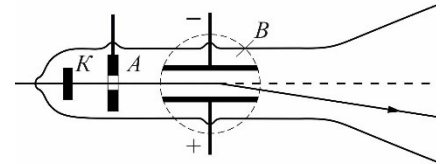


Рис. 7.8.

пластинами плоского конденсатора и попадал на флуоресцирующий экран, создавая на нем светящееся пятно. 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. 7.8 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 (7.11) и (7.12).

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 .

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

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 Милликеном в 1909 г.

Экспериментальная установка

Экспериментальная установка приведена на рисунке 7.15.

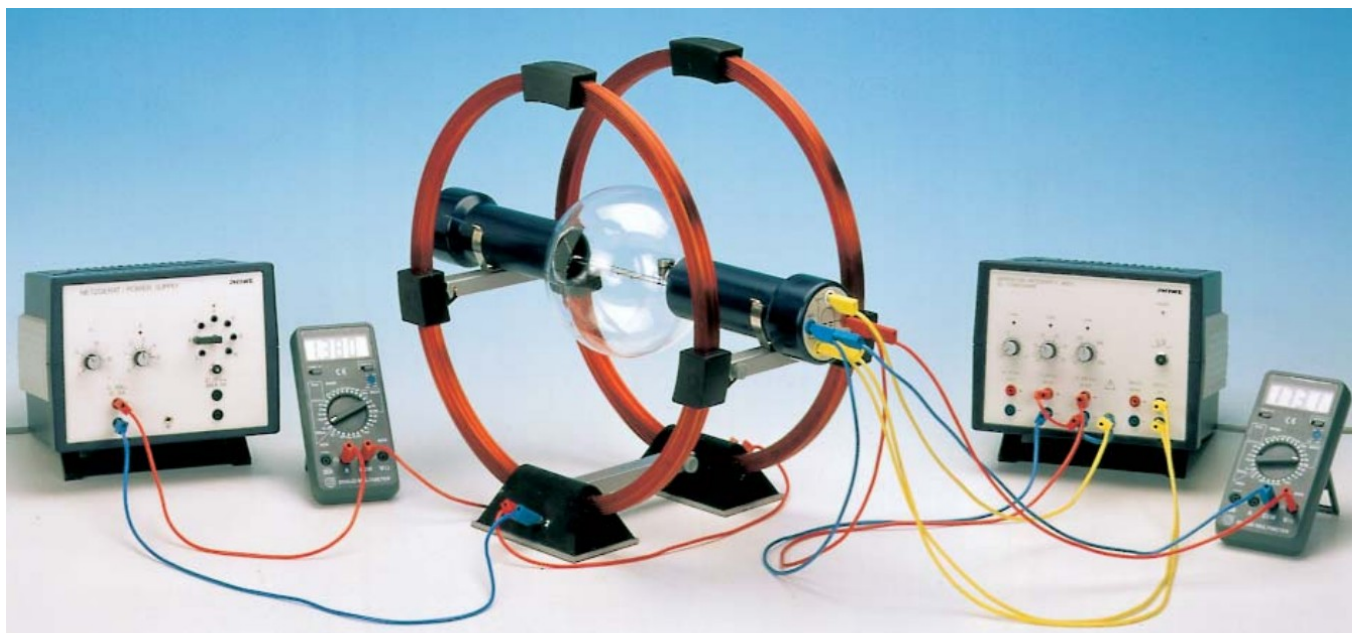


Рис. 7.15.

Принципиальная электрическая схема установки приведена на рисунке 7.16. В качестве источника магнитного поля используются катушки Гельмгольца, подключенные последовательно друг другу (рис. 7.17). **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 переключками мерной сетки в электронно-лучевой трубке. В этом случае наблюдается половина окружности, радиус которой может быть равен 2, 3, 4 или 5 см.

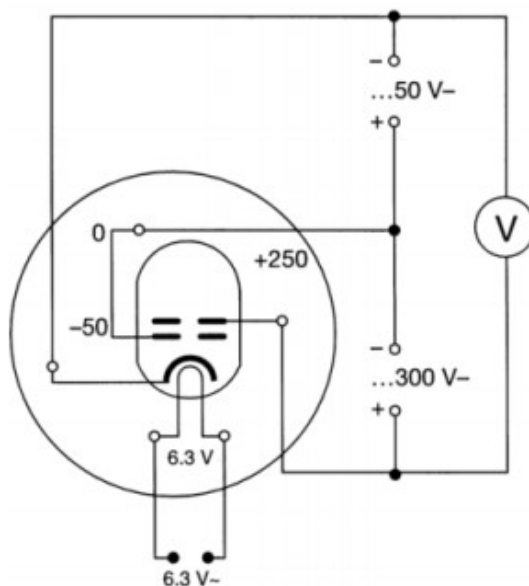


Рис. 7.16.

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.

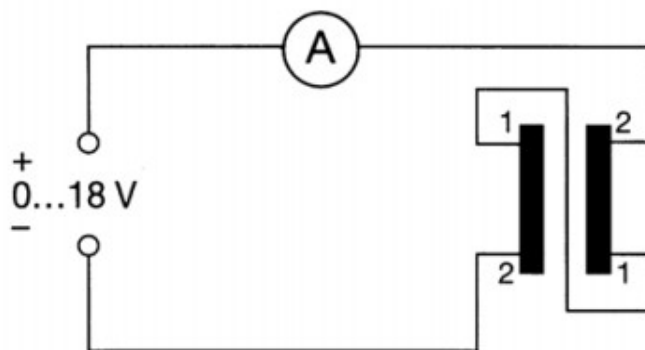


Рис. 7.17.

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

$$eU = \frac{m_e v^2}{2} \quad (7.20)$$

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 (7.20), получаем

$$\frac{e}{m_e} = \frac{2U}{(Br)^2} \quad (7.21)$$

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

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

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

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

$$B = \left(\frac{4}{5} \right)^{3/2} \mu_0 N \frac{I}{R} \quad (7.22)$$

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

Методика проведения эксперимента

Задание 1. Определение удельного заряда электрона

1. Соберите установку согласно электрической схеме, приведенной на рисунке 7.15.
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 перемычки 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.

7. Используя формулу (7.22), определите величину индукции магнитного поля для соответствующих значений силы тока. Полученные величины запишите в таблицу 1 отчета.
8. Определите величину удельного заряда электрона по формуле (7.21).
9. Определите среднее значение полученных величин удельного заряда.
10. Рассчитайте погрешность полученных значений удельного заряда электрона.
11. Сравните полученное значение с табличным.

Контрольные вопросы

1. Движение заряженной частицы в магнитном поле.
2. Как определить величину и направление силы Лоренца?
3. Как определить траекторию движения частицы в электрическом и магнитном полях?
4. Выведите формулы для радиуса и периода при движении заряженной частицы в магнитном поле.
5. Масс-спектрографы. Циклотрон.
6. Методика определения удельного заряда электрона в лабораторной работе.

ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Перед тем как войти в лабораторию подготовьтесь к занятию: изучите цель и методику проведения работы, подготовьте форму отчета.
2. В холодное время года не допускается приходить в лабораторию в верхней одежде.
3. В лаборатории недопустимо находиться в одежде, которая допускает возможность зацепления приборов, материалов, замыкание электрических цепей. Украшения, такие как кольца, длинные цепи и т.п. должны быть сняты.
4. Длинные волосы должны быть собраны и закреплены во избежание их попадания в детали установок.
5. Сумки и рюкзаки необходимо оставить в специально предназначенном месте.
6. Категорически не допускается наличие продуктов питания и напитков в лаборатории.
7. Проверить отсутствие внешних видимых повреждений электроустановки и изоляции проводов, наличие и исправность контрольно-измерительного и монтажного инструмента, сигнальных приборов, переключателей и т.п.

8. Убедиться в целостности крышек электророзеток и выключателей, исправности электровилки и изоляции электрокабеля.
9. Убедиться в наличии и целостности заземляющего проводника корпуса электроустановки и электровилки.
10. Точно выполнять все указания преподавателя и лаборанта при проведении лабораторной работы, без разрешения не выполнять самостоятельно никаких работ.
11. При работе со спиртовкой беречь одежду и волосы от воспламенения, не зажигать одну спиртовку от другой, не извлекать из горящей спиртовки горелку с фитилем, не задувать пламя спиртовки ртом, а гасить его, накрывая специальным колпачком.
12. При нагревании жидкости в пробирке или колбе использовать специальные держатели (штативы), отверстие пробирки или горлышко колбы не направлять на себя и на своих товарищей.
13. Во избежание ожогов жидкость и другие физические тела нагревать не выше 60-70°C, не брать их незащищенными руками.
14. Соблюдать осторожность при обращении с приборами из стекла и лабораторной посудой, не бросать, не ронять и не ударять их.
15. При использовании лазера недопустимо направлять его в глаза. Опасным является и отраженный луч.
16. При выполнении работ с маятниками и движущимися грузами недопустимо находиться в области их движения.
17. Следить за исправностью всех креплений в приборах и приспособлениях, не прикасаться и не наклоняться близко к вращающимся и движущимся частям машин и механизмов.
18. При сборке электрической схемы использовать провода с наконечниками, без видимых повреждений изоляций, избегать пересечений проводов, источник тока подключать в последнюю очередь.
19. Собранную электрическую схему включать под напряжение только после проверки ее преподавателем или лаборантом. Включение и выключение электроустановки производить только сухими руками и с использованием индивидуальных средств защиты.
20. Не прикасаться к находящимся под напряжением элементам электрической цепи, к корпусам стационарного электрооборудования, к зажимам конденсаторов, не производить переключений в цепях до отключения источника тока.
21. Не допускать предельных нагрузок измерительных приборов.
22. Не оставлять без надзора не выключенные электрические устройства и приборы.
23. Срочно прекратить работу в случае обнаружения: искрения соединений или щеток эл. машины, нарушения изоляции проводов или кабеля, поломки или разъединения заземляющего провода.

24. При возникновении какой либо неисправности, в работе электрических приборов, работу незамедлительно прекратить, обесточить электроустановку, сообщить преподавателю, работу продолжить после устранения неисправности.
25. В случае поражения человека электрическим током, в первую очередь освободить пострадавшего от воздействия тока, путем отключения установки от электрической сети, отброса провода при помощи сухой палки, перекусывания проводов, оттягивания пострадавшего за одежду. Далее определить степень поражения для оказания первой медицинской помощи.
26. В случае возгорания электроустановки, немедленно ее обесточить и приступить к тушению первичными средствами (песок, пенным или углекислотным огнетушителем).
27. При получении травмы сообщить об этом преподавателю, которому немедленно оказать первую помощь пострадавшему и сообщить администрации учреждения, при необходимости отправить пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение.
28. По окончании работы отключить источник тока. Разрядить конденсаторы с помощью изолированного проводника и разобрать электрическую схему.
29. Категорически запрещается производить отключение влажными и мокрыми руками путем дергания за питающий шнур или кабель.
30. Разборку установки для нагревания жидкости производить после ее остывания.
31. Привести в порядок рабочее место, сдать преподавателю (лаборанту) приборы, оборудование, материалы и тщательно вымыть руки с мылом.

Список литературы:

- 1 Савельев, И. В. Курс общей физики : [учеб. пособие] : в 4 т. / И.В. Савельев ; под общ. ред. И.В. Савельева, Т. 1, Механика. Молекулярная физика и термодинамика. - М. : Кнорус, 2009. - 528 с. : ил. - На учебнике гриф: Доп.УМО. - Прил.: с. 505-515. - ISBN 978-5-85971-899-3
- 2 Савельев, И. В. Курс общей физики : [учеб. пособие] : в 4 т. / И.В. Савельев ; под общ. ред. И.В. Савельева, Т. 2, Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. - М. : Кнорус, 2009. - 576 с. - На учебнике гриф: Доп.УМО. - Прил.: с. 553-560. - Библиогр. в подстроч. примеч. - ISBN 978-5-85971-898-6
- 3 Савельев, И. В. Курс общей физики : в 4 т. : [учеб. пособие] / И.В. Савельев ; под общ. ред. И.В. Савельева, Т. 3, Квантовая оптика. Атомная

физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. - М. : КНОРУС, 2009. - 368 с. : ил. - На учебнике гриф: Доп.МО. - Библиогр. в подстроч. примеч. - ISBN 978-5-85971-900-6

4 Трофимова, Т. И. Курс физики : учеб. пособие / Т.И. Трофимова. - 20-е изд., стер. - М. : Академия, 2014. - 560 с. - На учебнике гриф: Рек.МО. - ISBN 978-5-4468-0627-0

5 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского, Вып. 7, Физика сплошных сред. - 6-е изд., суц. испр. - М. : URSS, 2013. - 287 с. : ил. - Часть текста прил. на англ. яз. - На обл.: Существенно испр. изд. - Библиогр. в подстроч. примеч. - ISBN 978-5-453-00039-5. - ISBN 978-5-397-03635-1

6 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского, Вып. 3, Излучение. Волны. Кванты. - 9-е изд. - М. : URSS, 2014. - 240 с. : ил. - Библиогр. в подстроч. прим. - ISBN 978-5-453-00059-3. - ISBN 978-5-397-04361-8

7 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского, Вып. 4, Кинетика. Теплота. Звук. - 9-е изд. - М. : URSS, 2014. - 260 с. : ил. - Библиогр. в подстроч. прим. - ISBN 978-5-453-00060-9. - ISBN 978-5-397-04362-5

8 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского, Вып. 6, Электродинамика. - 7-е изд. - М. : URSS, 2014. - 347 с. : ил. - Библиогр. в подстроч. прим. - ISBN 978-5-453-00058-6. - ISBN 978-5-397-04359-5

9 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике. Современная наука о природе. Законы механики. Пространство. Время. Движение. 1-2 / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского. - 10-е изд. - М. : URSS, 2014. - 439 с. : ил., портр., табл. - ISBN 978-5-397-04280-2. - ISBN 978-5-453-00055-5

Допуск	Выполнение	Защита

--	--	--

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

«.....»
»

выполненной студентом.....
курса, группы

Цель работы:

Оборудование и материалы:

Задание. Определение удельного заряда электрона.

Таблица 1

№ п/п	U, В	r = 2 см			r = 3 см			r = 4 см			r = 5 см		
		A= (Гн/м) ²			A= (Гн/м) ²			A= (Гн/м) ²			A= (Гн/м) ²		
		I, А	tgα	e/m _e , Кл/кг	I, А	tgα	e/m _e , Кл/кг	I, А	tgα	e/m _e , Кл/кг	I, А	tgα	e/m _e , Кл/кг
1	120												
2	140												
3	160												
4	180												
5	200												
6	220												
7	240												
8	260												
9	280												
10	300												
11	320												
12	340												

Расчетная формула:

Графики зависимости $U=f(I^2)$ для значений $r=2\text{ см}; 3\text{ см}; 4\text{ см}; 5\text{ см}$.

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

Вычисления:

Вывод:.....

Лабораторная работа 7

ВНЕШНИЙ ФОТОЭФФЕКТ

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

Знать: Основные методы исследования физических явлений.

Уметь: проводить физические измерения и анализировать полученные результаты; строить и анализировать физические модели

Владеть: навыками грамотного использования научных методов исследований

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

Краткая теория

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 9.1.

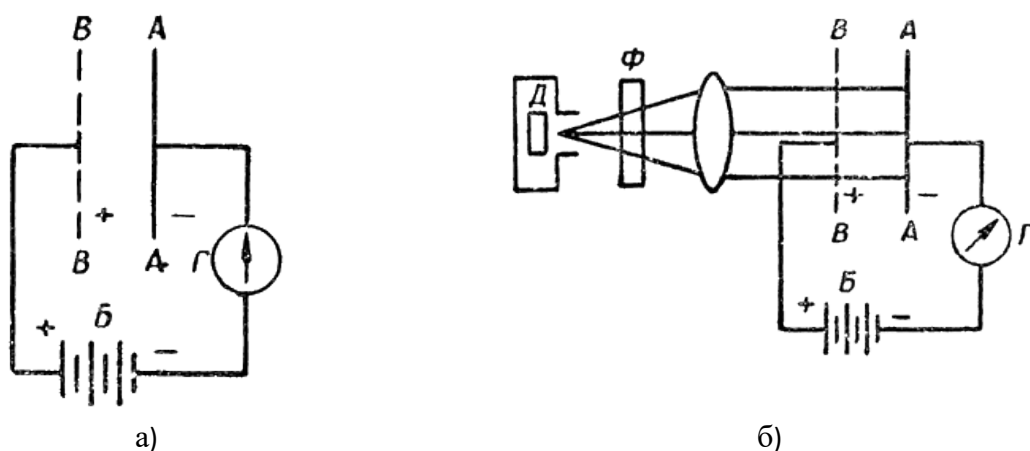


Рис. 9.1. Опыты Столетова. а) цепь между пластинкой АА и сеткой ВВ разорвана, ток не идет; б) пластинка АА освещается светом от вольтовой дуги Д. С пластинки срываются отрицательные заряды, ток в цепи идет

Конденсатор, образованный проволоочной сеткой и сплошной пластиной, был включен последовательно с гальванометром Г 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. 9.2.

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. 9.2). На часть внутренней поверхности баллона нанесен тонкий слой металла, представляющий отрицательный электрод (катод).

Допустим, что фотоэлемент включен в цепь, изображенную на рис. 9.2. Передвигая движок потенциометра и снимая показания приборов, можно построить вольтамперную характеристику фотоэлемента. При $U = 0$ через элемент проходит небольшой ток (рис. 9.3). 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.

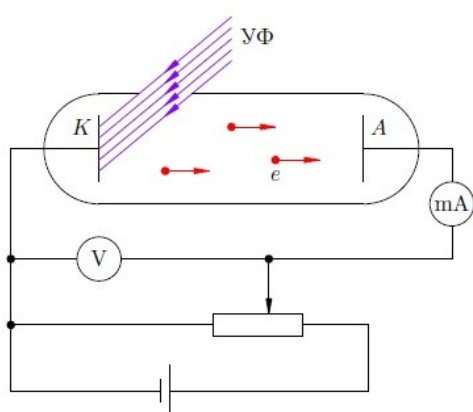


Рис. 9.2

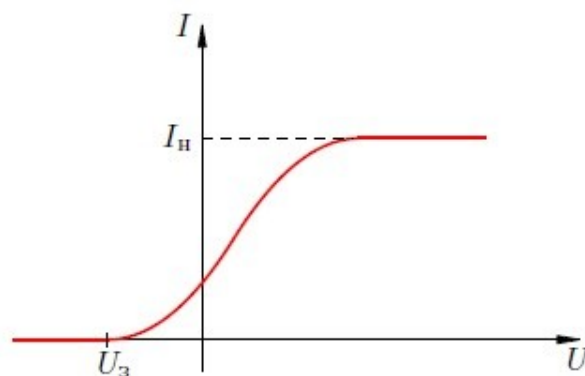


Рис. 9.3

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 перестаёт 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:

$$h\nu = \frac{mv_{\text{max}}^2}{2} + A_{\text{вых}} \quad (9.1)$$

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

Соотношение (9.1) 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. Та 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:

$$h\nu_{кр} = A_{вых} \quad (9.2)$$

Значение работы выхода для некоторых металлов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Материал	калий	литий	платина	рубидий	серебро	цезий	цинк
$A_{вых}, \text{эВ}$	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 $A_{вых}$, ни ν от интенсивности света не зависят (II закон фотоэффекта). Так как с уменьшением частоты света кинетическая энергия фотоэлектронов уменьшается (для данного металла $A_{вых} = \text{const}$), то при некоторой достаточно малой частоте $\nu = \nu_{кр}$ 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

$$\varepsilon_{\phi} = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \hbar\omega, \quad (9.3)$$

где λ – длина волны, $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ – постоянная Планка с чертой ($h = 1.05 \cdot 10^{-34}$ 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 (9.3) находим:

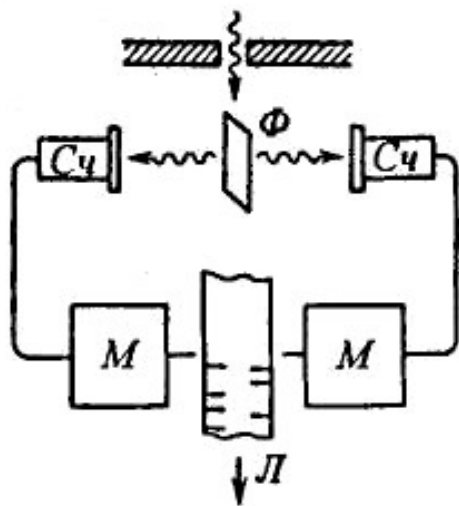
$$m_{\phi} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{\hbar\omega}{c^2}$$

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

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

Непосредственное подтверждение гипотезы Эйнштейна дал опыт Боте.

Тонкая металлическая фольга Φ помещалась между двумя газоразрядными счетчиками $Сч$. Фольга освещалась слабым пучком рентгеновских лучей. Вследствие малой интенсивности первичного пучка количество квантов, испускаемых фольгой, было невелико. При попадании в него рентгеновских лучей счетчик срабатывал и приводил в действие особый механизм $М$, делавший отметку на движущейся ленте $Л$. Если бы излучаемая энергия распространялась равномерно во все стороны, как это следует из волновых представлений, оба



счетчика должны были бы срабатывать одновременно и отметки на ленте приходились 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.

Этот эксперимент подтвердил корпускулярную природу излучения. В то время считалось, что энергия распространяется равномерно во все стороны, как это следует из волновых представлений. Однако эксперимент показал, что энергия распространяется в виде отдельных квантов, которые могут двигаться в любом направлении.

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

Определение постоянной Планка

С помощью уравнения Эйнштейна (9.1) 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:

$$eU_3 = \frac{mv_{\max}^2}{2}, \quad (9.4)$$

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

С учётом формулы (9.4) уравнение (9.1) можно переписать в виде:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + eU_3, \quad (9.5)$$

или окончательно:

$$U_3 = \frac{h}{e} \nu - \frac{A_{\text{вых}}}{e}. \quad (9.6)$$

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 $\frac{h}{e}$.

Экспериментальная установка

Лабораторная установка (рис. 9.4) 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 поляризаторов, 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.

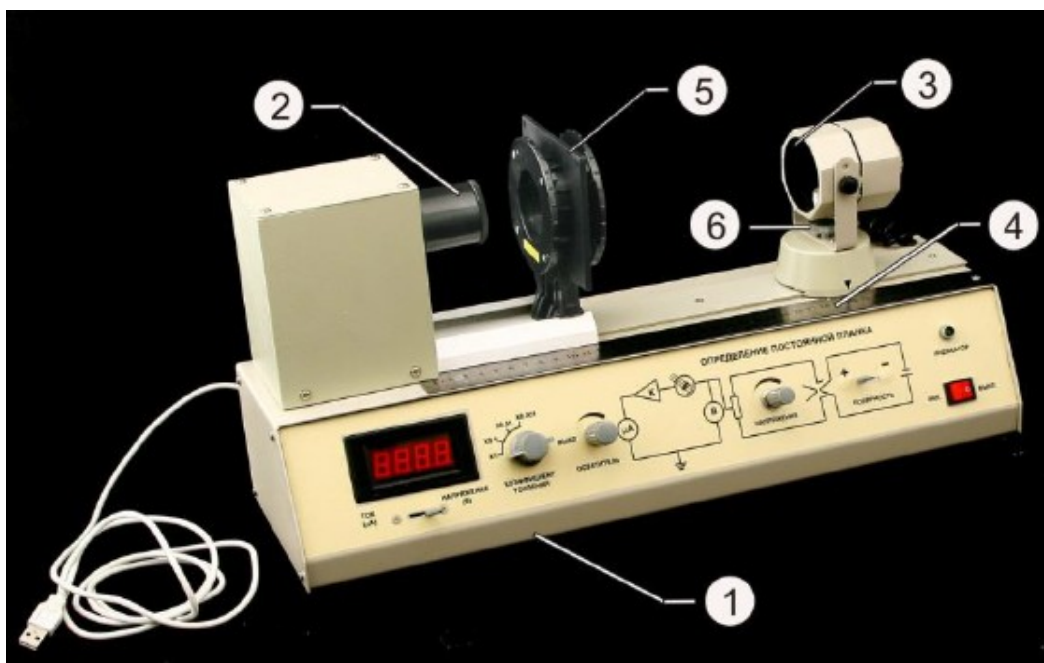


Рис. 9.4

Методика проведения эксперимента

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 (9.6), определите значение постоянной Планка.

Контрольные вопросы

1. Корпускулярно-волновой дуализм. Квантовая природа света.
2. Запишите формулу энергии фотона.

3. Модель атома Резерфорда-Бора.
4. Дайте формулировку явления фотоэффекта. Назовите виды фотоэффекта
5. Приведите установку Столетова. Сформулируйте законы фотоэффекта.
6. Напишите формулу Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.
7. Дайте определение красной границы фотоэффекта.
8. Что такое запирающее напряжение для данного фотокатода.
9. Проанализируйте вольт-амперную характеристику фотоэлемента.
10. Применение фотоэффекта

ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Перед тем как войти в лабораторию подготовьтесь к занятию: изучите цель и методику проведения работы, подготовьте форму отчета.
2. В холодное время года не допускается приходить в лабораторию в верхней одежде.
3. В лаборатории недопустимо находиться в одежде, которая допускает возможность зацепления приборов, материалов, замыкание электрических цепей. Украшения, такие как кольца, длинные цепи и т.п. должны быть сняты.
4. Длинные волосы должны быть собраны и закреплены во избежание их попадания в детали установок.
5. Сумки и рюкзаки необходимо оставить в специально предназначенном месте.
6. Категорически не допускается наличие продуктов питания и напитков в лаборатории.
7. Проверить отсутствие внешних видимых повреждений электроустановки и изоляции проводов, наличие и исправность контрольно-измерительного и монтажного инструмента, сигнальных приборов, переключателей и т.п.
8. Убедиться в целостности крышек электророзеток и выключателей, исправности электровилки и изоляции электрокабеля.
9. Убедиться в наличии и целостности заземляющего проводника корпуса электроустановки и электровилки.
10. Точно выполнять все указания преподавателя и лаборанта при проведении лабораторной работы, без разрешения не выполнять самостоятельно никаких работ.
11. При работе со спиртовкой беречь одежду и волосы от воспламенения, не зажигать одну спиртовку от другой, не извлекать из горячей спиртовки горелку с фитилем, не задувать пламя спиртовки ртом, а гасить его, накрывая специальным колпачком.
12. При нагревании жидкости в пробирке или колбе использовать специальные держатели (штативы), отверстие пробирки или горлышко колбы не направлять на себя и на своих товарищей.
13. Во избежание ожогов жидкость и другие физические тела нагревать не выше 60-70°C, не брать их незащищенными руками.
14. Соблюдать осторожность при обращении с приборами из стекла и лабораторной посудой, не бросать, не ронять и не ударять их.
15. При использовании лазера недопустимо направлять его в глаза. Опасным является и отраженный луч.
16. При выполнении работ с маятниками и движущимися грузами недопустимо находиться в области их движения.
17. Следить за исправностью всех креплений в приборах и приспособлениях, не прикасаться и не наклоняться близко к вращающимся и движущимся частям машин и механизмов.

18. При сборке электрической схемы использовать провода с наконечниками, без видимых повреждений изоляций, избегать пересечений проводов, источник тока подключать в последнюю очередь.
19. Собранную электрическую схему включать под напряжение только после проверки ее преподавателем или лаборантом. Включение и выключение электроустановки производить только сухими руками и с использованием индивидуальных средств защиты.
20. Не прикасаться к находящимся под напряжением элементам электрической цепи, к корпусам стационарного электрооборудования, к зажимам конденсаторов, не производить переключений в цепях до отключения источника тока.
21. Не допускать предельных нагрузок измерительных приборов.
22. Не оставлять без надзора не выключенные электрические устройства и приборы.
23. Срочно прекратить работу в случае обнаружения: искрения соединений или щеток эл. машины, нарушения изоляции проводов или кабеля, поломки или разъединения заземляющего провода.
24. При возникновении какой либо неисправности, в работе электрических приборов, работу незамедлительно прекратить, обесточить электроустановку, сообщить преподавателю, работу продолжить после устранения неисправности.
25. В случае поражения человека электрическим током, в первую очередь освободить пострадавшего от воздействия тока, путем отключения установки от электрической сети, отброса провода при помощи сухой палки, перекусывания проводов, оттягивания пострадавшего за одежду. Далее определить степень поражения для оказания первой медицинской помощи.
26. В случае возгорания электроустановки, немедленно ее обесточить и приступить к тушению первичными средствами (песок, пенным или углекислотным огнетушителем).
27. При получении травмы сообщить об этом преподавателю, которому немедленно оказать первую помощь пострадавшему и сообщить администрации учреждения, при необходимости отправить пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение.
28. По окончании работы отключить источник тока. Разрядить конденсаторы с помощью изолированного проводника и разобрать электрическую схему.
29. Категорически запрещается производить отключение влажными и мокрыми руками путем дергания за питающий шнур или кабель.
30. Разборку установки для нагревания жидкости производить после ее остывания.
31. Привести в порядок рабочее место, сдать преподавателю (лаборанту) приборы, оборудование, материалы и тщательно вымыть руки с мылом.

Список литературы:

- 1 Савельев, И. В. Курс общей физики : [учеб. пособие] : в 4 т. / И.В. Савельев ; под общ. ред. И.В. Савельева, Т. 1, Механика. Молекулярная физика и термодинамика. - М. : Кнорус, 2009. - 528 с. : ил. - На учебнике гриф: Доп.УМО. - Прил.: с. 505-515. - ISBN 978-5-85971-899-3
- 2 Савельев, И. В. Курс общей физики : [учеб. пособие] : в 4 т. / И.В. Савельев ; под общ. ред. И.В. Савельева, Т. 2, Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. - М. : Кнорус, 2009. - 576 с. - На учебнике гриф: Доп.УМО. - Прил.: с. 553-560. - Библиогр. в подстроч. примеч. - ISBN 978-5-85971-898-6
- 3 Савельев, И. В. Курс общей физики : в 4 т. : [учеб. пособие] / И.В. Савельев ; под общ. ред. И.В. Савельева, Т. 3, Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. - М. : КНОРУС, 2009. - 368 с. : ил. - На учебнике гриф: Доп.МО. - Библиогр. в подстроч. примеч. - ISBN 978-5-85971-900-6
- 4 Трофимова, Т. И. Курс физики : учеб. пособие / Т.И. Трофимова. - 20-е изд., стер. - М. : Академия, 2014. - 560 с. - На учебнике гриф: Рек.МО. - ISBN 978-5-4468-0627-0
- 5 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского, Вып. 7, Физика сплошных сред. - 6-е изд., суц. испр. - М. : URSS, 2013. - 287 с. : ил. - Часть текста прил. на англ. яз. - На обл.: Существенно испр. изд. - Библиогр. в подстроч. примеч. - ISBN 978-5-453-00039-5. - ISBN 978-5-397-03635-1
- 6 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского, Вып. 3, Излучение. Волны. Кванты. - 9-е изд. - М. : URSS, 2014. - 240 с. : ил. - Библиогр. в подстроч. прим. - ISBN 978-5-453-00059-3. - ISBN 978-5-397-04361-8
- 7 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского, Вып. 4, Кинетика. Теплота. Звук. - 9-е изд. - М. : URSS, 2014. - 260 с. : ил. - Библиогр. в подстроч. прим. - ISBN 978-5-453-00060-9. - ISBN 978-5-397-04362-5
- 8 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского, Вып. 6, Электродинамика. - 7-е изд. - М. : URSS, 2014. - 347 с. : ил. - Библиогр. в подстроч. прим. - ISBN 978-5-453-00058-6. - ISBN 978-5-397-04359-5

9 Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике. Современная наука о природе. Законы механики. Пространство. Время. Движение. 1-2 / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского. - 10-е изд. - М. : URSS, 2014. - 439 с. : ил., портр., табл. - ISBN 978-5-397-04280-2. - ISBN 978-5-453-00055-5

Допуск	Выполнение	Защита

--	--	--

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

«.....»
»

выполненной студентом.....
курса, группы

Цель работы:

Оборудование и материалы:

Задание. Определение постоянной Планка.

Таблица

№	$\lambda, \cdot 10^{-9} \text{ м}$	$U_z, \text{ В}$	$\nu, \cdot 10^{14} \text{ Гц}$
1			
2			
3			
4			
5			

График зависимости запирающего напряжения от частоты света $U_z(\nu)$

Расчет постоянной Планка по тангенсу угла наклона прямой:

$$h = (\quad \pm \quad) \quad , \varepsilon = \quad \%$$

Вывод:.....

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
 ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине
«Физика»
для студентов направления подготовки
05.03.06 Экология и природопользование
Направленность (профиль) Экология и экологическая безопасность

Ставрополь, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Общая характеристика самостоятельной работы студента	3
	115

Цель и задачи самостоятельной работы	6
Методические указания по видам работ, предусмотренных рабочей программой дисциплины:	6
Подготовка к лекциям	6
Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям	8
Подготовка к защите лабораторных работ	8

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 она предполагает максимальную индивидуализацию деятельности каждого студента и может рассматриваться как средство совершенствования творческой личности. 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, так же 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
ОПК -1 Способен применять базовые знания фундаментальных разделов наук о Земле, естественно-научного и математического циклов при решении задач в области экологии и природопользования	ИД-2 _{ОПК-1} Применяет базовые знания физических законов и анализа физических явлений для решения задач в области экологии и природопользования

Цель и задачи самостоятельной работы

Ведущая цель организации и осуществления СРС совпадает с целью обучения студента – формирование набора общенаучных, профессиональных и специальных компетенций будущего специалиста по направлению подготовки 05.03.06. Экология и природопользование

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.

Методические указания по видам работ, предусмотренных рабочей программой дисциплины:

Подготовка к лекциям

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 несколько типов лекций, которые различаются по строению, приемам изложения материала, характеру обобщений и выводов. Виды лекций: 1. Вводная 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 «Основы Механики»

Научно-методический анализ раздела «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 раздела «Основы МКТ и термодинамики»

Научно-методический анализ раздела «Основы молекулярно-кинетической теории и термодинамики»: основные понятия и законы, изучаемые в разделе; термодинамический и статистический методы изучения тепловых явлений, их единство; отражение молекулярно-кинетической теории строения вещества в содержании раздела.

Научно-методический анализ и методика формирования у учащихся понятий теплового равновесия, температуры, внутренней энергии, необратимости. Методика формирования у учащихся статистических представлений при изучении молекулярной физики.

Научно-методический анализ и методика изучения основных положений молекулярно-кинетической теории строения вещества, молекулярно-кинетической теории идеального газа, строения и свойств жидкостей и твердых тел, принципов работы тепловых двигателей, законов термодинамики.

Методика изучения раздела «Электричество и магнетизм»

Научно-методический анализ раздела «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, электроемкость, 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 «Оптика. Квантовая природа излучения»

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

Научно-методический анализ и методика изучения явления фотоэффекта, постулатов Бора, неравенства Гейзенберга, строения атома и атомного ядра, элементарных частиц.

Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям

Важной формой самостоятельной работы студента является систематическая и планомерная подготовка к практическому занятию. После лекции студент должен познакомиться с планом практических занятий и списком обязательной и дополнительной литературы, которую необходимо прочитать, изучить и законспектировать. Разъяснение по вопросам новой темы студенты получают у преподавателя в конце предыдущего практического занятия.

Подготовка к практическому занятию требует, прежде всего, чтения рекомендуемых источников и монографических работ, их реферирования, подготовки докладов и сообщений. Важным этапом в самостоятельной работе студента является повторение материала по конспекту лекции. Одна из главных составляющих внеаудиторной подготовки – работа с книгой. Она предполагает: внимательное прочтение, критическое осмысление содержания, обоснование собственной позиции по дискуссионным моментам, постановки интересующих вопросов, которые могут стать предметом обсуждения на семинаре.

Методические рекомендации для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Целями лабораторных работ являются изучение специальных понятий и терминов в области физики, устройства и принципа действия 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.