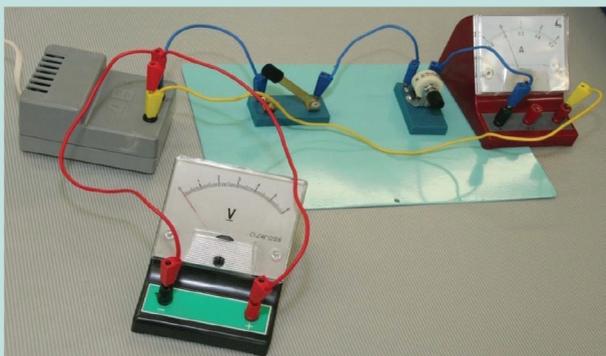


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет

С.Н. Потемкина, В.А. Сарафанова

АДАПТИВНЫЙ КУРС ФИЗИКИ

Лабораторный практикум



© ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», 2023

ISBN 978-5-8259-1306-3

УДК 53(075.8)

ББК 22.3я73

Рецензенты:

канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Экономическая кибернетика»
Саратовского государственного аграрного университета
им. Н.И. Вавилова *А.В. Розанов*;

д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры «Общая и теоретическая
физика» Тольяттинского государственного университета
В.А. Решетов.

Потемкина, С.Н. Адаптивный курс физики : лабораторный практикум /
С.Н. Потемкина, В.А. Сарафанова. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2023. –
1 оптический диск. – ISBN 978-5-8259-1306-3.

В лабораторном практикуме представлены методические указания к шести лабораторным работам по физике. Даются рекомендации по самостоятельной подготовке к лабораторным работам и их выполнению. Предлагаются вопросы и задания для контроля знаний.

Предназначено для студентов, обучающихся по техническим направлениям подготовки (специальностям) очной формы обучения высшего образования.

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8/10; PIII 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

© Потемкина С.Н., Сарафанова В.А., 2023

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский
государственный университет», 2023



Содержание

Введение	5
Вводное занятие	6
Лабораторная работа 1. Исследование зависимости скорости равноускоренного движения тела от времени (раздел «Механика»)	12
Лабораторная работа 2. Проверка закона Бойля – Мариотта (раздел «Молекулярная физика»)	27
Лабораторная работа 3. Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока (раздел «Электричество»)	40
Лабораторная работа 4. Определение индукционного тока в проволочной катушке (раздел «Магнетизм»)	54
Лабораторная работа 5. Определение характеристик гармонических колебаний математического маятника (раздел «Колебания»)	65
Лабораторная работа 6. Определение фокусного расстояния и оптической силы собирающей линзы (раздел «Геометрическая оптика»)	76
Библиографический список	93
Приложение А	94
Приложение Б	95
Приложение В	96

ВВЕДЕНИЕ

Цель настоящего лабораторного практикума — подготовить студентов инженерно-технических специальностей и направлений подготовки к изучению вузовского курса физики.

Навыки, получаемые студентами в физической лаборатории — понимание наблюдаемых процессов, пользование измерительными приборами, оценка полученных результатов, — необходимы в процессе дальнейшего обучения студентов.

Данный практикум охватывает следующие разделы курса физики: «Механика», «Молекулярная физика», «Электричество», «Магнетизм», «Гармонические колебания», «Геометрическая оптика».

В нем представлены простейшая методика обработки результатов измерений и шесть лабораторных работ по вышеуказанным разделам курса физики.

Для самоподготовки студентов приведены: краткая теория по лабораторной работе, методические указания по выполнению лабораторной работы, форма бланка отчета о работе, вопросы и задания для проверки уровня подготовки.

ВВОДНОЕ ЗАНЯТИЕ

1. Правила техники безопасности и пожарной безопасности в лаборатории

Приступать к выполнению работ лабораторного практикума студенты могут только после ознакомления с правилами поведения в учебной физической лаборатории, правилами техники безопасности и пожарной безопасности.

Инструктаж по технике безопасности в лаборатории проводит преподаватель, ведущий лабораторные занятия, или лаборант, ответственный за данную лабораторию. Студенты, прослушавшие инструктаж, обязуются соблюдать правила техники безопасности и пожарной безопасности, о чем расписываются в соответствующих журналах.

Входить в учебную физическую лабораторию можно только с разрешения лаборанта или преподавателя.

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, студенту следует ознакомиться с описанием работы и теорией к ней, подготовить бланк отчета к работе.

Выполнение многих лабораторных работ связано с применением источников электрической энергии. Поражение электрическим током со смертельным исходом может произойти как при высоком, так и при низком напряжении в цепи. Поэтому необходимо тщательно следить за исправностью изоляции проводов и оборудования. О замеченных неисправностях надо немедленно сообщить лаборанту.

Устранение неисправностей в лабораторной установке может производить только лаборант при отключенном источнике питания.

Лабораторная установка подключается к источнику питания только на время снятия результатов измерения. После окончания измерений лабораторную установку необходимо обесточить.

К выполнению лабораторной работы студенты допускаются только при наличии бланка отчета о выполняемой работе и подписи преподавателя о допуске студента к работе.

При нарушении правил техники безопасности студент отстраняется от работы в лаборатории и только после дополнительного изучения и отчета о правилах безопасности вновь допускается к работе в данной лаборатории.

2. Лабораторный практикум и порядок его проведения

Лабораторный практикум представляет собой совокупность лабораторных работ, которые студенту необходимо выполнить по изучаемому курсу.

Каждое лабораторное занятие состоит из следующих этапов:

1. Получение допуска к лабораторной работе.
2. Проведение эксперимента.
3. Обработка результатов эксперимента.
4. Сдача теории по теме лабораторной работы.
5. Сдача оформленного отчета о лабораторной работе.

К лабораторному занятию студент готовится заранее самостоятельно. Ему необходимо проработать методические указания к лабораторной работе, составить бланк отчета к лабораторной работе и подготовить ответы на контрольные вопросы для получения зачета по теории.

В начале лабораторного занятия студент должен получить у преподавателя допуск к работе. Для этого студенту необходимо знать цель работы, описание установки, величины, которые должны быть измерены в ходе выполнения работы, и представить преподавателю бланк отчета о лабораторной работе.

Преподаватель после собеседования со студентом на титульном листе бланка отчета ставит подпись в графе «К работе допущен».

После получения допуска студент приступает к проведению необходимых экспериментальных измерений. Лаборант или преподаватель, в присутствии которого производились измерения, проверяет их и, если результаты измерений верны, ставит дату и свою подпись рядом с результатами измерений.

Далее студент проводит обработку результатов измерений, необходимые расчеты, строит графики или диаграммы, записывает окончательные результаты измерений и выводы по работе.

Затем преподаватель проводит теоретический опрос студента по контрольным вопросам и при положительных ответах ставит на титульном листе бланка отчета подпись в графе «Теория зачтена».

После проверки расчетов, графиков и выводов по лабораторной работе преподаватель ставит подпись на титульном листе бланка отчета в графе «Работа зачтена».

3. Содержание отчета о лабораторной работе

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Приборы и принадлежности.
4. Схема установки.
5. Расчетные формулы.
6. Результаты измерений.
7. Расчеты.
8. Графики.
9. Окончательная запись результатов измерений.
10. Вывод.

Образец оформления титульного листа бланка отчета о лабораторной работе приведен в прил. Б.

4. Обработка результатов измерений

Физика является наукой опытной. Она исследует различные закономерные связи в природе между физическими величинами. Закономерные связи между наблюдаемыми явлениями формулируются в виде физических законов, которые записываются в виде равенств, связывающих различные физические величины.

Физическая величина (ФВ) — характеристика одного из свойств физического объекта, общая в качественном отношении многим физическим объектам, но в количественном отношении индивидуальная для каждого объекта.

Нахождение значений физических величин опытным путем с помощью технических средств называется **измерением**.

Результат измерения состоит из двух частей: численного значения ФВ и единицы измерения. Например, $S = 0,12 \text{ м}$; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; $t = 6,5 \text{ с}$.

По способу получения числового значения измеряемой величины измерения делятся на **прямые** и **косвенные**.

Прямыми называют измерения, результат которых отсчитывают по показаниям средства измерения (например, результат измерения длины — с помощью масштабной линейки, промежутка времени — с помощью секундомера, температуры в помещении — с помощью термометра, определение атмосферного давления — с помощью барометра и т. д.).

Однако прямые измерения не всегда возможны.

Косвенными называются измерения, результат которых получается после подстановки результатов прямых измерений в некоторую функциональную зависимость.

Например, определение средней скорости движения тела $\langle V \rangle = \frac{S}{t}$;

или определение среднего ускорения движения тела $\langle a \rangle = \frac{\Delta V}{\Delta t}$.

Любая физическая величина обладает истинным значением.

Истинное значение ФВ идеально отражает в качественном и количественном отношении соответствующее свойство объекта.

Как правило, при любых измерениях получают не истинное значение измеряемой величины, а лишь ее приближенное значение. Это происходит в силу ряда объективных (несовершенство измерительной аппаратуры, неполнота знаний о наблюдаемом явлении) и субъективных причин (несовершенство органов чувств экспериментатора). Точные измерения можно произвести только в том случае, если исследуемая величина имеет дискретный характер: число атомов в молекуле, число электронов в атоме.

Отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины называется **погрешностью измерения**. По форме выражения различают абсолютные и относительные погрешности.

Абсолютная погрешность измерения есть разность между результатом наблюдения и истинным значением измеряемой величины: $\Delta a = a - a_{\text{ист}}$. Она выражается в единицах физической величины.

Относительная погрешность измерения — это сопоставление величины абсолютной погрешности с истинным значением измеряемой величины: $\delta = \frac{\Delta a}{a_{\text{ист}}} \cdot 100\%$.

Значение физической величины, найденное экспериментально и настолько близкое к истинному значению, что для данной цели может быть использовано вместо него, называется **действительным значением физической величины**.

В качестве действительного значения используется **среднее арифметическое** $\langle a \rangle$ результатов наблюдения, полученных с одинаковой точностью: $\langle a \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i$. Поэтому в качестве абсолютной погрешно-

сти наблюдения используют величину $\Delta a = a - \langle a \rangle$, а в качестве относительной погрешности — $\delta = \frac{\Delta a}{\langle a \rangle} \cdot 100\%$.

Оценить погрешность измеряемой величины — значит указать интервал ($\langle a \rangle - \Delta a$; $\langle a \rangle + \Delta a$), внутри которого с заданной вероятностью P заключено истинное значение измеряемой величины. Такой интервал называется доверительным. При многократных измерениях доверительную вероятность принимают равной $P = 0,95$.

При прямых измерениях физических величин за абсолютную погрешность принимают погрешность прибора.

1. Погрешность λ , которую вносит прибор, равна половине цены деления его шкалы: $\lambda = \frac{1}{2}$ ц.д. или целому делению $\lambda =$ ц.д., если положение указателя прибора трудно различимо в пределах одного деления.

2. При использовании приборов, содержащих дополнительную уточняющую шкалу нониуса, абсолютная погрешность берется равной цене деления шкалы нониуса: $\lambda =$ ц.д.

3. При использовании электроизмерительных приборов погрешность прибора рассчитывается по формуле: $\lambda = \frac{\gamma \cdot A}{100}$, где γ — класс точности прибора (указан на шкале прибора в виде числа из двух цифр, разделенных запятой, например, 1,5 или 2,5); A — предел измерения. Предел измерения A для приборов с односторонней шкалой равен верхнему пределу измерения шкалы; для приборов с двухсторонней шкалой — сумме пределов измерений по левой и правой частям шкалы.

4. При использовании электронных приборов (например, электронного секундомера) погрешность λ берется равной единице разряда последней видимой цифры числа.

Цена деления шкалы прибора — изменение значения физической величины, приходящееся на одно деление шкалы.

Окончательный результат измерения представляется в виде

$$a = (\langle a \rangle \pm \Delta a) \text{ ед. изм.}$$

При записи окончательного результата измерений выполняют следующие правила:

1. Абсолютную погрешность измерения Δa округляют до первой значащей цифры (значащая цифра – первая слева, отличная от нуля). При наиболее точных измерениях или если первая значащая цифра в абсолютной погрешности – единица, то абсолютную погрешность представляют в виде числа с двумя значащими цифрами.

2. Результат измерения $\langle a \rangle$ округляют до того разряда, до которого округлена абсолютная погрешность.

3. Результат измерения $\langle a \rangle$ представляют числом с одной значащей цифрой до запятой и единицей измерения в системе единиц измерения СИ.

Например,

$$\Delta a = 0,000381 \text{ см} \approx 0,0004 \text{ см};$$

$$\langle a \rangle = 0,06243 \text{ см} \approx 0,0624 \text{ см};$$

$$a = (\langle a \rangle \pm \Delta a) = (0,0624 \pm 0,0004) \text{ см} =$$

$$= (6,24 \pm 0,04) \cdot 10^{-2} \text{ см} = (6,24 \pm 0,04) \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

5. Построение графиков

1. Графики нужно строить на миллиметровой бумаге.
2. При построении графика следует заранее выбрать масштаб, нанести деления по осям координат. Значения независимого аргумента откладываются по оси абсцисс, а значения функции откладываются по оси ординат.
3. На координатных осях необходимо указывать не только откладываемые величины, но и единицы измерения.
4. При выборе масштаба необходимо стремиться к тому, чтобы график зависимости занимал все отведенное для него место. Шкала для каждой переменной может начинаться не с нуля, а с наименьшего округленного значения и кончатся наибольшим значением.
5. После выбора масштаба на график наносятся все экспериментальные точки.
6. Нанесенные экспериментальные точки соединяют между собой карандашом плавной кривой.
7. Экспериментальная кривая должна охватывать как можно больше точек или проходить между ними так, чтобы по обе стороны от нее точки располагались равномерно.

Лабораторная работа 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СКОРОСТИ РАВНОУСКОРЕННОГО ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА ОТ ВРЕМЕНИ (раздел «Механика»)

Цель работы – изучить равноускоренное движение, исследовать зависимость скорости от времени движения тела.

Приборы и принадлежности: штатив с перекладиной, наклонная плоскость, каретка, электронный секундомер, датчики движения.

Краткие теоретические сведения

Любое физическое явление или процесс в окружающем нас материальном мире представляет собой закономерный ряд изменений, происходящих во времени и пространстве.

Механическое движение – простейший вид физического процесса, изучается в разделе физики, который называется механикой. Основная задача механики – определить положение тела в любой момент времени.

Механика – одна из самых ранних наук. Определенные сведения в этой отрасли были известны еще в глубокой древности (Аристотель IV в. до н. э., Архимед III в. до н. э.). Количественное изучение механики началось только в XVII в., когда Г. Галилей (1564–1642) открыл кинематический закон сложения скоростей и установил законы свободного падения тел. Основные законы динамики сформулированы английским ученым И. Ньютоном (1643–1727).

В механике Ньютона движение тел рассматривается при скоростях, много меньших скорости света в пустоте (вакууме). Эту механику называют классической, или ньютоновской механикой, в отличие от релятивистской механики, созданной в начале XX в. главным образом благодаря работам А. Эйнштейна (1879–1956). В релятивистской механике движение тел рассматривают при скоростях, близких к скорости света.

Кинематикой называют раздел механики, в котором движение тел рассматривается без выяснения причин, его вызывающих.

Механическим движением называется изменение положения тела в пространстве относительно других тел с течением времени.

Механическое движение относительно. Движение одного и того же тела относительно разных тел оказывается различным. Для описания движения тела нужно указать, по отношению к какому иному телу рассматривается движение. Это второе тело называют телом отсчета.

Система координат, связанная с телом отсчета и снабженная часами для измерения времени, образует **систему отсчета**.

Самая простая система координат — декартова: три взаимно перпендикулярных оси — Ox , Oy , Oz . В пространственной декартовой системе координат положение частицы задается координатами — x , y , z .

Система отсчета позволяет определять положение движущегося тела в любой момент времени.

В Международной системе единиц (СИ) за единицу длины принят 1 метр (м), а за единицу времени — 1 секунда (с).

Механика для описания движения тел в зависимости от условий конкретных задач использует разные **физические модели**. Простейшими физическими моделями являются материальная точка (МТ) и абсолютно твердое тело (АТТ).

Всякое тело имеет определенные размеры. Если размеры тела малы по сравнению с расстоянием до других тел, то данное тело можно считать материальной точкой.

Материальная точка (МТ) — тело, размерами которого в условиях данной задачи можно пренебречь, считая, что вся масса тела сосредоточена в одной точке. Так можно поступать, например, при изучении движения планет вокруг Солнца.

Макроскопическое тело — тело, образованное большим числом частиц.

Абсолютно твердое тело — тело, деформациями которого в условиях данной задачи можно пренебречь.

Движение тела, при котором все части тела движутся одинаково, называется **поступательным**.

Поступательно движутся, например, кабины в аттракционе «Колесо обозрения», автомобиль на прямолинейном участке пути и т. д. При поступательном движении тела его также можно рассматривать как материальную точку.

Перемещаясь с течением времени из одной точки пространства в другую, тело (материальная точка) описывает некоторую линию.

Траекторией движения тела называется линия, которую тело описывает при своем движении.

Положение материальной точки в пространстве можно определять с помощью закона движения — зависимости координат от времени:

$$x = f(t), y = f(t), z = f(t). \quad (1.1)$$

Такой способ описания движения называется **координатным**, а уравнения (1.1) — кинематическими уравнениями движения, заданными в координатной форме.

Исключив в соотношениях (1.1), записанных для движения МТ на плоскости xOy , зависимость от времени, получим уравнение траектории:

$$y = f(x). \quad (1.2)$$

Положение интересующей нас точки A в пространстве можно задать при помощи радиус-вектора \vec{r} .

Радиус-вектор \vec{r} — направленный отрезок, проведенный из некоторой неподвижной точки O , выбранной за начало системы отсчета, в интересующую нас точку A (рис. 1.1).

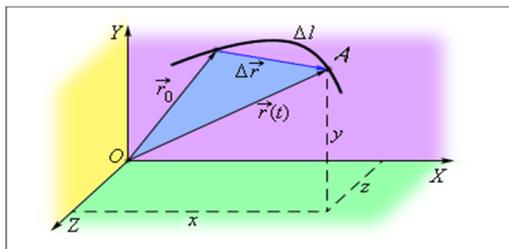


Рис. 1.1. Изображение движения точки A с помощью радиус-вектора \vec{r} [11]

При движении точки A ее радиус-вектор \vec{r} меняется и по модулю, и по направлению: $\vec{r} = \vec{r}(t)$.

Способ описания движения МТ с помощью радиус-вектора называют **векторным способом**.

На рис. 1.1 радиус-векторы \vec{r}_0 и \vec{r}_t определяют положение точки A в начальный и конечный моменты времени движения.

Путь – расстояние между начальной и конечной точками движения, отсчитанное вдоль траектории (обозначается S или l). Путь – величина скалярная.

Перемещением ($\vec{s} = \Delta\vec{r} = \vec{r}_{ab}$) – называется направленный отрезок прямой, проведенный из начального положения в конечное (рис. 1.1 и 1.2):

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}_t - \vec{r}_0. \quad (1.3)$$

Перемещение – векторная величина, характеризующаяся числовым значением и определенным направлением.

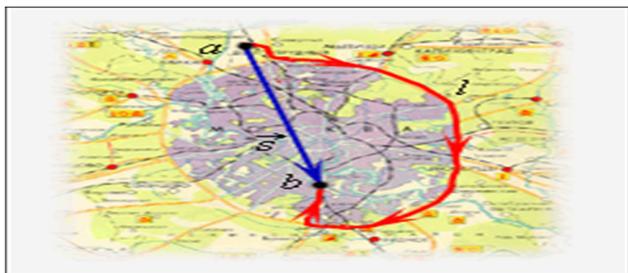


Рис. 1.2. Длина пройденного пути l , вектор перемещения $\vec{s} = \vec{r}_{ab}$ [11]

Если движение тела рассматривать в течение достаточно короткого промежутка времени, то вектор перемещения окажется направленным по касательной к траектории в данной точке, а его длина будет равна пройденному пути. При движении тела по криволинейной траектории модуль вектора перемещения всегда меньше пройденного пути (рис. 1.2).

Для характеристики неравномерного движения вводится понятие **вектора средней скорости**:

$$\vec{v}_{\text{ср}} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}. \quad (1.4)$$

Вектор средней скорости ($\vec{v}_{\text{ср}}$) направлен, так же как и вектор приращения радиус-вектора $\Delta\vec{r}$ (на рис. 1.3 изображен зеленым цветом).

Но больший интерес в физике представляет не средняя, а мгновенная скорость.

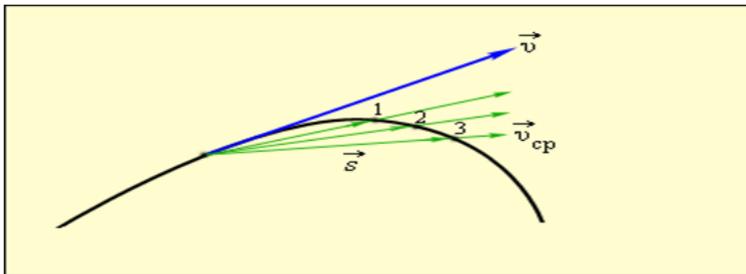


Рис. 1.3. Средняя и мгновенная скорости [11]

Мгновенная скорость определяется как предел, к которому стремится средняя скорость в течение бесконечно малого промежутка времени Δt :

$$\vec{v}_{\text{мгн}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}. \quad (1.5)$$

То есть мгновенная скорость — это скорость в данный момент времени (на рис. 1.3 изображена синим цветом).

В математике такой предел называют производной и обозначают $\frac{d\vec{r}}{dt} = \dot{\vec{r}}$.

Мгновенная скорость тела $\vec{v}_{\text{мгн}}$ направлена по касательной к траектории в любой её точке.

На рис. 1.3 зеленым цветом показаны векторы перемещения \vec{s}_1 , \vec{s}_2 , \vec{s}_3 за промежутки времени Δt_1 , Δt_2 , Δt_3 соответственно. Из рисунка видно различие между векторами средней и мгновенной скорости. При движении тела по криволинейной траектории его скорость изменяется по модулю и направлению.

Изменение вектора скорости \vec{v} за некоторый малый промежуток времени Δt задают с помощью приращения вектора скорости $\Delta \vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$.

Мгновенным ускорением \vec{a} тела называют предел отношения вектора изменения скорости $\Delta \vec{v}$ к малому промежутку времени Δt , в течение которого это изменение происходило:

$$\vec{a}_{\text{мгн}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}. \quad (1.6)$$

Направление вектора ускорения \vec{a} в случае криволинейного движения не совпадает с направлением вектора скорости \vec{v} .

Вектор ускорения \vec{a} можно разложить на две составляющие: касательное (тангенциальное) \vec{a}_τ и нормальное (центростремительное) \vec{a}_n ускорения (рис. 1.4).

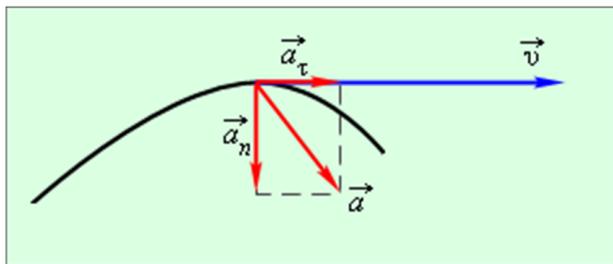


Рис. 1.4. Касательное, нормальное и полное ускорения [11]

Касательное (тангенциальное) ускорение характеризует быстроту изменения модуля скорости тела:

$$a_\tau = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}. \quad (1.7)$$

Вектор \vec{a}_τ направлен по касательной к траектории.

Нормальное (центростремительное) ускорение характеризует изменение скорости по направлению:

$$a_n = \frac{v^2}{R}. \quad (1.8)$$

Нормальное ускорение зависит от модуля скорости v и от радиуса окружности, по дуге которой тело движется в данный момент.

Вектор \vec{a}_n всегда направлен к центру окружности. Из рис. 1.4 видно, что модуль полного ускорения можно найти по теореме Пифагора:

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}. \quad (1.9)$$

Таким образом, основными физическими величинами в кинематике являются: пройденный путь l , перемещение \vec{S} , скорость \vec{v} , ускорение \vec{a} .

Простейшим видом механического движения является движение тела вдоль прямой линии **с постоянной по модулю и направлению скоростью**. Такое движение называется **равномерным**. При равно-

мерном движении тело за любые равные промежутки времени проходит равные пути.

Для кинематического описания равномерного прямолинейного движения координатную ось OX удобно расположить по линии движения. Положение тела при равномерном движении определяется заданием одной координаты x . Вектор перемещения и вектор скорости всегда направлены параллельно координатной оси OX . Поэтому перемещение и скорость при прямолинейном движении удобно спроектировать на ось OX и рассматривать их проекции как алгебраические величины.

При равномерном движении тела вдоль прямой модуль перемещения совпадает с пройденным путем.

Скорость равномерного прямолинейного движения:

$$v = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \text{const.} \quad (1.10)$$

Если $v > 0$, то тело движется в сторону положительного направления оси OX ; при $v < 0$ тело движется в противоположном направлении.

Зависимость координаты x от времени t (закон движения) выражается при равномерном прямолинейном движении линейным математическим уравнением:

$$x(t) = x_0 + vt, \quad (1.11)$$

где $v = \text{const}$ — скорость движения тела; x_0 — координата точки, в которой тело находилось в момент времени $t = 0$.

График закона движения $x(t)$ представляет собой прямую линию. Чем больше угол α , который образует прямая с осью времени, т. е. чем больше наклон графика (крутизна), тем больше скорость тела. Иногда говорят, что скорость тела численно равна тангенсу угла α наклона прямой $x(t)$.

В общем случае при движении тела его скорость изменяется и для описания движения используется ускорение, которое характеризует изменение скорости.

Равноускоренным движением называют такое движение, при котором вектор ускорения \vec{a} остается неизменным по модулю и направлению. Примером такого движения является движение камня, брошенного под некоторым углом к горизонту (без учета сопротив-

ления воздуха). В любой точке траектории ускорение камня равно ускорению свободного падения \vec{g} .

Таким образом, изучение равноускоренного движения сводится к изучению прямолинейного равноускоренного движения. В случае прямолинейного движения векторы скорости \vec{v} и ускорения \vec{a} направлены вдоль прямой движения. Поэтому скорость и ускорение в проекциях на направление движения можно рассматривать как алгебраические величины.

При равноускоренном прямолинейном движении скорость тела определяется формулой

$$v(t) = v_0 + at. \quad (1.12)$$

В этой формуле v_0 – скорость тела при $t = 0$ (начальная скорость), $a = \text{const}$ – ускорение. На графике скорости $v(t)$ эта зависимость имеет вид прямой линии. По наклону графика скорости может быть определено ускорение a тела.

Формула для перемещения s тела при равноускоренном движении на промежутке времени от 0 до t запишется в виде

$$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}. \quad (1.13)$$

Для нахождения координаты тела, движущегося равноускоренно вдоль какой-то оси, например, оси y , в любой момент времени t нужно к начальной координате y_0 прибавить перемещение за время t :

$$y = y_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}. \quad (1.14)$$

Выражение (1.14) называют **законом равноускоренного движения**.

При анализе равноускоренного движения иногда возникает задача определения перемещения тела по заданным значениям начальной v_0 и конечной v скоростей и ускорения a . Эта задача может быть решена с помощью уравнений, написанных выше, путем исключения из них времени t . Результат записывается в виде

$$s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}. \quad (1.15)$$

Из этой формулы можно получить выражение для определения конечной скорости v тела, если известны начальная скорость v_0 , ускорение a и модуль перемещения s :

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2as}. \quad (1.16)$$

Описание экспериментальной установки и метода измерений

Экспериментальная установка для исследования зависимости скорости тела от времени при равноускоренном движении состоит из штатива 1 с перекладиной 2, наклонной плоскости 3, каретки 4, электронного секундомера 5 с датчиками движения: верхним 6 и нижним 7 (рис. 1.5).

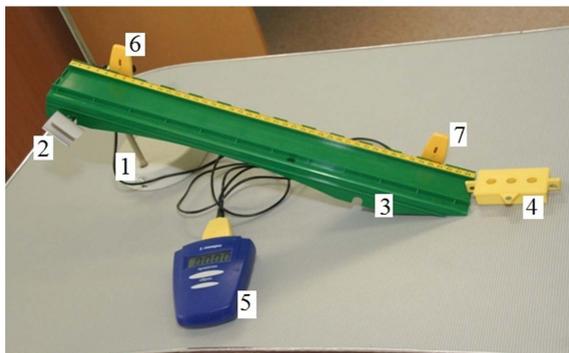


Рис. 1.5. Вид экспериментальной установки

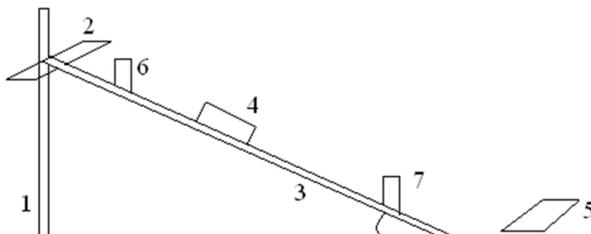


Рис. 1.6. Схема установки: 1 – штатив; 2 – перекладина; 3 – наклонная плоскость; 4 – каретка; 5 – электронный секундомер; 6 – верхний датчик движения; 7 – нижний датчик движения

Каретка, двигаясь по наклонной плоскости, совершает равноускоренное движение. Кинематические уравнения, описывающие равноускоренное движение:

$$\begin{aligned} S &= v_0 t + \frac{at^2}{2}; \\ v &= v_0 + at. \end{aligned} \quad (1.17)$$

Каретка начинает двигаться из состояния покоя. При прохождении верхнего датчика движения приобретенная кареткой начальная

скорость настолько мала, что ее можно принять равной нулю: $\vartheta_0 = 0$. Исходя из этого, уравнения движения примут вид:

$$\begin{aligned} S &= \frac{at^2}{2}; \\ \vartheta &= at. \end{aligned} \quad (1.18)$$

Выразив ускорение из формулы пути ($a = \frac{2S}{t^2}$) и подставив его в формулу скорости (1.2), получим рабочую формулу для расчета скорости каретки:

$$\vartheta = \frac{2S}{t}. \quad (1.19)$$

Изменяя путь, пройденный кареткой, и измеряя время движения, рассчитываем в каждом случае скорость в конце движения. Зная скорость, рассчитаем ускорение по формуле:

$$a = \frac{\vartheta}{t}. \quad (1.20)$$

Так как движение равноускоренное, т. е. $a = \text{const}$, находим среднее арифметическое значений ускорения, полученных в результате эксперимента.

Порядок выполнения работы

1. Соберите установку так, как показано на рис. 1.5 и 1.6. Установите наклонную плоскость под углом 30° к горизонту, используя транспортир. Если установка собрана, ознакомьтесь с ней.
2. Расположите датчики движения на максимальном расстоянии друг от друга.
3. По шкале, установленной на наклонной плоскости, определите расстояние между верхним и нижним датчиками и запишите его в отчет — это есть путь, который пройдет каретка. Запишите погрешность измерения пути. Она равна половине цены деления шкалы измерительной линейки.
4. Поместите каретку на самом верху наклонной плоскости, прижав к ограничителю, и отпустите ее без толчка. При прохождении верхнего и нижнего датчиков движения сработает секундомер. Запишите показание секундомера в бланк отчета. Это время движения каретки. Запишите погрешность измерения времени движения. Она равна единице разряда последней видимой цифры числа на шкале секундомера.

5. Рассчитайте скорость движения каретки по формуле $v = \frac{2S}{t}$. Запишите полученный результат в таблицу бланка отчета.
6. Рассчитайте ускорение по формуле $a = \frac{v}{t}$. Запишите полученный результат в таблицу бланка отчета.
7. Измените положение нижнего датчика, приблизив его к верхнему датчику на 5 см. Повторите пп. 3–6.
8. Повторите подобные действия еще несколько раз, каждый раз приближая нижний датчик к верхнему на 5 см.
9. Вычислите среднее значение ускорения по формуле $a_{\text{ср}} = \frac{\sum a_i}{N}$.
10. Постройте на миллиметровой бумаге по данным таблицы график зависимости скорости движения тела от времени $v = f(t)$.
11. На том же графике изобразите теоретическую зависимость скорости от времени равноускоренного движения тела из состояния покоя: $v = at$.
12. Сравните полученную экспериментальную зависимость с теоретической зависимостью.
13. Сделайте вывод по результатам лабораторной работы.

Содержание отчета

1. Титульный лист (прил. В).
2. Цель работы.
3. Приборы и принадлежности.
4. Схема установки.
5. Расчетные формулы:
 скорость движения тела:
 ускорение тела:
6. Результаты измерений и вычислений

№ опыта	Пройденный путь S , м	Время движения t , с	Скорость тела v , м/с	Ускорение тела a , м/с ²
1				
2				
3				
4				
5				
6				

7. Абсолютная погрешность пути $\Delta S =$
Абсолютная погрешность времени $\Delta t =$
8. Среднее ускорение: $a_{\text{ср}} =$
9. График зависимости скорости от времени движения (на миллиметровой бумаге) $v = f(t)$.
10. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Какое движение изучается в данной лабораторной работе? Какие исследуются физические величины?
2. Как в данной лабораторной работе измерить путь, пройденный телом? Какой прибор используется для этого? Какова абсолютная погрешность измерения пути?
3. Как в данной лабораторной работе измерить время движения тела? Какой прибор используется для этого? Какова абсолютная погрешность измерения времени?
4. Как в данной лабораторной работе определяется скорость движения тела?
5. Какой график надо построить в лабораторной работе?
6. Что изучает механика?
7. Какое движение называют механическим?
8. Что изучает кинематика?
9. В каких единицах в СИ измеряют: 1) промежуток времени; 2) длину пути; 3) скорость движения; 4) ускорение тела?
10. Дать определение мгновенной скорости (формулировка, формула, правило, по которому задается направление вектора, единица измерения).
11. Дать определение мгновенного ускорения (формулировка, формула, правило, по которому задается направление вектора, единица измерения).
12. Дать определение равномерного движения.
13. Дать определение равноускоренного движения.
14. Записать формулы пути и скорости для равномерного движения.
15. Записать формулы пути и скорости для равноускоренного движения.

Тест для контроля знаний

1. Механической системой называется

- 1) система тел, не обменивающаяся энергией с внешней средой
- 2) система материальных точек или тел, выделенных для рассмотрения
- 3) система тел, не обменивающихся энергией друг с другом
- 4) система, состоящая из тела отсчета, системы координат и часов

2. Равноускоренным называется движение, при котором

- 1) тело за любые равные промежутки времени проходит равные расстояния
- 2) путь, который проходит тело за любые равные промежутки времени, изменяется одинаково
- 3) скорость тела за любые равные промежутки времени изменяется одинаково
- 4) ускорение тела за любые равные промежутки времени изменяется одинаково

3. Выберите правильные единицы измерения физических величин.

- | | |
|-------------------|---------------------|
| 1) скорость v | а) м |
| 2) ускорение a | б) м/с |
| 3) путь S | в) м/с ² |
| 4) координата x | г) с |

4. Выберите формулу для расчета скорости равноускоренного движения.

- 1) $v(t) = S \cdot t$
- 2) $v(t) = S / t$
- 3) $v(t) = S + t$
- 4) $v(t) = v_0 + at$

5. Кинематикой называется раздел механики, в котором

- 1) изучается движение тел без учета причин, его вызывающих
- 2) изучается движение тел с учетом причин, его вызывающих
- 3) изучаются законы равновесия системы тел
- 4) изучается механическое движение

6. Материальная точка — это тело

- 1) образованное из большого числа частиц (атомов или молекул)
- 2) деформациями которого в условиях данной задачи можно пренебречь
- 3) обладающее массой, размерами которого в условиях данной задачи можно пренебречь
- 4) образованное из небольшого числа частиц (атомов или молекул)

7. Макроскопическое тело — это тело

- 1) образованное из большого числа частиц (атомов или молекул)
- 2) деформациями которого в условиях данной задачи можно пренебречь
- 3) размерами которого можно пренебречь в условиях данной задачи
- 4) деформациями которого в условиях данной задачи нельзя пренебречь

8. Твердое тело — это тело

- 1) образованное из большого числа частиц (атомов или молекул)
- 2) деформациями которого в условиях данной задачи можно пренебречь
- 3) размерами которого можно пренебречь в условиях данной задачи
- 4) деформациями которого в условиях данной задачи нельзя пренебречь

9. Поступательным называется движение тела, при котором

- 1) все части тела движутся одинаково
- 2) происходит изменение положения тела в пространстве относительно других тел с течением времени
- 3) тело за любые равные промежутки времени проходит равные расстояния
- 4) тело за любые равные промежутки времени проходит разные расстояния

10. Перемещением называется

- 1) направленный отрезок прямой, проведенный из начального положения тела в конечное
- 2) линия, которую описывает тело при своем движении

- 3) направленный отрезок прямой, проведенный из некоторой неподвижной точки O , выбранной за начало системы отсчета, в точку, где находится тело в данный момент времени
- 4) расстояние между начальной и конечной точками движения, отсчитанное вдоль траектории

11. Путь – это

- 1) направленный отрезок прямой, проведенной из начального положения тела в конечное
- 2) линия, которую описывает тело при своем движении
- 3) направленный отрезок прямой, проведенный из некоторой неподвижной точки O , выбранной за начало системы отсчета, в точку, где находится тело в данный момент времени
- 4) расстояние между начальной и конечной точками движения, отсчитанное вдоль траектории

12. Траекторией называется

- 1) направленный отрезок прямой, проведенный из начального положения тела в конечное
- 2) линия, которую описывает тело при своем движении
- 3) направленный отрезок прямой, проведенный из некоторой неподвижной точки O , выбранной за начало системы отсчета, в точку, где находится тело в данный момент времени
- 4) направленный отрезок прямой, проведенный из конечного положения тела в начальное

Лабораторная работа 2 ПРОВЕРКА ЗАКОНА БОЙЛЯ – МАРИОТТА (раздел «Молекулярная физика»)

Цель работы – изучение изотермического процесса и экспериментальная проверка законов Дальтона и Бойля – Мариотта.

Приборы и принадлежности: пластмассовый баллон объёмом V_1 со шлангом и зажимом; пластмассовый баллон объёмом V_2 со штуцером; тройник с двумя шлангами и зажимом; секундомер; груша-помпа; манометр; барометр.

Краткие теоретические сведения

Молекулярная физика – раздел физики, изучающий строение и свойства вещества исходя из молекулярно-кинетических представлений, которые основываются на том, что все тела (твёрдые, жидкие и газообразные) состоят из молекул. Молекулы – это мельчайшие обособленные частицы. Молекулы находятся в непрерывном хаотическом движении, интенсивность которого зависит от температуры тела. Такое движение называется тепловым.

Непосредственным доказательством существования теплового движения молекул служит открытое в 1827 году английским физиком Робертом Броуном движение взвешенных в жидкости твёрдых макрочастиц, которое не зависит от внешних причин и обусловлено молекулярным движением в веществе. Движение взвешенных частиц, совершающееся под влиянием беспорядочных ударов молекул жидкости, называется **броуновским**.

Газообразное состояние вещества – простейшее среди всех других.

Газ – такое агрегатное состояние вещества, в котором силы межмолекулярного взаимодействия настолько малы, что не могут удержать молекулы друг около друга и они в процессе теплового движения разлетаются во все стороны.

Поэтому газ не имеет собственной формы и объёма, а всегда принимает форму предоставленного ему сосуда, стремясь равномерно распределиться по всему объёму. Расстояния между молекулами газа относительно велики, и газ легко сжимается под действием внешнего воздействия (давления).

Идеальным газом называется газ, у которого:

- 1) собственный объём молекул газа пренебрежимо мал по сравнению с объёмом сосуда;
- 2) между молекулами отсутствуют силы взаимодействия;
- 3) столкновения молекул газа между собой и со стенками сосуда абсолютно упругие.

Идеальный газ — это абстракция, но очень удобная модель для изучения реальных газов.

Термодинамической системой называется совокупность макроскопических тел, взаимодействующих и обменивающихся энергией как между собой, так и с другими (внешними) телами.

Состояние газа характеризуется величинами, называемыми термодинамическими параметрами состояния.

Параметры состояния — совокупность физических величин, характеризующих свойства термодинамической системы.

Обычно в качестве параметров состояния выбирают термодинамическую температуру (T), давление (p), объём (V), массу газа (m), молярную массу газа (M).

Моль — это количество вещества, в котором содержится число частиц (атомов, молекул), равное числу атомов в 12 г изотопа углерода ^{12}C .

Количество молей (количество вещества) обозначают ν .

Число частиц, содержащихся в 1 моле вещества при нормальных условиях, называется **постоянной Авогадро** (N_A). Она равна $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$.

Нормальные условия: $T = 273$ К, $p = 1,013 \cdot 10^5$ Па.

Массу одного моля называют **молярной массой** и обозначают M . Единица измерения молярной массы $[M] = 1$ кг/моль.

Связь между массой, молярной массой и количеством вещества ν определяется соотношением

$$\nu = \frac{m}{M}. \quad (2.1)$$

Обозначим через m_0 массу одной молекулы (атома). Тогда молярная масса:

$$M = m_0 N_A. \quad (2.2)$$

Массу одной молекулы можно найти, разделив массу вещества на количество молекул в нём:

$$m_0 = \frac{m}{N} = \frac{m}{\nu N_A} = \frac{M}{N_A}. \quad (2.3)$$

Плотностью вещества называется величина, равная массе единицы объёма вещества:

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (2.4)$$

Единица измерения плотности газа $[\rho] = 1 \text{ кг/м}^3$.

Температура – это физическая величина, характеризующая состояние термодинамического равновесия макроскопической системы.

В настоящее время в нашей стране принято использование только двух температурных шкал – **термодинамической** и **Международной практической**, градуированных соответственно в кельвинах (К) и в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$).

В **Международной практической** шкале температуры замерзания и кипения воды при давлении $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ соответственно равны 0 и 100°C (**реперные точки**).

Между термодинамической температурой и температурой по шкале Цельсия связь задана соотношением:

$$T = t^{\circ}\text{C} + 273,15. \quad (2.5)$$

Анализ процессов показывает, что температура $T = 0 \text{ К}$ недостижима, хотя приближение к этому значению сколь угодно близко возможно.

Давление газа $p = \frac{F}{S}$, где F – действующая сила; S – площадь поверхности. Единица измерения давления $[p] = 1 \text{ Па}$.

Объём V , единица измерения $[V] = 1 \text{ м}^3$.

Параметры состояния системы могут изменяться. Переход газа из одного состояния в другое называется **термодинамическим газовым процессом**, или просто **процессом**.

Экспериментальные законы, описывающие поведение идеальных газов, – это законы Бойля – Мариотта, Гей-Люссака, Шарля.

Закон Бойля – Мариотта: для данной массы газа при постоянной температуре произведение давления газа на его объём есть величина постоянная:

$$pV = \text{const}, \text{ при } T = \text{const}, m = \text{const}. \quad (2.6)$$

Процесс, протекающий при постоянной температуре, называется **изотермическим**.

Кривая, изображающая зависимость между величинами p и V , характеризующими свойства вещества при постоянной температуре, называется **изотермой**. В координатах p и V изотерма имеет вид гиперболы, расположенной тем дальше от координатных осей, чем выше температура процесса (рис. 2.1).

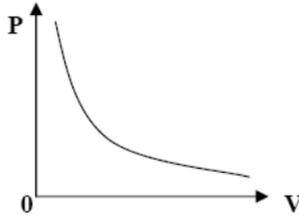


Рис. 2.1. График изотермического процесса

Закон Гей-Люссака: объём данной массы при постоянном давлении изменяется линейно с температурой:

$$V = V_0(1 + \alpha t^\circ), \text{ при } p = \text{const}, m = \text{const}, \quad (2.7)$$

где V_0 — объём при температуре 0°C , α — температурный коэффициент, $\alpha = \frac{1}{273,15} \text{K}^{-1}$.

Если ввести в формулу (2.7) термодинамическую температуру, то придем к соотношению

$$V = V_0 \alpha T. \quad (2.8)$$

Процесс, протекающий при постоянном давлении, называется **изобарным**.

На рис. 2.2 и 2.3 изображен изобарный процесс в координатах V/T и V/t° в виде прямой, называемой **изобарой**.

Закон Шарля: давление данной массы газа при постоянном объёме изменяется линейно с температурой:

$$p = p_0(1 + \alpha t^\circ), \text{ при } V = \text{const}, m = \text{const}. \quad (2.9)$$

Процесс, протекающий при постоянном объёме, называется **изохорным**.

Рис. 2.4 и 2.5 изображают этот процесс в координатах pT и pt° .

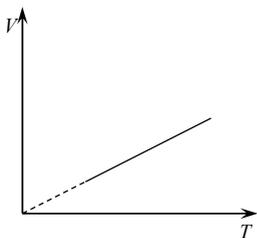


Рис. 2.2. График изобарного процесса в координатах VT

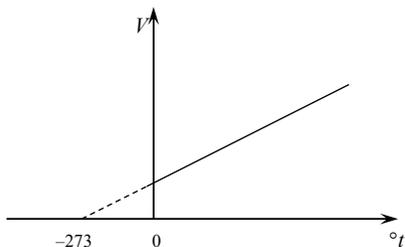


Рис. 2.3. График изобарного процесса в координатах Vt°

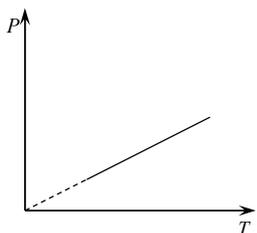


Рис. 2.4. График изохорного процесса в координатах pT

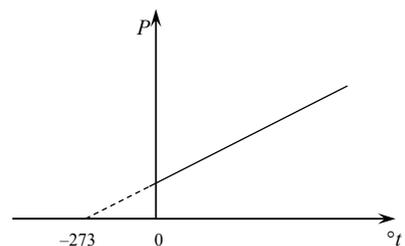


Рис. 2.5. График изохорного процесса в координатах pt°

На рис. 2.4 и 2.5 он изображается в виде прямой, называемой **изохорой**. Если ввести в формулу (2.9) термодинамическую температуру, то придем к соотношению

$$p = p_0 \alpha T, \quad (2.10)$$

где p_0 — давление при температуре 0°C .

Закон Авогадро: моли любых газов при одинаковых температуре и давлении занимают одинаковые объёмы.

При нормальных условиях этот объём равен

$$V_M = 22,41 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}.$$

Закон Дальтона: давление смеси идеальных газов равно сумме парциальных давлений (p_1, p_2, \dots, p_N) входящих в неё газов:

$$p_{\text{см}} = p_1 + p_2 + \dots + p_N. \quad (2.11)$$

Парциальным называется давление, которое создавал бы газ, входящий в состав смеси, если бы он полностью занимал объём, равный объёму смеси при той же температуре.

Французский физик и инженер Б. Клапейрон вывел уравнение состояния идеального газа, объединив законы Бойля – Мариотта, Гей-Люссака и Шарля, которое имеет вид:

$$\frac{PV}{T} = B = \text{const}, \quad (2.12)$$

где B – постоянная, различная для разных газов. Формула (2.12) носит название **уравнения Клапейрона**.

В 1875 году русский учёный Д.И. Менделеев объединил уравнение Клапейрона с законом Авогадро, отнеся уравнение к одному молю, и ввел общую для всех газов постоянную, которая обозначается R и называется **молярной газовой постоянной**, или **универсальной газовой постоянной**.

$$\text{Молярная газовая постоянная равна: } R = \frac{PV_M}{T} = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}.$$

Молярная газовая постоянная численно равна работе изобарного расширения, которую совершает один моль идеального газа при нагревании его на один кельвин.

«Доля» газовой постоянной, приходящейся на одну молекулу, называется постоянной Больцмана:

$$k = \frac{R}{N_A}. \quad (2.13)$$

Постоянная Больцмана обозначается буквой k , она равна:

$$k = \frac{R}{N_A} = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}.$$

Уравнение **Клапейрона – Менделеева**:

$$PV = \frac{m}{M} RT. \quad (2.14)$$

С учётом соотношения (2.13) уравнение Клапейрона – Менделеева принимает вид:

$$PV = NkT. \quad (2.15)$$

Разделим обе части уравнения (2.15) на объём газа V , получим:

$$P = \frac{N}{V} kT. \quad (2.16)$$

Число молекул, приходящееся на единицу объёма, называют **концентрацией** молекул:

$$n = \frac{N}{V}. \quad (2.17)$$

В СИ концентрация измеряется в $[n] = \text{м}^{-3}$.

Величину давления газа теперь можно выразить через концентрацию и температуру:

$$P = nkT. \quad (2.18)$$

Описание экспериментальной установки и метода измерений

Основные элементы экспериментальной установки (рис. 2.6): плита-основание 1, на которой расположены груша-помпа 2, баллоны 3 и 4, тройник 5 со шлангами и зажимами, манометр 6. Барометр, которым измеряется атмосферное давление, расположен на стене в лаборатории «Механика».

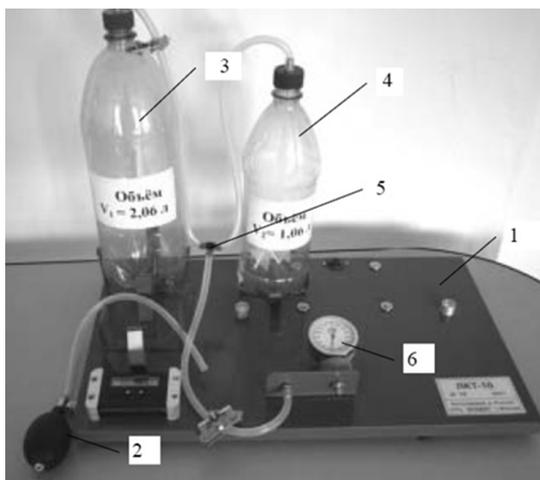


Рис. 2.6. Установка для проверки закона Бойля – Мариотта

Если сосуд объемом V_1 , в котором находится идеальный газ 1 под давлением p_1 , соединить с сосудом объемом V_2 с газом 2, находящимся под давлением p_2 , то при одинаковой и постоянной температуре сосудов установившееся в них давление смеси $p_{\text{см}}$ можно определить, используя законы Дальтона и Бойля – Мариотта.

В данной лабораторной работе нам необходимо определить давление смеси при изотермическом перетекании газа 1 из сосуда объемом V_1 в сосуд объемом $(V_1 + V_2)$, а также газа 2 из сосуда объемом V_2 в сосуд объемом $(V_1 + V_2)$.

Обозначим p_1 – первоначальное давление газа 1 в сосуде V_1 , p_2 – первоначальное давление газа 2 в сосуде V_2 , p'_1 – парциальное

давление газа 1 после их соединения в сосуде ($V_1 + V_2$); а p'_2 – парциальное давление газа 2 в сосуде ($V_1 + V_2$). По закону Бойля – Мариотта:

$$p_1 V_1 = p'_1 (V_1 + V_2), \quad (2.19)$$

$$p_2 V_2 = p'_2 (V_1 + V_2). \quad (2.20)$$

По закону Дальтона давление смеси газа 1 и газа 2 определяется по формуле

$$p_{\text{см}} = p'_1 + p'_2. \quad (2.21)$$

Сложив уравнения (2.19) и (2.20), получим:

$$p_1 V_1 + p_2 V_2 = (p'_1 + p'_2)(V_1 + V_2) \text{ или} \quad (2.22)$$

$$p_1 V_1 + p_2 V_2 = p_{\text{см}}(V_1 + V_2).$$

Выразим расчетное значение результирующего давления смеси:

$$p_{\text{см.расч}} = \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{V_1 + V_2}. \quad (2.23)$$

При выполнении эксперимента давление p_1 газа в первом сосуде можно определить по формуле

$$p_1 = \Delta p_1 + p_{\text{атм}}, \quad (2.24)$$

где Δp_1 – избыточное давление, которое можно измерить манометром; $p_{\text{атм}}$ – атмосферное давление, измеряется барометром.

Величину результирующего давления смеси, полученного в эксперименте, определим по формуле

$$p_{\text{см.эксп}} = \Delta p_{\text{эксп}} + p_{\text{атм}}, \quad (2.25)$$

где $\Delta p_{\text{эксп}}$ – избыточное давление, полученное в результате эксперимента, измеряется манометром.

Численные значения расчетного $p_{\text{см.расч}}$ и экспериментального $p_{\text{см.эксп}}$ давлений смеси должны быть близки. Это дает основание сделать вывод о выполнении законов Дальтона и Бойля – Мариотта.

Порядок выполнения работы

1. Соберите установку так, как показано на рис. 2.6. Если установка собрана, ознакомьтесь с ней.
2. Измерьте величину атмосферного давления $p_{\text{атм}}$ барометром. Определите абсолютную погрешность измерения давления, она равна цене деления шкалы барометра.
3. Подключите к тройнику грушу-помпу 2 (через шланг с зажимом), манометр 6 и баллон 3 объёмом V_1 . Накачайте в баллон воздух до избыточного давления порядка 180–220 мм рт. ст. Подождите 1–2 минуты до установления комнатной температуры T_1 воздуха в баллоне и измерьте манометром избыточное давление Δp_1 . Результат измерения занесите в таблицу.
4. Затяните зажим и отсоедините грушу-помпу 2. Вместо помпы присоедините баллон 4 известного объёма V_2 , в котором находится воздух при атмосферном давлении $p_2 = p_{\text{атм}}$ и температуре T_2 . Для того чтобы температура T_2 равнялась комнатной температуре T_1 , старайтесь не держать баллон в руках, а берите его за горлышко.
5. Откройте зажим на шланге. Подождите еще 1–2 минуты и измерьте манометром давление $\Delta p_{\text{эксп}}$. Результат измерения занесите в таблицу.
6. Повторите измерения величин в пунктах 3–4 ещё несколько раз.
7. Найдите среднее значение избыточного давления в первом сосуде $\langle \Delta p_1 \rangle$.
8. Рассчитайте по формуле (2.24) величину среднего давления газа в первом сосуде: $\langle p_1 \rangle = \langle \Delta p_1 \rangle + p_{\text{атм}}$.
9. Рассчитайте по формуле (2.23) среднее давление смеси газов:
$$\langle p_{\text{см.расч}} \rangle = \frac{\langle p_1 \rangle V_1 + p_2 V_2}{V_1 + V_2}.$$
10. Найдите среднее значение избыточного давления смеси $\langle \Delta p_{\text{эксп}} \rangle$.
11. Найденное экспериментально среднее давление смеси рассчитайте по формуле (2.25): $\langle p_{\text{см.эксп}} \rangle = \langle \Delta p_{\text{эксп}} \rangle + p_{\text{атм}}$.
12. Запишите абсолютные погрешности измерений давлений $\Delta p_{\text{см.эксп}}$ и $\Delta p_{\text{см.расч}}$. Они равны цене деления манометра.
13. Запишите окончательный результат для прямого и косвенного измерения давления смеси:

$$p_{\text{см.эксп}} = (\langle p_{\text{см.эксп}} \rangle \pm \Delta p_{\text{см.эксп}}),$$

$$p_{\text{см.расч}} = (\langle p_{\text{см.расч}} \rangle \pm \Delta p_{\text{см.расч}}).$$

14. Сравните их и сделайте вывод о результатах работы.

Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Приборы и принадлежности.
4. Схема установки.
5. Расчетные формулы:

$$\text{давление воздуха в первом баллоне } \langle p_1 \rangle = \Delta p_1 + p_{\text{атм}};$$

$$\text{расчетное давление смеси } \langle p_{\text{см.расч}} \rangle = \frac{\langle p_1 \rangle V_1 + p_2 V_2}{V_1 + V_2};$$

$$\text{экспериментальное давление смеси } \langle p_{\text{см.эксп}} \rangle = \langle \Delta p_{\text{эксп}} \rangle + p_{\text{атм}}.$$

6. Исходные данные:

$$\text{атмосферное давление } p_{\text{атм}} =$$

$$\text{объем первого сосуда } V_1 =$$

$$\text{объем второго сосуда } V_2 =$$

$$\text{давление во втором сосуде } p_2 = p_{\text{атм}} =$$

7. Результаты измерений

№ опыта	Δp_1 , мм рт. ст.	$\Delta p_{\text{эксп}}$, мм рт. ст.
1		
2		
3		
4		
5		

$$\langle \Delta p_1 \rangle =$$

$$\langle \Delta p_{\text{эксп}} \rangle =$$

Абсолютная погрешность измерения атмосферного давления:

$$\Delta p_{\text{атм}} =$$

Абсолютная погрешность измерения давлений смеси:

$$\Delta p_{\text{см.эксп}} = \Delta p_{\text{см.расч}} =$$

8. Расчеты:

$$\text{давление газа в первом сосуде: } \langle p_1 \rangle =$$

$$\text{расчетное давление смеси газов: } \langle p_{\text{см.расч}} \rangle =$$

$$\text{экспериментальное давление смеси газов: } \langle p_{\text{см.эксп}} \rangle =$$

9. Окончательный результат:

$$p_{\text{см.эксп}} =$$

$$p_{\text{см.расч}} =$$

10. Вывод:

Контрольные вопросы

1. Какие физические законы и физические величины изучаются в данной лабораторной работе?
2. Каким прибором измеряется в лабораторной работе атмосферное давление? Чему равна его абсолютная погрешность?
3. Каким прибором измеряется в лабораторной работе избыточное давление в баллоне? Чему равна его абсолютная погрешность?
4. Как определяется давление воздуха в первом баллоне?
5. Чему равно давление воздуха во втором баллоне?
6. Что изучает молекулярная физика?
7. Какой газ называется идеальным?
8. Какой процесс называется изотермическим?
9. Сформулируйте и запишите закон Бойля – Мариотта.
10. Изобразите изотермический процесс на графиках в координатах pV , pT , VT .
11. Сформулируйте и запишите закон Дальтона.
12. Дайте определение парциального давления.
13. Запишите уравнение Клапейрона – Менделеева.
14. Запишите формулу связи между температурой по шкале Кельвина и температурой по шкале Цельсия.
15. Запишите единицы измерения в системе СИ основных параметров газа: давления, объема, температуры.

Тест для контроля знаний

1. Квазистатическим называется процесс

- 1) нагревания или охлаждения постоянной массы m газа в сосуде постоянного объема V
- 2) протекающий при неизменных давлении p и массе m газа
- 3) протекающий достаточно медленно, при котором система в любой момент близка к равновесному состоянию
- 4) протекающий при постоянной температуре T и массе m газа

2. Изотермическим называется процесс

- 1) нагревания или охлаждения постоянной массы m газа в сосуде постоянного объема V
- 2) протекающий при неизменных давлении p и массе m газа
- 3) протекающий достаточно медленно, при котором система в любой момент близка к равновесному состоянию
- 4) протекающий при постоянной температуре T и массе m газа

3. Изобарным называется процесс

- 1) нагревания или охлаждения постоянной массы m газа в сосуде постоянного объема V
- 2) протекающий при неизменных давлении p и массе m газа
- 3) протекающий достаточно медленно, при котором система в любой момент близка к равновесному состоянию
- 4) протекающий при постоянной температуре T и массе m газа

4. Изохорным называется процесс

- 1) нагревания или охлаждения постоянной массы m газа в сосуде постоянного объема V
- 2) протекающий при неизменных давлении p и массе m газа
- 3) протекающий достаточно медленно, при котором система в любой момент близка к равновесному состоянию
- 4) протекающий при постоянной температуре T и массе m газа

5. Какое из приведенных соотношений описывает закон Дальтона?

- 1) $pV = \text{const}, m = \text{const}$
- 2) $p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots$
- 3) $\frac{p}{T} = \text{const}, m = \text{const}$
- 4) $\frac{V}{T} = \text{const}, m = \text{const}$

6. Какое из приведенных соотношений описывает изобарный процесс?

- 1) $pV = \text{const}, m = \text{const}$
- 2) $p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots$
- 3) $\frac{p}{T} = \text{const}, m = \text{const}$
- 4) $\frac{V}{T} = \text{const}, m = \text{const}$

7. Какое из приведенных соотношений описывает изохорный процесс?

1) $pV = \text{const}, m = \text{const}$

2) $p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots$

3) $\frac{p}{T} = \text{const}, m = \text{const}$

4) $\frac{V}{T} = \text{const}, m = \text{const}$

8. Какое из приведенных соотношений описывает изотермический процесс?

1) $pV = \text{const}, m = \text{const}$

2) $p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots$

3) $\frac{p}{T} = \text{const}, m = \text{const}$

4) $\frac{V}{T} = \text{const}, m = \text{const}$

9. Какое из приведенных соотношений является уравнением Клапейрона – Менделеева?

1) $p = nkT$

2) $pV = \frac{m}{M}RT$

3) $\frac{p}{T} = \text{const}, m = \text{const}$

4) $\frac{V}{T} = \text{const}, m = \text{const}$

10. Выбрать верную формулу связи между газовыми постоянными.

1) $p = nkT$

2) $pV = \frac{m}{M}RT$

3) $R = kN_A$

4) $\frac{V}{T} = \text{const}, m = \text{const}$

Лабораторная работа 3

ИЗМЕРЕНИЕ ЭДС И ВНУТРЕННЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА ТОКА

(раздел «Электричество»)

Цель работы – научиться собирать электрические схемы, проводить измерения величин силы тока и напряжения, определять характеристики источника тока – ЭДС и внутреннее сопротивление.

Приборы и принадлежности: рабочее поле; источник ВУ-4М; ключ однополюсный на подставке; реостат на подставке; учебный амперметр; учебный вольтметр; соединительные провода.

Краткие теоретические сведения

Электрическим током называют упорядоченное движение носителей заряда. Для существования электрического тока в проводнике необходимо создать электрическое поле. За направление тока принято направление движения положительных свободных зарядов. Количественной мерой электрического тока служит сила тока.

Сила тока – скалярная физическая величина, равная отношению заряда, переносимого через поперечное сечение проводника за единицу времени:

$$I = \frac{q}{\Delta t} \quad (3.1)$$

Ток, сила и направление которого не изменяются с течением времени, называется **постоянным**.

В международной системе единиц (СИ) сила тока измеряется в амперах.

Единица силы тока 1 А устанавливается по магнитному взаимодействию двух параллельных проводников с током.

Постоянный электрический ток может быть создан только в замкнутой цепи, в которой свободные носители заряда циркулируют по замкнутым траекториям. Электрическое поле в разных точках такой цепи неизменно во времени. Следовательно, электрическое поле в цепи постоянного тока имеет характер «замороженного» электростатического поля. Но при перемещении электрического заряда в электростатическом поле по замкнутой траектории работа электрических сил равна нулю. Поэтому для существования посто-

янного тока необходимо наличие в электрической цепи устройства, способного создавать и поддерживать разность потенциалов на участках цепи за счет работы сил **неэлектростатического происхождения**. Такие устройства называют **источниками постоянного тока**.

Силы неэлектростатического происхождения, действующие на свободные носители заряда со стороны источников тока, называют **сторонними силами**. Их природа может быть различной. В гальванических элементах и аккумуляторах они возникают в результате электрохимических процессов, в генераторах постоянного тока — при движении проводников в магнитном поле.

Источник тока в электрической цепи играет ту же роль, что и насос, который необходим для перекачивания жидкости в замкнутой гидравлической системе. Под действием сторонних сил электрические заряды движутся внутри источника тока **против** сил электростатического поля, благодаря чему в замкнутой цепи может поддерживаться постоянный электрический ток. Перемещая электрические заряды по цепи постоянного тока, сторонние силы, действующие внутри источников тока, совершают работу.

Физическая величина, равная отношению работы сторонних сил ($A_{ст}$) при перемещении заряда q от отрицательного полюса источника к положительному, к величине этого заряда, называется **электродвижущей силой источника (ЭДС)**:

$$\varepsilon = \frac{A_{ст}}{q}. \quad (3.2)$$

Таким образом, ЭДС определяется работой, совершаемой сторонними силами при перемещении единичного положительного заряда. Электродвижущая сила, как и разность потенциалов, измеряется в вольтах (В).

При перемещении единичного положительного заряда по замкнутой цепи постоянного тока работа сторонних сил равна сумме ЭДС, действующих в этой цепи, а работа электростатического поля равна нулю.

Цепь постоянного тока можно разбить на отдельные участки. Те участки цепи, на которых не действуют сторонние силы (т. е. не содержащие источников тока), называются **однородными**, а участки цепи, содержащие источники тока, — **неоднородными**.

При перемещении единичного положительного заряда по некоторому участку цепи работу совершают как электростатические (кулоновские), так и сторонние силы.

Работа электростатических сил при перемещении заряда q по однородному участку цепи, отнесенная к модулю этого заряда, равна разности потенциалов:

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{\text{кул}}}{q}. \quad (3.3)$$

Напряжением U_{12} на неоднородном участке цепи называется физическая величина, равная суммарной работе кулоновских и сторонних сил при перемещении единичного заряда:

$$U_{12} = \frac{A_{\text{кул}} + A_{\text{ст}}}{q}. \quad (3.4)$$

Подставив в выражение (3.4) соотношения (3.2) и (3.3), получим формулу напряжения для неоднородного участка цепи:

$$U_{12} = (\varphi_1 - \varphi_2) + \varepsilon_{12}. \quad (3.5)$$

В случае однородного участка цепи напряжение равно разности потенциалов на этом участке.

Немецкий физик Г. Ом в 1826 г. экспериментально установил, что сила тока I , текущего по однородному металлическому проводнику (т. е. по проводнику, в котором не действуют сторонние силы), прямо пропорциональна напряжению U на концах проводника:

$$I = \frac{1}{R} U. \quad (3.6)$$

Величина R называется **электрическим сопротивлением**.

Проводник, обладающий электрическим сопротивлением, называется **резистором**.

Соотношение (3.6) выражает **закон Ома для однородного участка цепи**: сила тока в проводнике пропорциональна приложенному напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению проводника.

В СИ единица электрического сопротивления $[R] = 1$ Ом. Сопротивлением в 1 Ом обладает такой участок цепи, в котором при напряжении 1 В возникает сила тока в 1 А.

Графическая зависимость $I = f(U)$ силы тока I от напряжения U называется **вольтамперной характеристикой (ВАХ)**. Для однородного

участка цепи она изображается прямой линией, проходящей через начало координат.

Следует отметить, что существует много материалов и устройств, не подчиняющихся закону Ома, например, полупроводниковый диод и газоразрядная лампа. Даже у металлических проводников при достаточно больших силах тока наблюдается отклонение от закона Ома, так как электрическое сопротивление металлических проводников растет с повышением температуры.

Рассмотрим замкнутую цепь (рис. 3.1).

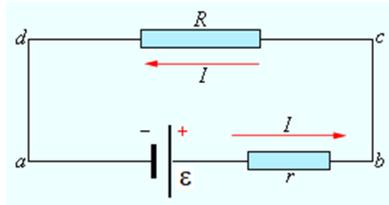


Рис. 3.1. Замкнутая цепь постоянного тока [11]

Закон Ома для замкнутой или полной цепи: сила тока в полной цепи равна электродвижущей силе источника, деленной на сумму сопротивлений однородного и неоднородного участков цепи

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}. \quad (3.7)$$

Сопротивление r неоднородного участка цепи, приведенного на рис. 3.1, является внутренним сопротивлением источника тока.

Если замкнуть точки a и b проводником, сопротивление которого мало по сравнению с внутренним сопротивлением источника, то в цепи потечет **ток короткого замыкания**, величину которого можно определить из соотношения:

$$I_{\text{кз}} = \frac{\varepsilon}{r}. \quad (3.8)$$

Сила тока короткого замыкания — максимальная сила тока, которую можно получить в цепи от данного источника с электродвижущей силой ε и внутренним сопротивлением r .

У источников с малым внутренним сопротивлением сила тока короткого замыкания может быть очень велика и вызывать разрушение электрической цепи или источника. Например, у свинцовых аккумуляторов, используемых в автомобилях, сила тока короткого

замыкания может составлять несколько сотен ампер. Особенно опасны короткие замыкания в осветительных сетях, питаемых от подстанций (тысячи ампер). Чтобы избежать разрушительного действия таких больших токов, в цепь включают предохранители или специальные автоматы защиты сетей. В ряде случаев для предотвращения опасных значений силы тока короткого замыкания к источнику тока последовательно присоединяют некоторое внешнее сопротивление. Тогда сопротивление r станет равным сумме внутреннего сопротивления источника и этого внешнего сопротивления и при коротком замыкании сила тока не оказывается чрезмерно большой.

Если внешняя цепь разомкнута, то $\Delta\varphi_{ba} = -\Delta\varphi_{ab} = \varepsilon$, т. е. разность потенциалов на полюсах разомкнутой батареи равна её ЭДС.

Если внешнее «нагрузочное» сопротивление R включено и сила тока через батарею равна I , разность потенциалов на её полюсах становится равной $\Delta\varphi_{ba} = \varepsilon - Ir$.

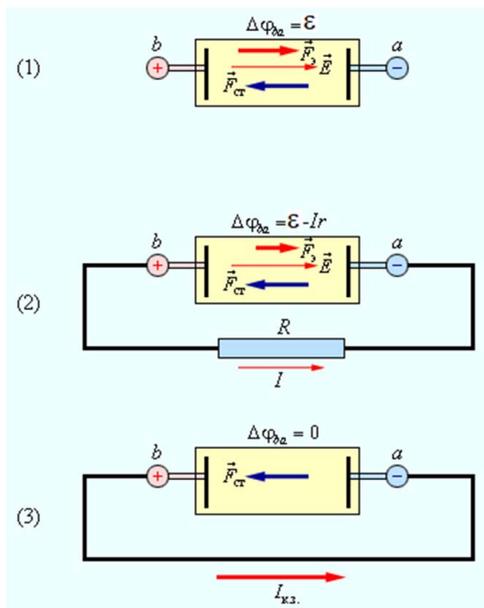


Рис. 3.2. Схематическое изображение источника постоянного тока: 1 – батарея разомкнута; 2 – батарея замкнута на внешнее сопротивление R ; 3 – короткое замыкание батареи [11]

На рис. 3.2. дано схематическое изображение источника постоянного тока с ЭДС, равной ε , и внутренним сопротивлением r при трех режимах: «холостой ход» 1, работа на нагрузку 2, режим короткого замыкания 3. На рисунках показаны напряженность электрического поля внутри батареи \vec{E} и силы, действующие на положительные заряды: \vec{F}_s — электрическая сила и $\vec{F}_{ст}$ — сторонняя сила. В режиме короткого замыкания электрическое поле внутри батареи исчезает.

Для измерения напряжения и силы тока в электрических цепях постоянного тока используются специальные приборы — вольтметры и амперметры.

Вольтметр предназначен для измерения разности потенциалов на его клеммах. Он подключается **параллельно** участку цепи, на котором производится измерение разности потенциалов. Любой вольтметр обладает некоторым внутренним сопротивлением R_V . Для того чтобы он не вызывал заметного перераспределения токов при подключении к измеряемому участку цепи, его внутреннее сопротивление должно быть велико по сравнению с сопротивлением этого участка. Если в условиях данной цепи сопротивление вольтметра R_V можно принять равным бесконечности, то такой прибор называют идеальным вольтметром. Поскольку внутри вольтметра не действуют сторонние силы, разность потенциалов на его клеммах совпадает по определению с напряжением. Поэтому можно говорить, что вольтметр измеряет напряжение.

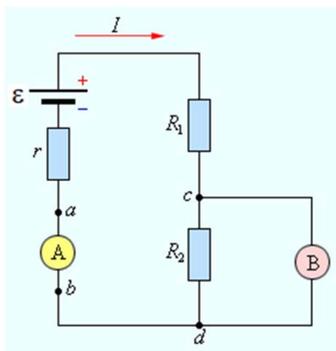


Рис. 3.3. Подключение амперметра (А) и вольтметра (В) в электрическую цепь [11]

Схема подключения вольтметра для измерения разности потенциалов на участке цепи cd показана на рис. 3.3.

Амперметр предназначен для измерения силы тока в цепи. Его включают **последовательно** в разрыв электрической цепи, чтобы через него проходил весь измеряемый ток. Амперметр тоже обладает некоторым внутренним сопротивлением R_A . В отличие от вольтметра, внутреннее сопротивление амперметра должно быть достаточно малым по сравнению с полным сопротивлением цепи, чтобы при включении амперметра сила тока в цепи не изменялась. Если параметры цепи позволяют считать сопротивление амперметра равным нулю, то такой прибор называют идеальным амперметром.

Описание экспериментальной установки и метода измерений

Экспериментальная установка (рис. 3.4) состоит из источника питания (ВУ-4М) 1, ключа 2, амперметра 3, вольтметра 4, реостата 5, соединительных проводов 6.

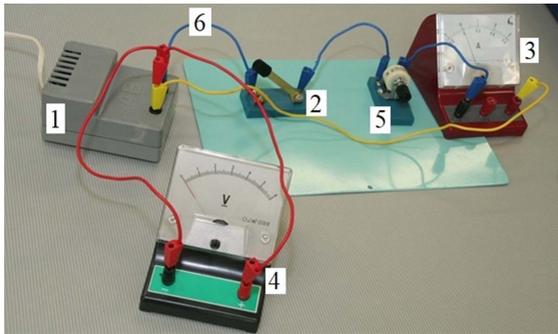


Рис. 3.4. Экспериментальная установка

Источник тока характеризуется электродвижущей силой ЭДС ε и внутренним сопротивлением r .

Если подключить к источнику резистор сопротивлением R_1 , по цепи потечет ток силой I_1 . Если подключить к источнику резистор сопротивлением R_2 , по цепи потечет ток силой I_2 .

Запишем значения сил токов I_1 и I_2 по закону Ома для замкнутой цепи:

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{R_1 + r}; \quad (3.9)$$

$$I_2 = \frac{\varepsilon}{R_2 + r}. \quad (3.10)$$

Выразим из уравнений (3.9) и (3.10) величину ЭДС:

$$\varepsilon = I_1(R_1 + r); \quad (3.11)$$

$$\varepsilon = I_2(R_2 + r). \quad (3.12)$$

Приравняв правые части формул (3.11) и (3.12), получим:

$$I_1(R_1 + r) = I_2(R_2 + r). \quad (3.13)$$

После преобразования формулы (3.13) запишем:

$$r(I_1 - I_2) = I_2R_2 - I_1R_1. \quad (3.14)$$

Отсюда выразим величину внутреннего сопротивления:

$$r = \frac{I_2R_2 - I_1R_1}{I_1 - I_2} = \frac{U_2 - U_1}{I_1 - I_2}. \quad (3.15)$$

Подставим (3.15) в (3.11), получим расчетную формулу для ЭДС:

$$\varepsilon = I_1(R_1 + r) = U_1 + \frac{(U_2 - U_1) I_1}{I_1 - I_2}. \quad (3.16)$$

Порядок выполнения работы

1. Соберите электрическую цепь так, как показано на рис. 3.4. Соедините последовательно источник тока, ключ, амперметр и реостат. Затем подключите параллельно к реостату вольтметр. Если установка собрана, ознакомьтесь с ней.
2. Плавно вращая ручку реостата, установите некоторое значение сопротивления R_1 . Измерьте амперметром величину силы тока I_1 в цепи и вольтметром напряжение U_1 на реостате.
3. Поворачивая ручку реостата, установите другое значение сопротивления R_2 . Снова измерьте амперметром величину силы тока I_2 в цепи и вольтметром напряжение U_2 на реостате.
4. Рассчитайте абсолютную погрешность измерения амперметра по формуле $\Delta I = \frac{\gamma \cdot I_{\text{пред}}}{100}$, где γ – класс точности амперметра; $I_{\text{пред}}$ – предельное значение силы тока.
5. Рассчитайте абсолютную погрешность измерения вольтметра по формуле $\Delta U = \frac{\gamma \cdot U_{\text{пред}}}{100}$, где γ – класс точности вольтметра; $U_{\text{пред}}$ – предельное значение напряжения.

6. Запишите окончательный результат измерения силы тока и напряжения.
7. Рассчитайте внутреннее сопротивление источника тока по формуле

$$r = \frac{U_2 - U_1}{I_1 - I_2}.$$

8. Рассчитайте ЭДС источника тока по формуле

$$\varepsilon_{\text{расч}} = U_1 + \frac{(U_2 - U_1) I_1}{I_1 - I_2}.$$

9. Разберите цепь.
10. Подключите непосредственно вольтметр к клеммам источника тока. Запишите результат прямого измерения ЭДС источника тока $\varepsilon_{\text{изм}}$.
11. Абсолютную погрешность и расчетного, и прямого измерения ЭДС принять равной погрешности вольтметра $\Delta\varepsilon_{\text{расч}} = \Delta\varepsilon_{\text{изм}} = \Delta U$.
12. Запишите окончательный результат косвенного и прямого измерения ЭДС:

$$\varepsilon_{\text{расч}} = (< \varepsilon_{\text{расч}} > \pm \Delta\varepsilon_{\text{расч}});$$

$$\varepsilon_{\text{изм}} = (< \varepsilon_{\text{изм}} > \pm \Delta\varepsilon_{\text{изм}}).$$

13. Сравните результаты расчетного и непосредственно измеренного значения ЭДС.
14. Сделайте вывод по лабораторной работе.

Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Приборы и принадлежности.
4. Схема экспериментальной установки с указанием ее основных частей.
5. Расчетные формулы:
внутреннее сопротивление источника тока $r =$
ЭДС источника тока $\varepsilon =$
6. Результаты измерений:

$$\begin{array}{lll} I_1 = & I_2 = & \Delta I = \\ U_1 = & U_2 = & \Delta U = \end{array}$$

7. Расчет:

$$r =$$

$$\varepsilon_{\text{расч}} =$$

8. Измерение ЭДС вольтметром: $\varepsilon_{\text{изм}} =$

9. Окончательные результаты:

$$\varepsilon_{\text{расч}} = (\langle \varepsilon_{\text{расч}} \rangle \pm \Delta\varepsilon_{\text{расч}})$$

$$\varepsilon_{\text{изм}} = (\langle \varepsilon_{\text{изм}} \rangle \pm \Delta\varepsilon_{\text{изм}}).$$

10. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Какие физические законы и величины исследуются в данной лабораторной работе?
2. Каким прибором измеряется сила тока в цепи? Как рассчитать абсолютную погрешность измерения силы тока?
3. Каким прибором измеряется напряжение на реостате? Как рассчитать абсолютную погрешность измерения напряжения?
4. Как изменить сопротивление реостата?
5. Как непосредственно измерить ЭДС источника тока?
6. Дать определение электрического тока.
7. Дать определение постоянного электрического тока.
8. Дать определение силы тока. Записать формулу и единицу измерения.
9. Каковы условия существования электрического тока?
10. Какие устройства называются источниками постоянного тока?
11. Дать определение ЭДС источника тока. Записать формулу и единицу измерения.
12. Сформулировать и записать закон Ома для однородного участка цепи.
13. Сформулировать и записать закон Ома для замкнутой цепи.
14. Каким прибором измеряют силу постоянного тока в цепи? Как этот прибор подключают в цепь?
15. Каким прибором измеряют напряжение на участке цепи? Как этот прибор подключают в цепь?

Тест для контроля знаний

1. Как движутся свободные электроны в проводнике при наличии в нем электрического поля?

- 1) участвуют в тепловом хаотическом движении и дрейфуют к точкам с большим потенциалом
- 2) участвуют в тепловом хаотическом движении и дрейфуют к точкам с меньшим потенциалом
- 3) участвуют только в упорядоченном движении под действием электрического поля
- 4) участвуют только в тепловом хаотическом движении

2. Каким прибором измеряют силу постоянного тока в цепи?

- 1) вольтметром
- 2) амперметром
- 3) ваттметром
- 4) омметром

3. Каким прибором измеряют напряжение на участке цепи?

- 1) вольтметром
- 2) амперметром
- 3) ваттметром
- 4) омметром

4. Какова единица измерения напряжения на участке цепи?

- 1) ампер
- 2) ом
- 3) ватт
- 4) вольт

5. Какова единица измерения силы тока в цепи?

- 1) ампер
- 2) ом
- 3) ватт
- 4) вольт

6. Какова единица измерения электродвижущей силы источника тока?

- 1) ампер
- 2) ом

- 3) ватт
- 4) вольт

7. Сформулируйте закон Ома для полной цепи.

- 1) сила тока в проводнике пропорциональна приложенному напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению проводника
- 2) сила тока на участке цепи прямо пропорциональна ЭДС источника и обратно пропорциональна внутреннему сопротивлению источника
- 3) сила тока в полной цепи равна электродвижущей силе источника, деленной на сумму сопротивлений однородного и неоднородного участков цепи
- 4) сила тока в проводнике пропорциональна приложенному напряжению и обратно пропорциональна квадрату сопротивления проводника

8. Сформулируйте закон Ома однородного участка цепи.

- 1) сила тока в проводнике пропорциональна приложенному напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению проводника
- 2) сила тока на участке цепи прямо пропорциональна ЭДС источника и обратно пропорциональна внутреннему сопротивлению источника
- 3) сила тока в полной цепи равна электродвижущей силе источника, деленной на сумму сопротивлений однородного и неоднородного участков цепи
- 4) сила тока на участке цепи прямо пропорциональна ЭДС источника и обратно пропорциональна внешнему сопротивлению цепи

9. Напряжением на неоднородном участке цепи называется физическая величина, равная

- 1) работе сторонних сил $A_{\text{ст}}$ по перемещению единичного положительного заряда q
- 2) работе кулоновских сил $A_{\text{кул}}$ по перемещению единичного положительного заряда q
- 3) разности потенциалов на этом участке
- 4) суммарной работе кулоновских и сторонних сил $(A_{\text{кул}} + A_{\text{ст}})$ по перемещению единичного положительного заряда q

10. Электродвижущей силой источника тока называется физическая величина, равная

- 1) работе сторонних сил $A_{\text{ст}}$ по перемещению единичного положительного заряда q
- 2) работе кулоновских сил $A_{\text{кул}}$ по перемещению единичного положительного заряда q
- 3) разности потенциалов на этом участке
- 4) суммарной работе кулоновских и сторонних сил ($A_{\text{кул}} + A_{\text{ст}}$) по перемещению единичного положительного заряда q

11. Укажите соотношение, определяющее закон Ома для однородного участка цепи.

- 1) $I_{\text{кз}} = \frac{\varepsilon}{r}$
- 2) $I = \frac{U}{R}$
- 3) $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$
- 4) $I = \frac{R}{U}$

12. Укажите соотношение, определяющее закон Ома для неоднородного участка цепи.

- 1) $I_{\text{кз}} = \frac{\varepsilon}{r}$
- 2) $I = \frac{U}{R}$
- 3) $I = \frac{\Delta\varphi + \varepsilon}{R+r}$
- 4) $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$

13. Укажите соотношение, определяющее закон Ома для полной цепи.

- 1) $I_{\text{кз}} = \frac{\varepsilon}{r}$
- 2) $I = \frac{U}{R}$
- 3) $I = \frac{\Delta\varphi + \varepsilon}{R+r}$
- 4) $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$

14. Укажите соотношение, определяющее связь между напряжением и разностью потенциалов между концами неоднородного участка цепи.

1) $U_{12} = (\varphi_1 - \varphi_2) + \varepsilon_{12}$

2) $U_{12} = \Delta\varphi - \varepsilon_{12}$

3) $U_{12} = IR$

4) $U_{12} = (\varphi_1 - \varphi_2)$

15. Однородным называется участок цепи

1) содержащий источник тока

2) на котором не действуют сторонние силы

3) на котором действуют и сторонние, и электростатические силы

4) на котором действуют только силы электростатического происхождения

16. Неоднородным называется участок цепи

1) содержащий источник тока

2) на котором не действуют сторонние силы

3) на котором действуют только силы электростатического происхождения

4) на котором действуют и сторонние, и электростатические силы

17. Выберите формулу, верно выражающую величину количества теплоты, выделяющегося за время Δt на сопротивлении R .

1) $\Delta Q = R \cdot I^2 \cdot \Delta t$

2) $\Delta Q = I \cdot R^2 \cdot \Delta t$

3) $\Delta Q = I \cdot R \cdot \Delta t$

4) $\Delta Q = R \cdot I^3 \cdot \Delta t$

Лабораторная работа 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДУКЦИОННОГО ТОКА В ПРОВОЛОЧНОЙ КАТУШКЕ (раздел «Магнетизм»)

Цель работы – изучить явление электромагнитной индукции, научиться определять величину и направление индукционного тока.

Приборы и принадлежности: рабочее поле, миллиамперметр, магнит, катушка-моток, соединительные провода.

Краткие теоретические сведения

Явление электромагнитной индукции было открыто выдающимся английским физиком **М. Фарадеем** в 1831 г. Оно заключается в возникновении электрического тока в замкнутом проводящем контуре при изменении во времени магнитного потока, пронизывающего контур.

Магнитным потоком Φ через площадь S контура называют величину

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha, \quad (4.1)$$

где B – модуль вектора магнитной индукции; α – угол между вектором \vec{B} и нормалью \vec{n} к плоскости контура (рис. 4.1).

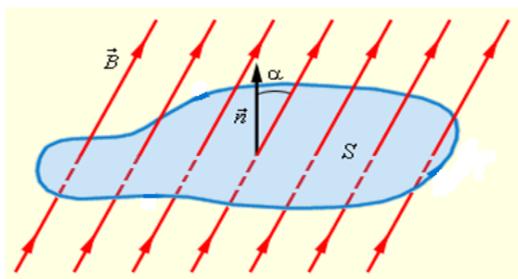


Рис. 4.1. Магнитный поток через замкнутый контур [11]

Единица магнитного потока в СИ называется вебер (Вб).

Магнитный поток в 1 Вб создается магнитным полем с индукцией 1 Тл, пронизывающим по направлению нормали плоский контур площадью 1 м²:

$$1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot \text{м}^2.$$

М. Фарадей экспериментально установил, что при изменении магнитного потока в проводящем контуре возникает ЭДС индук-

ции $\epsilon_{\text{инд}}$, равная скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром, взятой со знаком минус:

$$\epsilon_{\text{инд}} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \quad (4.2)$$

Эта формула выражает **закон электромагнитной индукции**.

Опыт показывает, что индукционный ток, возбуждаемый в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, всегда направлен так, что создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, вызывающего индукционный ток. Это утверждение, сформулированное в 1833 году, называется **правилом Ленца**.

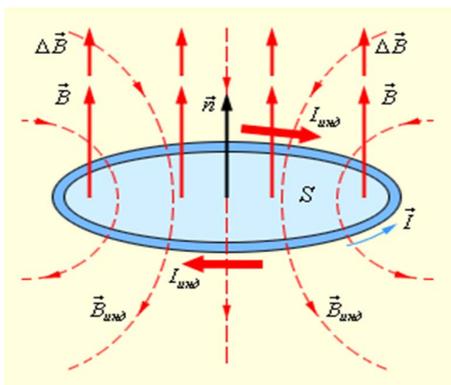


Рис. 4.2. Иллюстрация правила Ленца [11]

Рис. 4.2 иллюстрирует правило Ленца на примере неподвижного проводящего контура, который находится в однородном магнитном поле, модуль индукции которого увеличивается во времени. В этом примере $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} > 0$, $\epsilon_{\text{инд}} < 0$. Индукционный ток $I_{\text{инд}}$ течет навстречу выбранному положительному направлению \vec{l} обхода контура.

Правило Ленца отражает тот экспериментальный факт, что $\epsilon_{\text{инд}}$ и $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ всегда имеют противоположные знаки (знак «минус» в законе Фарадея).

Правило Ленца имеет глубокий физический смысл – оно выражает закон сохранения энергии.

Изменение магнитного потока, пронизывающего замкнутый контур, может происходить по двум причинам.

1. Магнитный поток изменяется вследствие перемещения контура или его частей в постоянном во времени магнитном поле. Это случай, когда проводники, а вместе с ними и свободные носители заряда движутся в магнитном поле. Возникновение ЭДС индукции объясняется действием силы Лоренца на свободные заряды в движущихся проводниках. Сила Лоренца играет в этом случае роль сторонней силы.

Рассмотрим в качестве примера возникновение ЭДС индукции в прямоугольном контуре, помещенном в однородное магнитное поле \vec{B} , перпендикулярное плоскости контура. Пусть одна из сторон контура длиной l скользит со скоростью \vec{v} по двум другим сторонам (рис. 4.3).

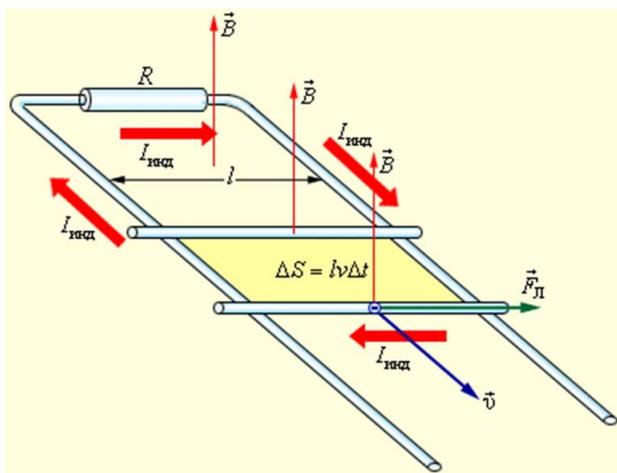


Рис. 4.3. Возникновение ЭДС индукции в движущемся проводнике. Указана составляющая силы Лоренца, действующей на свободный электрон [11]

На свободные заряды на этом участке контура действует сила Лоренца. Одна из составляющих этой силы, связанная с **переносной** скоростью \vec{v} зарядов, направлена вдоль проводника. Эта составляющая указана на рис. 4.3. Она играет роль **сторонней** силы. Ее модуль равен

$$F_L = e \cdot v \cdot B. \quad (4.3)$$

Работа силы F_L на пути l равна:

$$A = F_L \cdot l = e \cdot v \cdot B \cdot l. \quad (4.4)$$

По определению ЭДС:

$$\varepsilon = \frac{A_{\text{ст}}}{q} = \frac{e \cdot \vartheta \cdot B \cdot l}{e} = \vartheta \cdot B \cdot l. \quad (4.5)$$

В других неподвижных частях контура сторонняя сила равна нулю. Соотношению для $\varepsilon_{\text{инд}}$ можно придать привычный вид. За время Δt площадь контура изменяется на $\Delta S = l \cdot \vartheta \cdot \Delta t$. Изменение магнитного потока за это время равно $\Delta \Phi = B \cdot l \cdot \vartheta \cdot \Delta t$. Следовательно,

$$\varepsilon_{\text{инд}} = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = \frac{B \cdot l \cdot \vartheta \cdot \Delta t}{\Delta t} = B \cdot l \cdot \vartheta. \quad (4.6)$$

Для того чтобы установить знак в формуле, связывающей $\varepsilon_{\text{инд}}$ и $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$, нужно выбрать согласованные между собой по правилу правого буравчика направление нормали \vec{n} и положительное направление обхода контура \vec{l} , как это сделано на рис. 4.1 и 4.2. Если это сделать, то легко прийти к формуле Фарадея.

Если сопротивление всей цепи равно R , то по ней будет протекать индукционный ток, равный $I_{\text{инд}} = \varepsilon_{\text{инд}} / R$.

За время Δt на сопротивлении R выделится джоулево тепло:

$$\Delta Q = R \cdot I^2 \Delta t = \frac{\vartheta^2 B^2 l^2}{R} \Delta t. \quad (4.7)$$

Возникает вопрос: **откуда берется эта энергия, ведь сила Лоренца работы не совершает!**

Этот парадокс возник потому, что мы учли работу только одной составляющей силы Лоренца. При протекании индукционного тока по проводнику, находящемуся в магнитном поле, на свободные заряды действует еще одна составляющая силы Лоренца, связанная с **относительной** скоростью движения зарядов вдоль проводника. Эта составляющая ответственна за появление силы Ампера \vec{F}_A . Для случая, изображенного на рис. 4.3, модуль силы Ампера равен $F_A = I \cdot B \cdot l$. Сила Ампера направлена навстречу движению проводника, поэтому она совершает отрицательную механическую работу. За время Δt эта работа равна

$$A_{\text{мех}} = -F \vartheta \Delta t = -I B l \vartheta \Delta t = -\frac{\vartheta^2 B^2 l^2}{R} \Delta t. \quad (4.8)$$

Движущийся в магнитном поле проводник, по которому протекает индукционный ток, испытывает **магнитное торможение**.

Полная работа силы Лоренца равна нулю. Джоулево тепло в контуре выделяется либо за счет работы внешней силы, которая поддерживает скорость проводника неизменной, либо за счет уменьшения кинетической энергии проводника.

2. Вторая причина изменения магнитного потока, пронизывающего контур, — изменение во времени магнитного поля при неподвижном контуре. В этом случае возникновение ЭДС индукции уже нельзя объяснить действием силы Лоренца. Электроны в неподвижном проводнике могут приводиться в движение только электрическим полем. Это электрическое поле порождается изменяющимся во времени магнитным полем. Работа этого поля при перемещении единичного положительного заряда по замкнутому контуру равна ЭДС индукции в неподвижном проводнике. Следовательно, электрическое поле, порожденное изменяющимся магнитным полем, **не является потенциальным**. Его называют **вихревым электрическим полем**. Представление о вихревом электрическом поле было введено в физику великим английским физиком Дж. Максвеллом в 1861 году.

Явление электромагнитной индукции в неподвижных проводниках, возникающее при изменении окружающего магнитного поля, также описывается формулой Фарадея.

Таким образом, явления электромагнитной индукции в движущихся и неподвижных проводниках **протекают одинаково**, но физическая причина возникновения индукционного тока оказывается в этих двух случаях различной: в случае движущихся проводников ЭДС индукции обусловлена силой Лоренца; в случае неподвижных проводников ЭДС индукции является следствием действия на свободные заряды вихревого электрического поля, возникающего при изменении магнитного поля.

В обоих случаях в замкнутом контуре, пронизываемом линиями вектора \vec{B} , возникает индукционный ток.

Для определения направления индукционного тока необходимо сделать следующее:

1. Определить направление вектора магнитной индукции поля, пронизывающего замкнутый контур \vec{B}_0 .
2. Определить скорость изменения магнитного потока, сцепленного с замкнутым контуром:

если $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} > 0$, то \vec{B}_0 и $\vec{B}_{\text{инд}}$ сонаправлены;

если $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} < 0$, то \vec{B}_0 и $\vec{B}_{\text{инд}}$ противоположны.

3. Зная направление $\vec{B}_{\text{инд}}$, по правилу правого винта определить направление индукционного тока в контуре.

Описание установки и метода измерений

Экспериментальная установка состоит из рабочего поля 1, миллиамперметра 2, магнита 3, катушки-мотка 4, соединительных проводов 5.

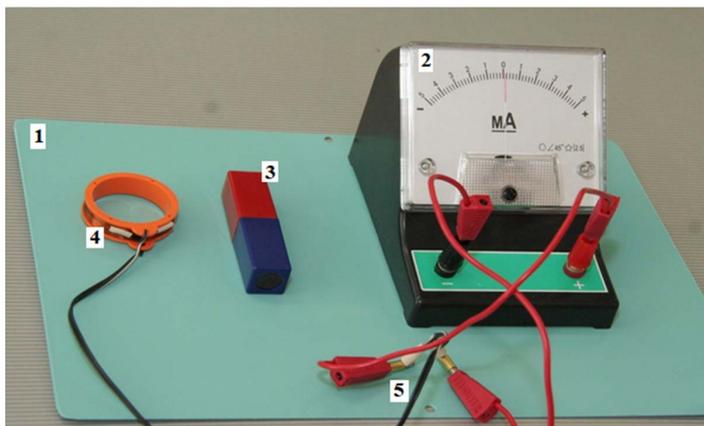


Рис. 4.4. Экспериментальная установка: 1 – рабочее поле; 2 – миллиамперметр; 3 – магнит; 4 – катушка-моток; 5 – соединительные провода

На данной установке демонстрируется явление электромагнитной индукции. Источником магнитного поля в лабораторной работе является полосовой магнит. Когда магнит приближают к катушке, уменьшается расстояние между источником магнитного поля и катушкой, а значит, увеличивается магнитная индукция $B \sim \frac{1}{r^2}$. При изменении магнитной индукции поля изменится магнитный поток, пронизывающий площадь S , ограниченную катушкой согласно определению магнитного потока: $\Phi = B \cdot S \cdot \cos \varphi$. Это приводит, согласно явлению электромагнитной индукции, к появлению в витках катушки индукционного тока, величину и направление которого мы наблюдаем с помощью амперметра. В лабораторной ра-

боте требуется определить, как изменяются величина и направление индукционного тока в зависимости от скорости введения магнита в катушку, от того, вводится магнит в катушку или выводится, от того, каким полюсом мы вводим магнит в катушку.

Порядок выполнения работы

1. Соберите электрическую цепь из последовательно соединенных катушки-мотка и миллиамперметра, как показано на рис. 4.4. Если установка собрана, ознакомьтесь с ней.
2. Постоянный магнит расположите вертикально. Быстро введите вертикально расположенный постоянный магнит северным полюсом в катушку-моток. Зафиксируйте направление отклонения стрелки миллиамперметра и величину тока при максимальном отклонении стрелки при введении магнита.
3. Снова быстро введите вертикально расположенный постоянный магнит северным полюсом в катушку-моток. Только теперь зафиксируйте направление отклонения стрелки миллиамперметра и величину тока при максимальном отклонении стрелки при выведении магнита из катушки.
4. Затем нужно провести наблюдение при более медленном введении вертикально расположенного магнита тем же северным полюсом в катушку-моток. Зафиксируйте направление отклонения стрелки миллиамперметра и величину тока при максимальном отклонении стрелки в момент введения и выведения магнита.
5. Поверните постоянный магнит и уже южным полюсом вводите вертикально расположенный магнит в катушку-моток и зафиксируйте направление отклонения стрелки миллиамперметра.
6. Сформулируйте вывод по результатам проведенных опытов.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Приборы и принадлежности.
3. Схема установки.
4. Результаты измерений и наблюдений.

Опыт 1: быстрое введение магнита северным полюсом в катушку.

$I_1 =$

Направление индукционного тока:

14. Как может изменяться магнитный поток, пронизывающий замкнутый проводящий контур?
15. Сформулируйте правило Ленца для определения направления индукционного тока.

Тест для контроля знаний

1. Магнитным потоком Φ через площадь S контура называется величина, равная

- 1) произведению модуля вектора магнитной индукции на площадь контура и синуса угла α между вектором \vec{B} и нормалью \vec{n} к плоскости контура
- 2) произведению модуля вектора магнитной индукции на площадь контура и косинуса угла α между вектором \vec{B} и нормалью \vec{n} к плоскости контура
- 3) произведению модуля вектора магнитной индукции на площадь контура
- 4) произведению модуля вектора магнитной индукции на площадь контура и тангенса угла α между вектором \vec{B} и нормалью \vec{n} к плоскости контура

2. Явлением электромагнитной индукции называется явление

- 1) изменения магнитного потока, сцепленного с контуром
- 2) возникновения силы Лоренца, действующей на заряженную частицу, движущуюся в магнитном поле
- 3) возникновения электрического тока в замкнутом проводящем контуре при изменении магнитного потока, пронизывающего площадь контура
- 4) возникновения силы Ампера, действующей на проводник с током, помещенный в магнитное поле

3. Правило Ленца утверждает, что

- 1) при изменении магнитного потока в проводящем контуре возникает ЭДС индукции, равная скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром
- 2) изменение магнитного потока, пронизывающего контур, может происходить вследствие перемещения контура или его частей в постоянном во времени магнитном поле

- 3) изменение магнитного потока, пронизывающего контур, может происходить вследствие изменения во времени магнитного поля при неподвижном контуре
- 4) индукционный ток, возбуждаемый в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, всегда направлен так, что создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, вызывающего индукционный ток

4. Единицей измерения магнитного потока в системе СИ является

- 1) 1 Тл
- 2) 1 Вб
- 3) 1 В
- 4) 1 А

5. Единицей измерения ЭДС электромагнитной индукции в системе СИ является

- 1) 1 Тл
- 2) 1 Вб
- 3) 1 В
- 4) 1 А

6. Выберите формулу, верно выражающую закон Фарадея для явления электромагнитной индукции.

- 1) $\epsilon_{\text{инд}} = -\Delta\Phi \cdot \Delta t$
- 2) $\epsilon_{\text{инд}} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \cdot \Delta t$
- 3) $\epsilon_{\text{инд}} = e \cdot \vartheta \cdot B$
- 4) $\epsilon_{\text{инд}} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

7. Выберите формулу, верно выражающую величину магнитного потока, пронизывающего площадь контура.

- 1) $\Phi = B \cdot S \cdot \sin \alpha$
- 2) $\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$
- 3) $\Phi = q \cdot \vartheta \cdot B$
- 4) $\Phi = \frac{B}{S} \cdot \Delta t$

8. Катушка замкнута на гальванометр. В каких из нижеперечисленных случаев в ней возникает электрический ток?

- 1) в катушку вдвигается постоянный магнит
- 2) в катушку вдвигается другая катушка, меньшего диаметра, по виткам которой течет постоянный ток
- 3) вторая катушка, расположенная внутри первой, замыкается на батарею

9. Проволочная рамка расположена между полюсами электромагнита так, что плоскость рамки перпендикулярна линиям магнитной индукции. В каких случаях в ней возникает индукционный ток?

- 1) при изменении силы тока в обмотках электромагнита
- 2) при удалении рамки из зазора между полюсами электромагнита
- 3) при повороте рамки относительно оси, лежащей в её плоскости

Лабораторная работа 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА (раздел «Колебания»)

Цель работы – изучить гармонические колебания, экспериментально определить период, циклическую частоту и полную механическую энергию гармонических колебаний математического маятника.

Приборы и принадлежности: экспериментальная установка, состоящая из штатива со шкалой и шарика, подвешенного на невесомой нерастяжимой нити.

Краткие теоретические сведения

Движения или процессы, характеризующиеся определенной повторяемостью во времени, называются **колебаниями**.

Примеры колебательных процессов: качание маятника часов, переменный электрический ток. В первом случае при колебательном движении маятника изменяется координата его центра масс, во втором – сила тока и напряжение в цепи.

В зависимости от физической природы колебаний их разделяют на **механические** и **электромагнитные**. Но различные по природе колебательные процессы описываются одинаковыми характеристиками и одинаковыми уравнениями. Таким образом, целесообразен единый подход к изучению колебаний различной физической природы.

Колебания называются **свободными** или **собственными**, если они совершаются за счет первоначально сообщенной энергии при последующем отсутствии внешних воздействий на колебательную систему.

Колебательной называется система, совершающая колебания.

Простейшим типом колебаний являются гармонические колебания.

Колебания, при которых колеблющаяся величина изменяется со временем по закону синуса или косинуса, называются **гармоническими**.

Рассмотрение гармонических колебаний важно по двум причинам:

1) колебания, встречающиеся в природе и технике, часто имеют характер, близкий к гармоническому;

2) различные периодические процессы можно представить как наложение гармонических колебаний.

Гармонические колебания описываются уравнением

$$S = S_{\max} \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \text{ или } S = S_{\max} \sin(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (5.1)$$

где S – колеблющаяся величина; $S_{\max} = A$ – амплитуда колебаний; ω_0 – круговая (циклическая) частота собственных гармонических колебаний; φ_0 – начальная фаза колебаний в момент времени $t = 0$; $(\omega_0 t + \varphi_0)$ – фаза колебаний в момент времени t .

Максимальное значение колеблющейся величины называется **амплитудой колебаний**.

Фаза колебаний определяет значение колеблющейся величины в данный момент времени.

Так как косинус изменяется от $(+1)$ до (-1) , то S изменяется от $(+A)$ до $(-A)$.

Периодом колебаний называется промежуток времени T , за который фаза получает приращение, равное 2π рад:

$$\omega_0(t + T) + \varphi_0 - (\omega_0 t + \varphi_0) = 2\pi. \quad (5.2)$$

Из соотношения (5.2) вытекает связь периода с циклической частотой:

$$T = 2\pi / \omega_0. \quad (5.3)$$

Запишем еще одно определение периода колебаний.

Период – промежуток времени, за который совершается одно полное колебание

$$T = \frac{t}{N}. \quad (5.4)$$

Единица измерения периода в системе СИ: $[T] = 1 \text{ с}$.

Частотой колебаний называется число полных колебаний, совершаемых в единицу времени:

$$\nu = \frac{N}{t}. \quad (5.5)$$

Единица измерения частоты в системе СИ: $[\nu] = 1 \text{ Гц}$.

Формулы связи частоты с периодом и циклической частотой колебаний:

$$\nu = \frac{1}{T}, \nu = \frac{\omega_0}{2\pi}, \omega_0 = 2\pi\nu. \quad (5.6)$$

Единица измерения циклической частоты в системе СИ:
 $[\omega_0] = 1 \text{ рад/с} = 1 \text{ с}^{-1}$.

Математическим маятником называется идеализированная система, состоящая из материальной точки, массы m , подвешенной на нерастяжимой невесомой нити и совершающей колебания под действием силы тяжести.

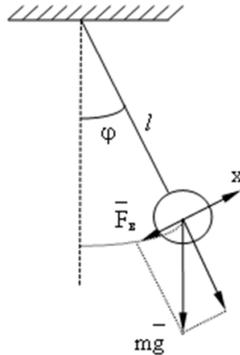


Рис. 5.1. Математический маятник

Выведем формулу для расчета величины полной механической энергии математического маятника.

Полная механическая энергия маятника складывается из суммы кинетической и потенциальной энергий:

$$W = W_k + W_p. \quad (5.7)$$

По определению кинетическая энергия:

$$W_k = \frac{mV^2}{2}, \quad (5.8)$$

а потенциальная энергия:

$$W_p = \frac{kX^2}{2}. \quad (5.9)$$

Для нахождения величины полной механической энергии необходимо найти скорость, с которой совершает колебания математический маятник.

Пусть гармонические колебания маятника совершаются по закону косинуса. Тогда уравнение гармонических колебаний математического маятника имеет вид:

$$S = S_{\max} \cos(\omega_0 t + \varphi_0). \quad (5.10)$$

Производная от этого уравнения даст формулу скорости:

$$V = \frac{dS}{dt} = -S_{\max} \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0). \quad (5.11)$$

Тогда кинетическая энергия гармонических колебаний математического маятника:

$$W_k = \frac{m \cdot V^2}{2} = \frac{m \cdot \omega_0^2}{2} \cdot S_{\max}^2 \sin^2(\omega_0 t + \varphi_0). \quad (5.12)$$

Потенциальная энергия гармонических колебаний маятника:

$$W_p = \frac{k \cdot x^2}{2} = \frac{m \cdot \omega_0^2}{2} \cdot S_{\max}^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0). \quad (5.13)$$

Обозначим в формулах (5.12) и (5.13) фазу колебаний в момент времени t :

$$\varphi = (\omega_0 t + \varphi_0).$$

Тогда полная энергия материальной точки:

$$W = W_k + W_p = \frac{m \cdot \omega_0^2}{2} S_{\max}^2 \cos^2 \varphi + \frac{m \cdot \omega_0^2}{2} S_{\max}^2 \sin^2 \varphi = \frac{m \cdot \omega_0^2 \cdot S_{\max}^2}{2}. \quad (5.14)$$

Так как $m = \text{const}$, $\omega_0 = \text{const}$, $S_{\max} = \text{const}$, то из соотношения (5.14) следует вывод: полная энергия свободных гармонических колебаний остаётся постоянной, так как для них справедлив **закон сохранения механической энергии**.

Описание экспериментальной установки и метода измерений

Изучение гармонических колебаний проводится при помощи математического маятника. Математическим маятником называется идеализированная система, состоящая из материальной точки массой m , подвешенной на нерастяжимой невесомой нити и колеблющейся под действием силы тяжести. Хорошим приближением математического маятника является тяжелый шарик, подвешенный на нерастяжимой нити (рис. 5.2, 5.3) длиной l . Нить укрепляется на вертикальной стойке 1 с нанесенной на боковой поверхности сантиметровой шкалой. Горизонтальная планка 2 , через отверстие в которой пропускается нить, может перемещаться по стойке при ослаблении стопорного винта 3 . При этом будет меняться длина маятника.

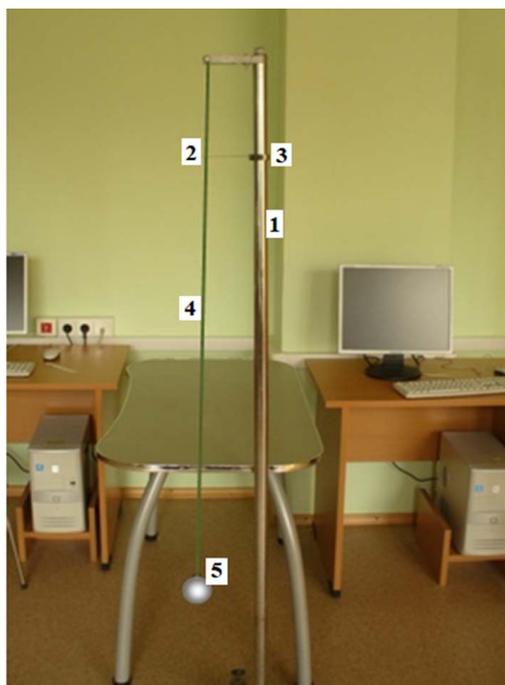


Рис. 5.2. Математический маятник

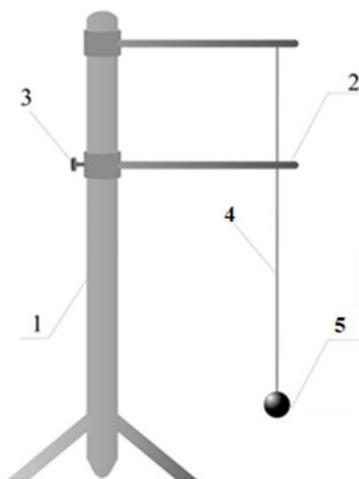


Рис. 5.3. Схема установки: 1 – вертикальная стойка; 2 – горизонтальная планка; 3 – стопорный винт; 4 – нить; 5 – шарик

В данной лабораторной работе определяются характеристики гармонических колебаний математического маятника: период, циклическая частота и полная механическая энергия колебаний.

Для определения периода измеряют секундомером время заданного количества колебаний, и по формуле $T = \frac{t}{N}$ рассчитывается период колебаний.

Циклическая частота колебаний маятника определяется из формулы, связывающей эту величину с периодом колебаний:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T},$$

где $\pi = 3,14$.

Полная механическая энергия колебаний маятника рассчитывается по формуле

$$W = \frac{m\omega_0^2 \cdot A^2}{2},$$

где m – масса шарика; A – амплитуда колебаний, ω_0 – циклическая частота.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с установкой.
2. Записать значение массы шарика (указано на установке).
3. Установить длину маятника $l = 1$ м, измерив линейкой расстояние от центра масс шарика до горизонтальной стойки.
4. Отклонить маятник на 5–10 см от вертикали. Это и есть величина амплитуды A колебаний математического маятника.
5. Отпустить шарик и определить секундомером время десяти полных колебаний.
6. Вычислить период колебаний по формуле: $T = \frac{t}{N}$, результаты вычислений занести в таблицу п.7 отчета.
7. Рассчитать величину циклической частоты колебаний маятника по формуле: $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$, результаты вычислений занести в таблицу п. 7 отчета.
8. Рассчитать величину полной механической энергии гармонических колебаний по формуле: $W = \frac{m\omega_0^2 \cdot A^2}{2}$, результаты вычислений занести в таблицу п. 7 отчета.
9. Уменьшить длину маятника l на 10 см, для этого ослабить стопорный винт 3 и переместить на 10 см вниз по стойке горизонтальную планку 2. Повторить измерения и расчеты (пп. 4–8).

10. Повторить п. 9 еще 3–5 раз.
11. Записать абсолютные погрешности измерений. Абсолютная погрешность длины маятника Δl и амплитуды колебаний ΔA равна цене деления измерительной линейки. Абсолютная погрешность времени колебаний Δt равна цене деления секундомера.
12. Проанализировать расчеты и сделать вывод о зависимости характеристик колебаний маятника от его длины.

Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Приборы и принадлежности.
4. Схема экспериментальной установки с указанием ее основных частей.
5. Расчетные формулы:
 период колебаний: $T =$
 циклическая частота: $\omega =$
 полная механическая энергия: $W_{\text{полн}} =$
6. Исходные данные:
 масса шарика $m =$
 число колебаний $N =$
7. Результаты измерений и вычислений:
 амплитуда $A =$
 абсолютная погрешность амплитуды $\Delta A =$
 абсолютная погрешность длины маятника $\Delta l =$
 абсолютная погрешность времени колебаний $\Delta t =$

№	l, м	t, с	T, с	$\omega_0, \text{с}^{-1}$	W _{полн} , Дж
1					
2					
3					
4					
5					

8. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Какое физическое явление и величины исследуются в данной лабораторной работе?
2. Как и каким прибором определяется амплитуда колебаний маятника? Какова абсолютная погрешность ее измерения?
3. Как и каким прибором измеряется длина математического маятника? Какова абсолютная погрешность ее измерения?
4. Как изменить длину математического маятника?
5. Как в данной лабораторной работе определяется период колебаний маятника?
6. Какой маятник называется математическим?
7. Какие движения или процессы называются колебаниями?
8. Какие колебания называются гармоническими?
9. Дать определение амплитуды колебаний.
10. Дать определение периода колебаний. Записать формулу и единицу измерения.
11. Дать определение линейной частоты колебаний. Записать формулу и единицу измерения.
12. Записать связь циклической частоты колебаний и периода.
13. Записать связь линейной частоты колебаний и периода.
14. Изобразить график гармонических колебаний $x(t)$.
15. Записать формулу полной механической энергии гармонических колебаний математического маятника.

Тест для контроля знаний

1. Колебаниями называются

- 1) процессы, которые характеризуются определенной повторяемостью во времени
- 2) процессы, протекающие без теплообмена с окружающей средой
- 3) процессы, повторяющиеся через равные промежутки времени

2. Амплитудой колебаний называют

- 1) смещение тела от положения равновесия в данный момент времени
- 2) максимальное значение колеблющейся величины
- 3) выражение, стоящее под знаком синуса или косинуса
- 4) определенные состояния системы, совершающей гармонические колебания

3. Фазой колебаний называют

- 1) смещение тела от положения равновесия в данный момент времени
- 2) максимальное значение колеблющейся величины
- 3) выражение, стоящее под знаком синуса или косинуса
- 4) определенные состояния системы, совершающей гармонические колебания

4. Периодом колебаний называют

- 1) промежуток времени, за который фаза колебаний получает приращение 2π рад
- 2) максимальное значение колеблющейся величины
- 3) выражение, стоящее под знаком синуса или косинуса
- 4) промежуток времени, за который совершается одно полное колебание

5. Какое выражение определяет закон гармонических колебаний величины x ?

- 1) $X = X_{\max} \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$
- 2) $X = X_{\max} \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$
- 3) $X'' + \omega_0^2 X = 0$
- 4) $X' = X_{\max} \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$

6. Какое выражение определяет максимальную скорость распространения гармонических механических колебаний?

- 1) $V_{\max} = \omega_0^2 X_{\max}$
- 2) $V_{\max} = \omega_0 X_{\max}$
- 3) $V = \omega_0^2 X_{\max} \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$
- 4) $V_{\max} = \omega_0 X_{\max}^2$

7. Какое выражение определяет максимальное ускорение колеблющейся величины?

- 1) $a_{\max} = \omega_0^2 \cdot X_{\max}$
- 2) $a_{\max} = \omega_0 X_{\max}$
- 3) $a = \omega_0 X_{\max} \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$
- 4) $a_{\max} = \omega_0 X_{\max}^2$

8. Единица измерения амплитуды колебаний в системе СИ равна

- 1) 1 рад
- 2) 1 м
- 3) $1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$
- 4) $1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$

9. Выберите выражение, верно определяющее скорость распространения гармонических механических колебаний, совершаемых по закону косинуса.

- 1) $V = X_{\max} \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$
- 2) $V = X_{\max} \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$
- 3) $V = -\omega_0 X_{\max} \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$
- 4) $V = \omega_0^2 X_{\max} \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$

10. Выберите выражение, верно определяющее скорость распространения гармонических механических колебаний, совершаемых по закону синуса.

- 1) $V = X_{\max} \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$
- 2) $V = X_{\max} \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$
- 3) $V = -\omega_0 X_{\max} \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$
- 4) $V = \omega_0 X_{\max} \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$

11. Укажите единицу измерения механической энергии, выраженную через основные единицы величин системы СИ.

- 1) 1 Дж
- 2) $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2}$
- 3) $\frac{\text{Н}}{\text{м}}$
- 4) $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}$

12. Укажите единицу измерения фазы колебаний тела, выраженную через основные единицы величин системы СИ.

- 1) 1 рад
- 2) 1 м

3) $\frac{M}{c^2}$

4) $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{c}$

13. Укажите верные формулы записи для расчета кинетической энергии гармонических колебаний, совершаемых по закону косинуса.

1) $W = \frac{m \cdot \omega_0^2 X_{\max}^2 \sin^2(\omega_0 t + \varphi_0)}{2}$

2) $W = \frac{k X_{\max}^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0)}{2}$

3) $W = m \cdot \omega_0^2 X_{\max}^2 \sin^2(\omega_0 t + \varphi_0)$

4) $W = \frac{X_{\max}^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0)}{2}$

14. Укажите верные формулы записи для расчета потенциальной энергии гармонических колебаний, совершаемых по закону косинуса.

1) $W = \frac{m \cdot \omega_0^2 X_{\max}^2 \sin^2(\omega_0 t + \varphi_0)}{2}$

2) $W = \frac{k X_{\max}^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0)}{2}$

3) $W = m \cdot \omega_0^2 X_{\max}^2 \sin^2(\omega_0 t + \varphi_0)$

4) $W = \frac{X_{\max}^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0)}{2}$

15. Укажите верную формулу записи для расчета полной энергии гармонических колебаний.

1) $W = \frac{m \cdot \omega_0^2 X_{\max}^2 \sin^2(\omega_0 t + \varphi_0)}{2}$

2) $W = \frac{k X_{\max}^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0)}{2}$

3) $W = \frac{m \cdot \omega_0 X_{\max}}{2}$

4) $W = \frac{m \cdot \omega_0^2 X_{\max}^2}{2}$

Лабораторная работа 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ И ОПТИЧЕСКОЙ СИЛЫ СОБИРАЮЩЕЙ ЛИНЗЫ

(раздел «Геометрическая оптика»)

Цель работы – определить фокусное расстояние и оптическую силу собирающей линзы.

Приборы и принадлежности: рабочее поле; источник тока; резистор; ключ; штатив с лампочкой, собирающая линза № 1, собирающая линза № 2, экран, линейка.

Краткие теоретические сведения

Еще до установления природы света были известны следующие основные законы оптики: закон прямолинейного распространения света в оптически однородной среде, закон отражения и закон преломления света.

Закон прямолинейного распространения света: свет в оптически однородной среде распространяется прямолинейно.

Доказательством этого закона является наличие тени с резкими границами от непрозрачных предметов при освещении их точечными источниками света (источники, размеры которых значительно меньше освещаемого предмета и расстояния до него). Однако тщательные эксперименты показали, что этот закон нарушается, если свет проходит сквозь очень малые отверстия, причем отклонение от прямолинейности распространения тем больше, чем меньше отверстия.

Если свет падает на границу раздела двух сред (двух прозрачных веществ), то падающий луч *I* (рис. 6.1) разделяется на два – отраженный *II* и преломленный *III*, направления которых задаются законами отражения и преломления.

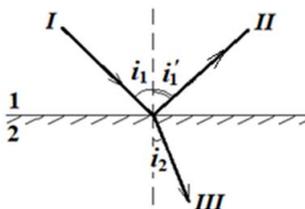


Рис. 6.1. Ход лучей через границу раздела двух сред

Закон отражения: отраженный луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и перпендикуляром, проведенным к границе раздела двух сред в точке падения; угол отражения равен углу падения:

$$i'_1 = i_1. \quad (6.1)$$

Закон преломления: луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр, проведенный к границе раздела в точке падения, лежат в одной плоскости; отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных сред:

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = n_{21}, \quad (6.2)$$

где n_{21} — **относительный показатель преломления** второй среды относительно первой. Индексы в обозначениях углов указывают, в какой среде (первой или второй) идет луч.

Относительный показатель преломления двух сред равен отношению их абсолютных показателей преломления:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (6.3)$$

Абсолютным показателем преломления среды называется величина, равная отношению скорости электромагнитных волн в вакууме к их фазовой скорости в среде:

$$n_{21} = \frac{c}{g}. \quad (6.4)$$

Учитывая выражение (6.3), закон преломления (6.2) можно записать в виде

$$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2. \quad (6.5)$$

Из симметрии выражения (6.5) вытекает обратимость световых лучей. Если обратить луч *III* (рис. 6.1), заставив его падать на границу раздела под углом i_2 , то преломленный луч в первой среде будет распространяться под углом i_1 , т. е. пойдет в обратном направлении вдоль луча *I*.

Если свет распространяется из среды с большим показателем преломления n_1 (оптически более плотной) в среду с меньшим показателем преломления n_2 (оптически менее плотную) ($n_1 > n_2$), например из стекла в воду, то, согласно (6.5):

$$\frac{\sin i_2}{\sin i_1} = \frac{n_1}{n_2} > 1. \quad (6.6)$$

Отсюда следует, что преломленный луч удаляется от нормали и угол преломления i_2 больше, чем угол падения i_1 (рис. 6.2). С увеличением угла падения увеличивается угол преломления до тех пор, пока при некотором угле падения ($i_1 = i_{\text{пр}}$) угол преломления не окажется равным $\frac{\pi}{2}$.

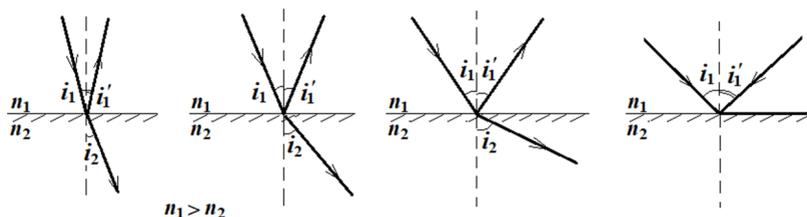


Рис. 6.2. Распространение света из оптически более плотной среды с большим показателем преломления n_1 в оптически менее плотную среду с меньшим показателем преломления n_2

Угол $i_{\text{пр}}$ называется **предельным углом**. При углах падения $i_1 > i_{\text{пр}}$ весь падающий свет полностью отражается (рис. 6.2).

По мере приближения угла падения к предельному интенсивность преломленного луча уменьшается, а отраженного — растёт. Если $i_1 = i_{\text{пр}}$, то интенсивность преломленного луча обращается в нуль, а интенсивность отраженного равна интенсивности падающего.

Таким образом, при углах падения в пределах от $i_{\text{пр}}$ до $\frac{\pi}{2}$ луч не преломляется, а полностью отражается в первую среду, причем интенсивности отраженного и падающего лучей одинаковы. Это явление называется **полным отражением**.

Предельный угол $i_{\text{пр}}$ определим из формулы (6.2) при подстановке в нее $i_2 = \frac{\pi}{2}$. Тогда:

$$\sin i_{\text{пр}} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}. \quad (6.7)$$

Уравнение (6.7) удовлетворяет значениям угла $i_{\text{пр}}$ при $n_2 \leq n_1$.

Следовательно, явление полного отражения имеет место только при падении света из среды оптически более плотной в среду оптически менее плотную.

Явление полного отражения используется в призмах полного отражения. Показатель преломления стекла равен $n = 1,5$, поэтому предельный угол для границы стекло — воздух равен

$$\alpha_{\text{пр}} = \arcsin\left(\frac{1}{1,5}\right) = 42^\circ.$$

При падении света на границу стекло – воздух при $i > 42^\circ$ всегда будет иметь место полное отражение. На рис. 6.3 показаны призмы полного отражения, позволяющие: повернуть луч на 90° (рис. 6.3, а); повернуть изображение (рис. 6.3, б); обернуть лучи (рис. 6.3, в). Такие призмы применяются в оптических приборах (например, биноклях, перископах), а также рефрактометрах, позволяющих определять показатели преломления тел (по закону преломления, измеряя $i_{\text{пр}}$, находим относительный показатель преломления двух сред, а также абсолютный показатель преломления одной из сред, если показатель преломления другой среды известен).

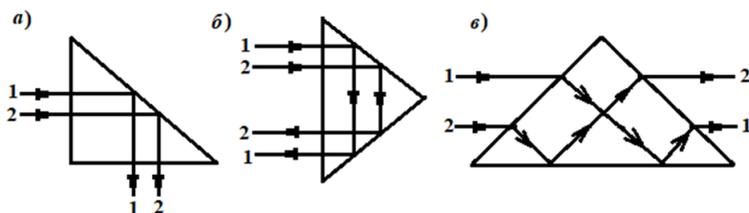


Рис. 6.3. Призмы полного отражения

Явление полного отражения используется также в **световодах (светопроводах)**, представляющих собой тонкие, произвольным образом изогнутые нити (волокна) из оптически прозрачного материала. В волоконных деталях применяют стеклянное волокно, световедущая жила (сердцевина) которого окружается стеклом – оболочкой из другого стекла с меньшим показателем преломления. Свет, падающий на торец световода под углами, большими предельного, претерпевает на поверхности раздела сердцевины и оболочки полное отражение и распространяется только по световедущей жиле.

Таким образом, с помощью световодов можно как угодно искривлять путь светового пучка. Диаметр световедущих жил лежит в пределах от нескольких микрометров до нескольких миллиметров. Для передачи изображений, как правило, применяются многожильные световоды. Вопросы передачи световых волн и изображений изучаются в специальном разделе оптики – **волоконной оптике**, возникшей в 50-е годы XX столетия. Световоды используются

в электронно-лучевых трубках, электронно-счетных машинах, для кодирования информации, в медицине (например, диагностика желудка), для целей интегральной оптики и т. д.

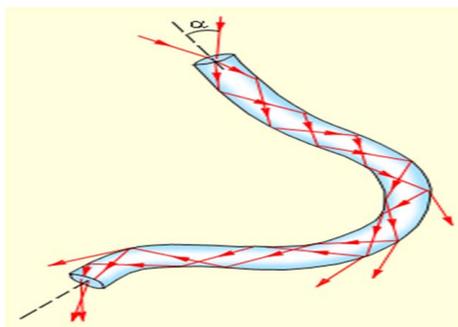


Рис. 6.4. Распространение света в волоконном световоде [11]

Раздел оптики, в котором законы распространения света рассматриваются на основе представления о световых лучах, называется **геометрической оптикой**.

Под **световыми лучами** понимают нормальные к волновым поверхностям линии, вдоль которых распространяется поток световой энергии. Геометрическая оптика, оставаясь приближенным методом построения изображений в оптических системах, позволяет разобрать основные явления, связанные с прохождением через них света, и является поэтому основой теории оптических приборов.

Линзы представляют собой прозрачные тела, ограниченные двумя поверхностями (одна из них обычно сферическая, а вторая — сферическая или плоская), преломляющими световые лучи, способные формировать оптические изображения предметов. Материалом для линз служат стекло, кварц, кристаллы, пластмассы и т. п.

По внешней форме (рис. 6.5) линзы делятся на двояковыпуклые, плосковыпуклые, двояковогнутые, плосковогнутые, выпукло-вогнутые, вогнуто-выпуклые.

По оптическим свойствам линзы делятся на собирающие (рис. 6.5, а) и рассеивающие (рис. 6.5, б).

Линза называется **тонкой**, если ее толщина (расстояние между ограничивающими поверхностями) значительно меньше по сравнению с радиусами поверхностей, ограничивающих линзу.

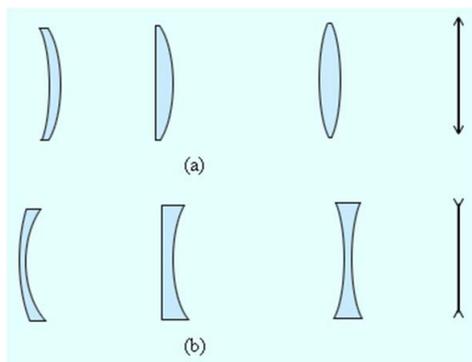


Рис. 6.5. Собирающие (а) и рассеивающие (б) линзы и их условные обозначения

Прямая, проходящая через центры кривизны поверхностей линзы, называется **главной оптической осью**.

Для всякой линзы существует точка, называемая **оптическим центром линзы**, лежащая на главной оптической оси и обладающая тем свойством, что лучи проходят сквозь нее не преломляясь.

Оптический центр O линзы для простоты будем считать совпадающим с геометрическим центром средней части линзы (это справедливо только для двояковыпуклой и двояковогнутой линз с одинаковыми радиусами кривизны обеих поверхностей; для плосковыпуклых и плосковогнутых линз оптический центр O лежит на пересечении главной оптической оси со сферической поверхностью).

Фокус — это точка, в которой после преломления собираются все лучи, падающие на линзу параллельно главной оптической оси. Точки F , лежащие по обе стороны линзы на расстоянии, равном фокусному, называются **фокусами линзы**.

Фокусные расстояния линзы (OF), окруженной с обеих сторон одинаковой средой, равны.

Запишем **формулу тонкой линзы**:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} = D, \quad (6.8)$$

где d — расстояние от оптического центра собирающей линзы до предмета; f — расстояние от оптического центра собирающей линзы до изображения; F — фокусное расстояние линзы; D — оптическая силы линзы.

Единица измерения оптической силы линзы – 1 диоптрия (дптр). 1 диоптрия – оптическая сила линзы с фокусным расстоянием 1 м. $[D] = 1 \text{ дптр} = \frac{1}{\text{м}}$.

Если $d = \infty$, то лучи падают на линзу параллельным пучком (рис. 6, а). Если $f = \infty$, то изображение находится на бесконечности (рис. 6, б) и лучи выходят из линзы параллельным пучком.

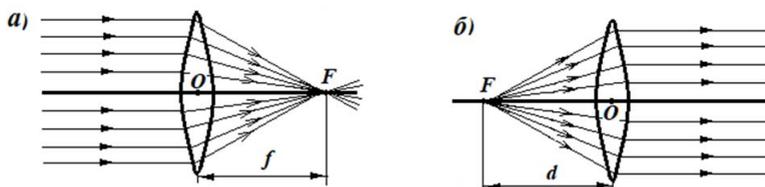


Рис. 6.6. Изображение лучей

Линзы с положительной оптической силой являются **собирающими**, с отрицательной – **рассеивающими**.

Плоскости, проходящие через фокусы линзы перпендикулярно ее главной оптической оси, называются **фокальными плоскостями**.

Рассеивающая линза имеет мнимые фокусы. В мнимом фокусе сходятся (после преломления) воображаемые продолжения лучей, падающих на рассеивающую линзу параллельно главной оптической оси (рис. 6.7).

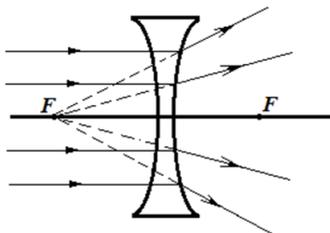


Рис. 6.7. Рассеивающая линза

Для рассеивающей линзы расстояния F и f надо считать отрицательными.

Построение изображения предмета в линзах осуществляется с помощью следующих лучей:

1) луча, проходящего через оптический центр линзы и не изменяющего своего направления;

- 2) луча, идущего параллельно главной оптической оси; после преломления в линзе этот луч (или его продолжение) проходит через первый фокус линзы;
- 3) луча (или его продолжения), проходящего через первый фокус линзы; после преломления в ней он выходит из линзы параллельно ее главной оптической оси.

На рис. 6.8 приведено построение изображения в собирающей линзе, на рис. 6.9 – в рассеивающей линзе.

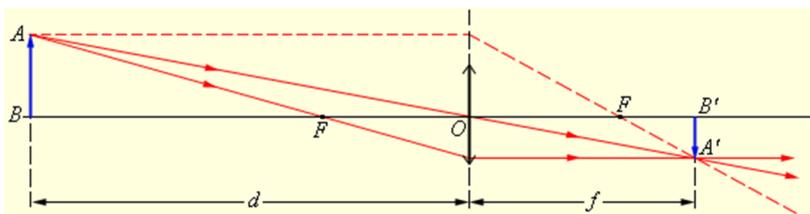


Рис. 6.8. Построение изображения в собирающей линзе [11]

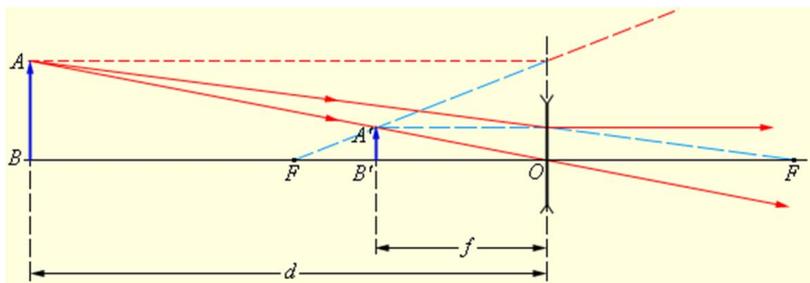


Рис. 6.9. Построение изображения в рассеивающей линзе [11]

Отношение линейных размеров изображения и предмета называется **линейным увеличением линзы**:

$$\Gamma = \frac{A'B'}{AB}.$$

Отрицательным значениям линейного увеличения соответствует действительное изображение (оно перевернутое), положительным – мнимое изображение (оно прямое). Комбинации собирающих и рассеивающих линз применяются в оптических приборах, используемых для решения различных научных и технических задач.

Описание экспериментальной установки и метода измерений

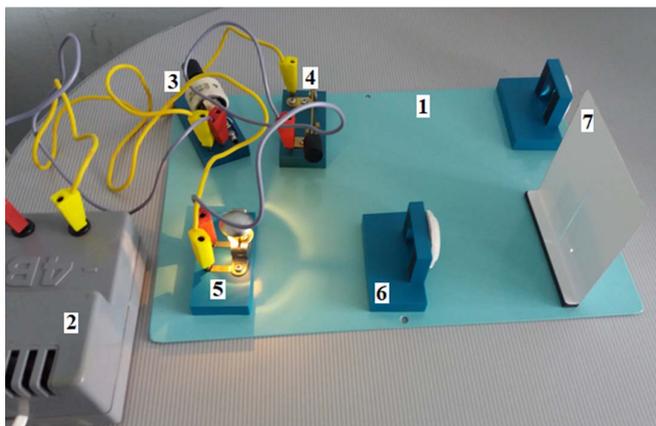


Рис. 6.10. Экспериментальная установка: 1 – рабочее поле; 2 – источник тока; 3 – резистор; 4 – ключ; 5 – штатив с лампочкой; 6 – собирающая линза; 7 – экран

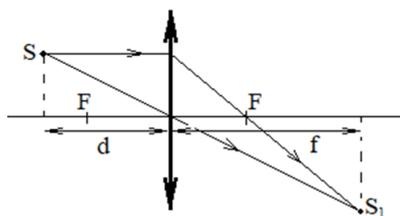


Рис. 6.11. Построение изображения источника света в собирающей линзе

В данной работе будем исследовать собирающую линзу. В качестве источника света используем лампочку от фонарика. Изображение от источника будем наблюдать на экране, расположенном за собирающей линзой. Перемещая экран (ближе или дальше от линзы), добьемся четкого изображения источника на экране. Для определения фокусного расстояния линзы воспользуемся формулой тонкой линзы:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}, \quad (6.9)$$

где d – расстояние от оптического центра линзы до предмета; f – расстояние от оптического центра линзы до изображения предмета; F – фокусное расстояние собирающей линзы.

Отсюда фокусное расстояние линзы:

$$F = \frac{d \cdot f}{d + f}. \quad (6.10)$$

С помощью миллиметровой линейки сделаем измерения расстояния от источника до линзы d и от линзы до экрана, на котором наблюдается изображение f . Эти величины, как и фокусное расстояние, удобнее использовать в сантиметрах.

Оптическая сила линзы определяется по формуле

$$D = \frac{1}{F}. \quad (6.11)$$

Измеряется оптическая сила в диоптриях: 1 дптр = $\frac{1}{\text{м}}$. Поэтому надо перевести фокусное расстояние в метры и рассчитать оптическую силу в диоптриях.

Если в качестве источника света использовать Солнце, то расстояние от источника света до линзы надо принять равным бесконечности: $d = \infty$. Тогда фокусное расстояние будет равно расстоянию от оптического центра линзы до изображения предмета:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f} \text{ или } F = f. \quad (6.12)$$

Порядок выполнения работы

1. Соберите установку так, как показано на рис. 6.10. Если установка собрана, ознакомьтесь с ней.
2. В качестве объекта исследования возьмите по указанию преподавателя собирающую линзу (№ 1 или № 2).
3. Установите собирающую линзу на некотором расстоянии от лампочки и, перемещая экран, добейтесь четкого изображения лампочки на экране.
4. Измерьте с помощью миллиметровой линейки расстояние d от линзы до лампочки. Запишите абсолютную погрешность этого измерения Δd . Она равна цене деления шкалы миллиметровой линейки.
5. Измерьте с помощью миллиметровой линейки расстояние f от линзы до экрана с изображением лампочки. Запишите абсолютную погрешность этого измерения Δf . Она равна цене деления шкалы миллиметровой линейки.

6. Рассчитайте значение фокусного расстояния линзы согласно рабочей формуле $F_1 = \frac{d \cdot f}{d + f}$. В качестве абсолютной погрешности фокусного расстояния ΔF принять цену деления шкалы миллиметровой линейки.
7. Переведите фокусное расстояние в метры и рассчитайте значение оптической силы линзы по формуле $D_1 = \frac{1}{F_1}$.
8. Поменяйте источник света. Используйте в качестве источника света Солнце. Для этого расположите эту же собирающую линзу перед окном.
9. Перемещая экран, расположенный за линзой, добейтесь четкого изображения окна на экране.
10. Измерьте с помощью миллиметровой линейки расстояние от линзы до экрана f .
11. Запишите значение фокусного расстояния собирающей линзы согласно формуле $F_2 = f$.
12. Переведите фокусное расстояние в метры и рассчитайте значение оптической силы линзы по формуле $D_2 = \frac{1}{F_2}$.
13. Запишите окончательный результат для фокусного расстояния линзы, полученного двумя способами:
 $(F_1 \pm \Delta F) =$
 $(F_2 \pm \Delta F) =$
14. Сравните фокусное расстояние и оптическую силу линзы для случая, когда источником света была лампочка от фонарика и когда источником света использовали Солнце. Сделайте вывод.

Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Приборы и принадлежности.
4. Схема экспериментальной установки с указанием ее основных частей.
5. Расчетные формулы:
 фокусное расстояние линзы:
 оптическая сила линзы:

6. Результаты измерений и вычислений

Упражнение 1. Источник света – лампочка от фонарика.

Расстояние от источника до линзы $d_1 =$ см; $\Delta d =$

Расстояние от линзы до экрана $f_1 =$ см; $\Delta f =$

Фокусное расстояние $F_1 =$ см; $\Delta F =$

Оптическая сила $D_1 =$ дптр.

Упражнение 2. Источник света – Солнце.

Расстояние от источника до линзы $d_2 =$ см.

Расстояние от линзы до экрана $f_2 =$ см.

Фокусное расстояние $F_2 =$ см.

Оптическая сила $D_2 =$ дптр.

7. Сравнение результатов:

$(F_1 \pm \Delta F) =$ $D_1 =$ дптр.

$(F_2 \pm \Delta F) =$ $D_2 =$ дптр.

8. Вывод:

Контрольные вопросы

1. Какие физические законы и величины исследуются в данной лабораторной работе?
2. Какие источники света используются в данной лабораторной работе?
3. Каким прибором измеряются расстояния от лампочки до оптического центра линзы и от оптического центра линзы до экрана?
4. Как добиться четкого изображения лампочки на экране?
5. Если в качестве источника света использовать Солнце, то чему равно расстояние между источником света и линзой?
6. Сформулировать закон прямолинейного распространения света. Привести доказательство этого закона.
7. Нарисовать ход лучей через границу раздела двух сред.
8. Сформулировать закон отражения света.
9. Сформулировать закон преломления света.
10. Что представляют собой линзы?
11. Записать формулу тонкой линзы и пояснить входящие в нее величины.
12. Какие лучи используются при построении изображения предмета в тонкой линзе?

13. Дать определение оптической силы линзы и записать формулу.
14. Построить изображение предмета в собирающей линзе, когда он расположен:
 - а) между линзой и первым фокусом;
 - б) между первым и вторым фокусом;
 - в) на втором фокусе;
 - г) за вторым фокусом.
15. Построить изображение предмета в рассеивающей линзе, когда он расположен:
 - а) между линзой и первым фокусом;
 - б) между первым и вторым фокусом;
 - в) на втором фокусе;
 - г) за вторым фокусом.

Тест для контроля знаний

1. Закон прямолинейного распространения света.

- 1) отраженный луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и перпендикуляром, проведенным к границе раздела двух сред в точке падения, угол падения равен углу отражения
- 2) луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр, проведенный к границе раздела двух сред в точке падения, лежат в одной плоскости, отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных сред
- 3) свет в оптически однородной среде распространяется прямолинейно
- 4) луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр, проведенный к границе раздела двух сред в точке падения, лежат в одной плоскости, отношение синуса угла падения к синусу угла отражения есть величина постоянная для данных сред

2. Закон отражения света.

- 1) отраженный луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и перпендикуляром, проведенным к границе раздела двух сред в точке падения, угол падения равен углу отражения
- 2) луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр, проведенный к границе раздела двух сред в точке падения, лежат в одной плоскости, отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных сред

- 3) свет в оптически однородной среде распространяется прямолинейно
- 4) луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр, проведенный к границе раздела двух сред в точке падения, лежат в одной плоскости, отношение синуса угла падения к синусу угла отражения есть величина постоянная для данных сред

3. Закон преломления света.

- 1) отраженный луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и перпендикуляром, проведенным к границе раздела двух сред в точке падения, угол падения равен углу отражения
- 2) луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр, проведенный к границе раздела двух сред в точке падения, лежат в одной плоскости, отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных сред
- 3) свет в оптически однородной среде распространяется прямолинейно
- 4) луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр, проведенный к границе раздела двух сред в точке падения, лежат в одной плоскости, отношение синуса угла падения к синусу угла отражения есть величина постоянная для данных сред

4. Абсолютным показателем преломления среды называется величина, равная отношению

- 1) скорости света в данной среде к скорости распространения света в вакууме: $n = \frac{V}{c}$
- 2) скорости света в вакууме к скорости распространения света в данной среде: $n = \frac{c}{V}$
- 3) синуса угла падения к синусу угла преломления: $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}$
- 4) синуса угла преломления к синусу угла падения: $n = \frac{\sin \gamma}{\sin \alpha}$

5. Относительным показателем преломления второй среды относительно первой среды называется величина, равная отношению

- 1) скорости света в данной среде к скорости распространения света в вакууме: $n = \frac{V}{c}$

- 2) скорости света в вакууме к скорости распространения света в данной среде: $n = \frac{c}{V}$
- 3) синуса угла падения к синусу угла преломления: $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}$
- 4) синуса угла преломления к синусу угла падения: $n = \frac{\sin \gamma}{\sin \alpha}$

6. Линзами называют

- 1) тела, размерами которых в условиях данной задачи можно пренебречь
- 2) тела, размерами которых в условиях данной задачи нельзя пренебречь
- 3) прозрачные тела, ограниченные двумя поверхностями, преломляющими световые лучи, способные формировать оптические изображения предметов
- 4) тела, деформациями которых в данной задаче можно пренебречь

7. Тонкой линзой называется

- 1) тело, размерами которого в условиях данной задачи можно пренебречь
- 2) тело, размерами которого в условиях данной задачи нельзя пренебречь
- 3) прозрачное тело, ограниченное двумя поверхностями, преломляющими световые лучи, способные формировать оптическое изображение предметов
- 4) линза, толщина которой значительно меньше по сравнению с радиусами поверхностей, ограничивающих ее

8. Фокус линзы – это

- 1) точка линзы, лежащая на главной оптической оси, обладающая таким свойством, что все лучи проходят сквозь нее не преломляясь
- 2) прямая, проходящая через центры кривизны ограничивающих линзу поверхностей
- 3) точка, в которой после преломления собираются все лучи, падающие на линзу параллельно главной оптической оси
- 4) точка, расположенная на расстоянии f м от оптического центра линзы

9. Оптический центр линзы – это

- 1) точка линзы, лежащая на главной оптической оси, обладающая таким свойством, что все лучи проходят сквозь нее не преломляясь
- 2) прямая, проходящая через центры кривизны ограничивающих линзу поверхностей
- 3) точка, в которой после преломления собираются все лучи, падающие на линзу параллельно главной оптической оси
- 4) точка, расположенная на расстоянии 1 м от оптического центра линзы

10. Главная оптическая ось линзы – это

- 1) точка линзы, лежащая на главной оптической оси, обладающая таким свойством, что все лучи проходят сквозь нее не преломляясь
- 2) прямая, проходящая через центры кривизны ограничивающих линзу поверхностей
- 3) точка, в которой после преломления собираются все лучи, падающие на линзу параллельно главной оптической оси
- 4) точка, расположенная на расстоянии 1 м от оптического центра линзы

11. Выберите выражения, верно определяющие оптическую силу тонкой линзы.

- 1) $D = \frac{1}{d}$
- 2) $D = \frac{1}{F}$
- 3) $D = \frac{1}{f}$
- 4) $D = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}$

12. Укажите единицу измерения оптической силы линзы в системе СИ.

- 1) 1 дптр
- 2) 1 м
- 3) $\frac{1}{\text{м}}$
- 4) рад

13. Выберите выражение, верно определяющее формулу тонкой

линзы.

1) $\frac{1}{D} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$

2) $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$

3) $\frac{1}{d} = \frac{1}{F} + \frac{1}{f}$

4) $F = d + f$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трофимова, Т. И. Курс физики : учеб. пособие / Т. И. Трофимова. — 24-е изд., стер. — Москва : Академия, 2020. — 557, [1] с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-4468-0333-1.
2. Трофимова, Т. И. Справочник по физике для студентов и абитуриентов / Т. И. Трофимова. — Москва : Астрель [и др.], 2005. — 400 с. — ISBN 5-17-028261-3.
3. Савельев, И. В. Курс общей физики : учеб. пособие для студентов вузов : в 4 томах / И. В. Савельев ; под общ. ред. В. И. Савельева. — 2-е изд., стер. — Москва : КноРус, 2012. — 4 т. — ISBN 978-5-406-02586-4.
4. Сивухин, Д. В. Общий курс физики : учеб. пособие : в 5 томах / Д. В. Сивухин. — 3-е изд., стер. — Москва : Физматлит [и др.], 2002–2006. — 5 т. — ISBN 5-9221-0229-X.
5. Детлаф, А. А. Курс физики : учеб. пособие для вузов / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. — 10-е изд., стер. — Москва : Академия, 2015. — 719, [1] с.
6. Яворский, Б. М. Справочник по физике : для инженеров и студентов вузов / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф, А. К. Лебедев. — 8-е изд., перераб. и испр. — Москва : Оникс [и др.], [2008]. — 1054 с. — ISBN 978-5-488-01477-0. — ISBN 978-985-16-4694-0.
7. Чертов, А. Г. Физические величины : (терминология, определения, обозначения, размерности, единицы) / А. Г. Чертов. — Москва : Высшая школа, 1990. — 334, [1] с. — ISBN 5-06-001011-2.
8. Кортнев, А. В. Практикум по физике : учеб. пособие для вузов / А. В. Кортнев, Ю. В. Рублев, А. Н. Куценко. — Изд. 3-е, доп. и перераб. — Москва : Высшая школа, 1965. — 568 с.
9. Лабораторный практикум по физике : учеб. пособие для вузов / А. С. Ахматов, В. М. Андреевский, А. И. Кулаков [и др.] ; под ред. А. С. Ахматова. — Москва : Высшая школа, 1980. — 360 с.
10. Физический практикум : Механика и молекулярная физика / сост.: А. Г. Белянкин [и др.] ; под ред. В. И. Иверновой. — 2-е изд., перераб. — Москва : Наука, 1967. — 352 с.
11. Физика : сайт. — 1999 — 2022. — URL: physics.ru/ (дата обращения: 09.06.2022).

1. Десятичные приставки к названиям единиц

Т – тера (10^{12})	д – деци (10^{-1})	н – нано (10^{-9})
Г – гига (10^9)	с – санти (10^{-2})	п – пико (10^{-12})
М – мега (10^6)	м – милли (10^{-3})	ф – фемто (10^{-15})
к – кило (10^3)	мк – микро (10^{-6})	а – атто (10^{-18})

2. внесистемные величины

1 ч = 3600 с	1 сут = 86 400 с	1 год = 365,25 сут = $3,16 \cdot 10^7$ с
$1^\circ = 1,75 \cdot 10^{-2}$ рад	$1' = 2,91 \cdot 10^{-4}$ рад	$1'' = 4,85 \cdot 10^{-6}$ рад

3. Основные физические постоянные

Атомная единица массы	1 а.е.м. = $1,66 \cdot 10^{-27}$ кг
Гравитационная постоянная	$G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ м ³ /(кг · с ²)
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м
Масса покоя нейтрона	$m_n = 1,675 \cdot 10^{-27}$ кг
Масса покоя протона	$m_p = 1,672 \cdot 10^{-27}$ кг
Масса покоя электрона	$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$ кг
Постоянная Авогадро	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹
Постоянная Больцмана	$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Постоянная Планка	$h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с
Скорость распространения света в вакууме	$c = 3,00 \cdot 10^8$ м/с
Универсальная газовая постоянная	$R = 8,31$ Дж/(моль · К)
Ускорение свободного падения	$g = 9,81$ м/с ²
Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м $k = 1/(4\pi\epsilon_0) = 9 \cdot 10^9$ м/Ф
Элементарный заряд	$e = 1,60 \cdot 10^{-19}$ Кл

Образец оформления титульного листа бланка отчета

Тольяттинский государственный университет
Институт математики, физики и информационных технологий
Кафедра «Общая и теоретическая физика»

Группа _____

Студент _____

Преподаватель _____

Отчет

о лабораторной работе № _____
«Название лабораторной работы»

К работе допущен:

Работа выполнена:

Теория зачтена:

Тольятти 2022

Форма бланка отчета к лабораторной работе 1

Тольяттинский государственный университет
Институт математики, физики и информационных технологий
Кафедра «Общая и теоретическая физика»

Группа _____

Студент _____

Преподаватель _____

ОТЧЕТ

о лабораторной работе 1

«Исследование зависимости скорости от времени
равноускоренного движения тела»

К работе допущен:

Работа выполнена:

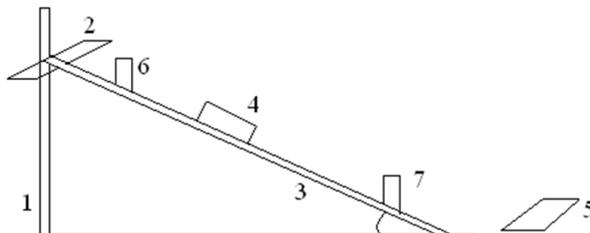
Теория зачтена:

Тольятти 2023

Цель работы – изучить равноускоренное движение, исследовать зависимость скорости от времени движения тела.

Приборы и принадлежности: штатив с переключателем, наклонная плоскость, каретка, электронный секундомер, датчики движения.

Схема установки



1 – штатив; 2 – переключатель; 3 – наклонная плоскость; 4 – каретка;
5 – электронный секундомер; 6 – верхний датчик движения;
7 – нижний датчик движения

Расчетные формулы:

скорость движения тела: $v = \frac{2S}{t}$;

ускорение тела: $a = \frac{g}{t}$.

Результаты измерений и вычислений

№ опыта	Пройденный путь S , м	Время движения t , с	Скорость тела v , м/с	Ускорение тела a , м/с ²
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Абсолютная погрешность пути $\Delta S =$

Абсолютная погрешность времени $\Delta t =$

Среднее ускорение: $a_{\text{ср}} =$

График зависимости скорости от времени движения (на миллиметровой бумаге): $v = f(t)$.

Вывод: