



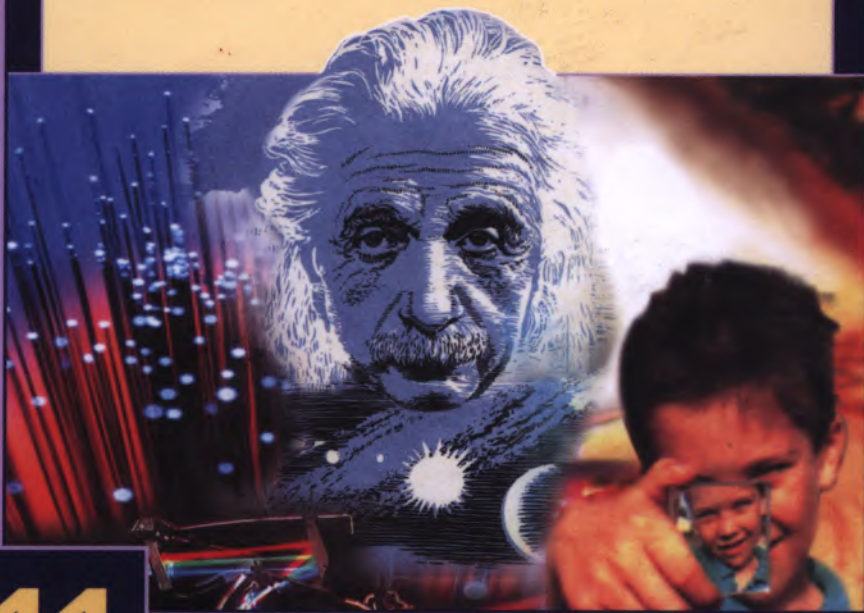
Н. А. Парфентьева

Классический курс

физика

Тетрадь

для лабораторных работ



11

**БАЗОВЫЙ И
УГЛУБЛЁННЫЙ
УРОВНИ**

Классический курс

Н. А. Парфентьева

физика

**Тетрадь
для лабораторных работ**

11 класс

БАЗОВЫЙ И УГЛУБЛЁННЫЙ УРОВНИ

**Учебное пособие
для общеобразовательных
организаций**

9-е издание, стереотипное

Москва
«Просвещение»
2021

УДК 373.167.1:53+53(075.3)

ББК 22.3я721

П18

12+

Серия «Классический курс» основана в 2007 году

В тетради приведены описания, схемы выполнения лабораторных работ и контрольные вопросы по темам, изучаемым в 11 классе общеобразовательной школы: магнетизму, колебательным и волновым процессам, геометрической и волновой оптике.

В работах даны таблицы, в которые следует заносить значения измеряемых величин, результаты вычисления величин и их погрешностей, определяемых в результате косвенных измерений. Обращается внимание на окончательную запись результатов измерений с учётом погрешностей.

Данная тетрадь предназначена учащимся 11 класса как дополнение к классическому курсу физики авторов Г. Я. Мякишева, Б. Б. Буховцева и В. М. Чаругина.

ISBN 978-5-09-085168-8

© Издательство «Просвещение», 2010, 2019

© Художественное оформление.

Издательство «Просвещение», 2010, 2019

Все права защищены

Введение

Физика — фундаментальная наука, изучающая строение и свойства окружающего нас материального мира.

В основе современных физических исследований лежит эксперимент; он позволяет проверить уже существующие законы и установить новые закономерности.

Умение ставить и проводить опыты, анализировать результаты измерений, устанавливать или проверять зависимости физических величин необходимо для изучения физики. Развить эти умения и навыки вы сможете в процессе выполнения лабораторных работ. Вы также научитесь грамотно обращаться с приборами, понимать, для каких целей они служат, оценивать их пределы измерений.

В этой тетради предлагаются описания лабораторных работ, которые рекомендуется выполнить в 11 классе в соответствии с программой изучения физики.

Тетрадь поможет вам ещё раз вспомнить изучаемый в работе физический закон, правильно оформить результаты измерений, сделать необходимые выводы. При этом многие таблицы, расчёты, оценки погрешностей измерений вы должны выполнить самостоятельно, используя опыт, приобретённый в 10 классе.

Контрольные вопросы, предлагаемые в конце работы, дадут возможность более глубоко понять то явление, которое вы экспериментально изучили; одновременно они полезны для самопроверки. Для ответов на контрольные вопросы требуется знание теории по данной теме; если поиск ответов на вопросы вызовет у вас затруднения, прочитайте ещё раз соответствующий материал в учебнике.

В тетради приведено большое количество различных работ. Вы можете выбрать для выполнения те работы, которые вам понравятся и будут полезны в вашей деятельности. Лабораторные работы можно выполнять как в классе на практических занятиях, так и дома.

ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерение — это определение значения физической величины с помощью приборов и измерительных инструментов.

1. Измерения могут быть прямыми и косвенными.

Прямым измерением непосредственно определяют искомую величину.

Например, линейкой измеряют длину, секундомером — время, амперметром — силу тока и т. д.

Косвенным называется измерение, при котором значение величины находят на основании формулы, при этом в формулу входят величины, определяемые прямым измерением.

Например, скорость равномерного движения можно найти по формуле $v = s/t$, а сопротивление резистора — по формуле $R = U/I$. При этом предварительно нужно выполнить прямые измерения: в первом случае длины пути, который прошло тело, и времени, за которое этот путь пройден; во втором случае напряжения и силы тока.

2. Всякое измерение неизбежно производится с погрешностью.

Мы можем только приблизиться к истинному значению измеряемой величины, совершенствуя методику измерения и приборы или многократно повторяя опыты.

3. Различают абсолютную и относительную погрешности.

Обозначим измеряемую физическую величину A , измеренное значение этой величины $A_{\text{изм}}$.

ΔA — **абсолютная погрешность** измерения. Зная абсолютную погрешность, можно рассчитать интервал значений, в пределах которого с определённой степенью точности находится истинное значение измеряемой величины:

$$A_{\text{изм}} - \Delta A < A < A_{\text{изм}} + \Delta A.$$

Относительная погрешность равна умноженному на 100% отношению абсолютной погрешности к измеренному значению величины:

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A_{\text{изм}}} \cdot 100\%.$$

4. **Максимальная абсолютная погрешность** измерения физической величины равна сумме абсолютных погрешностей средства измерения (приборная погрешность) и процесса отсчёта:

$$\Delta A = \Delta A_{\text{пр}} + \Delta A_{\text{отсч.}}$$

Приборная погрешность определяется конструкцией прибора. Каждый прибор имеет класс точности g , зная который можно найти абсолютную приборную погрешность по формуле

$$\Delta A_{\text{пр}} = \gamma \frac{A_{\text{max}}}{100},$$

где A_{max} — максимальное значение величины, которое может быть измерено данным прибором.

Класс точности прибора указывается на шкале прибора и/или в его паспорте.

Используемые обычно приборы имеют следующие классы точности: 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4.

Пример. Вольтметр имеет класс точности 1,5 и измеряет максимально напряжение 100 мВ. Приборная погрешность при измерении напряжения данным вольтметром составит $\Delta A_{\text{пр}} = 1,5 \cdot 100/100 = 1,5$ мВ.

5. Абсолютная погрешность отсчёта $\Delta A_{\text{отсч}}$, как правило, определяется половиной цены деления прибора. Если положение стрелки прибора изменяется скачками (например, у секундомера), то абсолютная погрешность определяется ценой наименьшего деления.

Абсолютная погрешность измерения всегда округляется до одной значащей цифры.

Пример. Результат расчёта ускорения свободного падения при косвенном измерении $g = 9,7643$ м/с², абсолютная погрешность $\Delta g = 0,26$ м/с². В этом случае принимают $\Delta = 0,3$ м/с², тогда $g = 9,8$ м/с².

Окончательно результаты измерений записывают в виде

$$9,5 < g < 10,1 \text{ м/с}^2.$$

Реальное значение ускорения свободного падения попадает в этот интервал значений.

6. Погрешности делятся на систематические и случайные.

К **систематическим** относится приборная погрешность, а также погрешность, связанная с избранным методом измерения, в котором заложена неточность.

К **случайным** относятся непредсказуемые погрешности, связанные, например, с неисправностью прибора, с изменением внешних условий, с неточностью отсчёта.

Систематические погрешности при выполнении конкретного эксперимента уменьшить нельзя, однако случайные погрешности можно уменьшить, проводя большое число опытов или используя разные приборы и методы измерений.

Если, например, провести N опытов, то результат измерения считается равным среднему арифметическому результатов отдельных измерений:

$$A_{\text{cp}} = \frac{A_1 + A_2 + A_N}{N},$$

где A_1, A_2, \dots — значения величины, полученные в результате первого, второго опытов и т. д.

Абсолютная погрешность в этом случае пропорциональна средней квадратичной погрешности:

$$\Delta A_{\text{cp}} \sim \sqrt{\frac{(A_1 - A_{\text{cp}})^2 + (A_2 - A_{\text{cp}})^2 + \dots + (A_N - A_{\text{cp}})^2}{N(N-1)}}.$$

Из этой формулы очевидно, что чем больше число измерений, тем меньше погрешность среднего арифметического.

В школьных лабораторных работах обычно абсолютная погрешность считается равной приборной погрешности $\Delta A_{\text{пр}}$.

Формулы для вычисления относительной погрешности косвенных измерений величины A (B, C и D — величины, входящие в формулу)

Формула для определения физической величины A	Формула для определения относительной погрешности ε
$A = B \pm C$	$\varepsilon = \frac{\Delta B + \Delta C}{B \pm C}$
$A = \frac{B}{CD}, A = BCD$	$\varepsilon = \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta D}{D}$
$A = B \sqrt{\frac{C}{D}}$	$\varepsilon = \frac{\Delta B}{B} + \frac{1}{2} \frac{\Delta C}{C} + \frac{1}{2} \frac{\Delta D}{D}$
$A = B^n$	$\varepsilon = n \frac{\Delta B}{B}$

Абсолютная погрешность косвенных измерений определяется по формуле

$$\Delta A = \varepsilon A.$$

7. Сравнение результатов измерений

Если одна и та же величина измерена несколькими способами, то для сравнения результатов мы чертим интервалы возможных значений измеряемой величины (рис. 1). С наибольшей вероятностью значение искомой величины находится в области, где интервалы перекрываются.

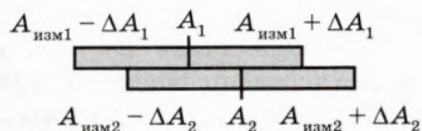


Рис. 1

8. Окончательная запись результатов измерений

$$A_{изм} - \Delta A < A < A_{изм} + \Delta A, \varepsilon = \dots\%$$

ПЛАН ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Изучите теорию, попытайтесь самостоятельно вывести рабочую формулу, по которой будете рассчитывать искомые величины.
2. Рассмотрите оборудование, предлагаемое для выполнения лабораторной работы. Там, где это требуется, соберите установку для проведения эксперимента.
3. Проведите наблюдения и измерения, каждый раз записывая результаты.
4. Выполните расчёты.
5. Там, где требуется, рассчитайте погрешности.
6. Запишите окончательный результат с учётом погрешностей и сделайте вывод.
7. Ответьте на контрольные вопросы.

Лабораторная работа № 1

Взаимодействие постоянного тока с магнитным полем

Цель работы: исследовать взаимодействие тока с постоянным магнитом.

1. Теоретическая часть

Постоянные магниты взаимодействуют таким образом, что одноимённые магнитные полюсы отталкиваются друг от друга, разноимённые — притягиваются.

Проволочный виток, по которому идёт ток, создаёт вокруг себя магнитное поле, которое взаимодействует с постоянным магнитом.

Взаимодействие зависит от расположения витка и магнита, а также от направления и значения силы тока в витке.

Если вместо одного витка взять проволочную катушку, то магнитное поле станет больше, взаимодействие катушки с постоянным магнитом усилится и, следовательно, его обнаружить будет проще.

2. Оборудование

Источник тока, реостат, ключ, проволока, катушка, магнитный стержень, штатив, динамометр, амперметр.

3. Порядок выполнения работы

Первый опыт.

1. На штативе подвесьте динамометр, к динамометру прикрепите магнит, под магнитом расположите катушку (рис. 2).

2. Соберите электрическую схему согласно рисунку 3.

3. Установите бегунок реостата в положение, соответствующее максимальному сопротивлению.

4. Замкните цепь.

5. Изменяйте силу тока, уменьшая сопротивление реостата, и записывайте показания динамометра в таблицу 1.1.

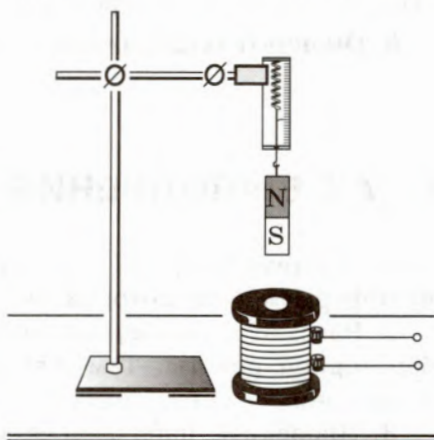


Рис. 2

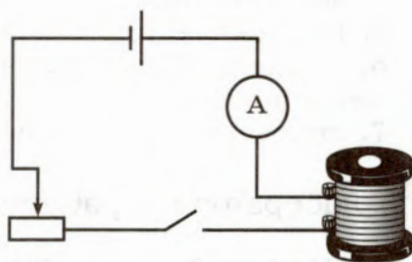


Рис. 3

Таблица 1.1

№ опыта	1	2	3	4	5	6
I						
F	—	—			—	—

6. Измените направление тока в катушке. Проведите аналогичные измерения, записывая их результаты в таблицу 1.2. Отметьте изменения показаний динамометра.

Таблица 1.2

№ опыта	1	2	3	4	5	6
I						
F	—	—			—	—

Второй опыт.

1. На штативе подвесьте моток из проволоки (рис. 4).

2. Соберите электрическую цепь согласно рисунку 5.

3. Поднесите к проволоке магнит, как показано на рисунке 4.

Что происходит? Свои наблюдения запишите ниже.

4. Поверните магнит и поднесите его к проволоке другим полюсом. Наблюдения запишите.

5. Измените направление тока в мотке проволоки и поднесите к нему магнит сначала одним полюсом, затем другим.

Наблюдения:

1 (пункт 3).

2 (пункт 4).

3 (пункт 5).

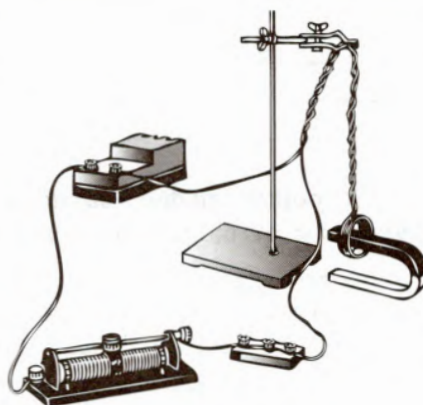


Рис. 4

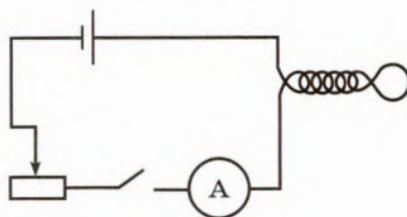
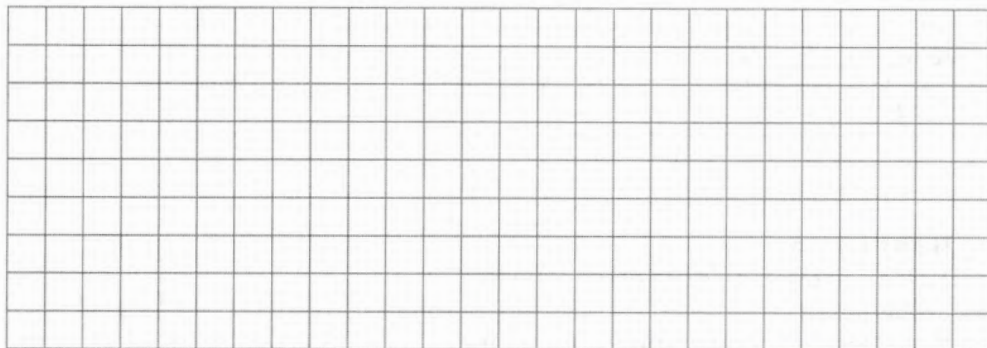


Рис. 5

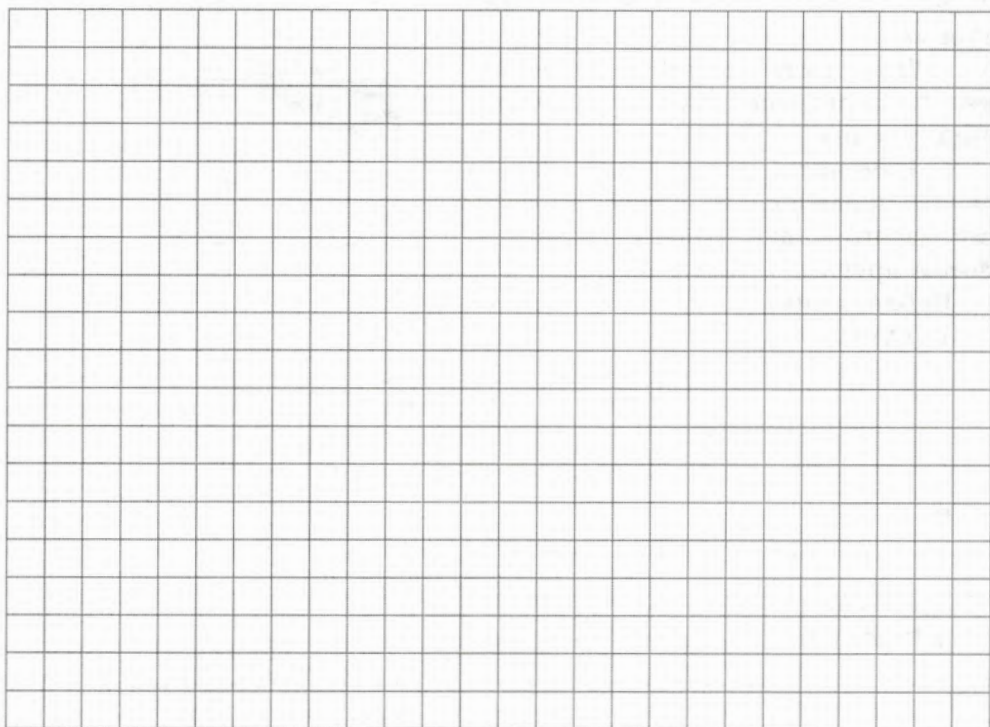
4. Результаты и выводы

Первый опыт.

Нарисуйте катушку и покажите направления полюсов её магнитного поля.



Постройте график зависимости силы взаимодействия катушки с магнитом от силы тока, сделайте вывод.



Второй опыт.

Покажите направление тока в мотке проволоки (пункт 3).

Объясните результаты опытов.

5. Контрольные вопросы

1. Виток проволоки, по которой идёт ток, находится в постоянном магнитном поле. Вектор индукции магнитного поля перпендикулярен плоскости, в которой расположен виток. Действует ли магнитное поле на виток?

2. Как зависит сила, действующая на проводник с током, находящийся в магнитном поле, от силы тока?

3. На прямой проводник с током, помещённый в магнитное поле, не действует сила. Как расположен этот проводник в поле?

4. Постоянный магнит и катушка с током, как вы убедились, взаимодействуют. Можно ли измерить силу взаимодействия, если вместо постоянного магнита к динамометру прикрепить катушку, по которой идёт ток?

5. Почему в первом опыте лучше использовать катушку, а не отдельный проволочный виток?

6. Могут ли магнитные поля катушки и постоянного магнита оказывать на один и тот же проводник с током одинаковое действие?

Лабораторная работа № 2

Явление электромагнитной индукции

Цель работы: изучить одно из самых важных явлений электромагнетизма — явление электромагнитной индукции.

1. Теоретическая часть

Явление электромагнитной индукции состоит в том, что изменяющийся во времени магнитный поток через поверхность, ограниченную замкнутым проводящим контуром, вызывает появление

электрического тока в контуре. Это явление доказывает взаимосвязь электрического и магнитного полей.

ЭДС индукции определяется скоростью изменения магнитного потока:

$$\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \quad (1)$$

Направление индукционного тока в контуре определяется правилом Ленца: индукционный ток всегда направлен так, чтобы препятствовать причине, его вызывающей. Это означает, что при увеличении магнитного потока поле возникающего индукционного тока стремится его уменьшить, при уменьшении — увеличить. Зная направление магнитного поля индукционного тока, можно определить направление самого тока. Заметим, что, когда изучают поле, создаваемое проводником с током, ставится обратная задача: по направлению тока определить направление вектора индукции магнитного поля, которое создаёт ток. В этой работе мы фактически отчасти повторим опыты М. Фарадея, открывшего явление электромагнитной индукции.

2. Оборудование

Источник тока, гальванометр, катушка 1, железный сердечник, подковообразный магнит, магнитная стрелка (компас), реостат, ключ, витки проволоки или катушка 2, диаметр которой больше диаметра катушки 1.

3. Порядок выполнения работы

Результаты наблюдений следует описать, а затем объединить в итоговую таблицу.

1. Предварительный опыт.

Соберите схему согласно рисунку 6. В катушку вставьте железный сердечник. Замкните цепь, заметьте при этом, в какую сторону отклонится стрелка гальванометра. С помощью магнитной стрелки установите расположение магнитных полюсов катушки.

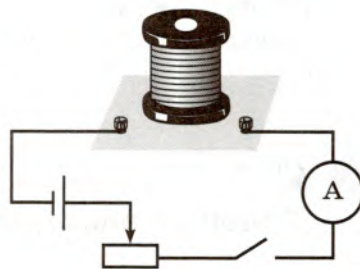


Рис. 6

2. Первый опыт.

Соберите схему согласно рисунку 7. С помощью магнита вынимайте из катушки и вставляйте в неё железный сердечник. Постарайтесь заметить влияние скорости движения железного сердечника вдоль катушки на значение силы тока, проходящего через гальванометр. Записывайте наблюдения, в частности в какую сторону отклоняется стрелка.

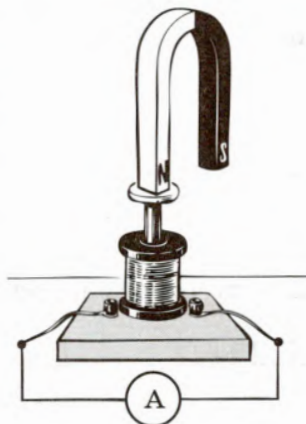


Рис. 7

2'. Смените полюс магнита, с помощью которого вы двигали железный сердечник внутри катушки, и повторите опыт. Запишите результаты наблюдений.

3. Второй опыт.

Соберите схему согласно рисунку 8. При этом катушка 2 или мотки проволоки надеты на катушку 1.

Замкните цепь и разомкните её. Запишите наблюдения.

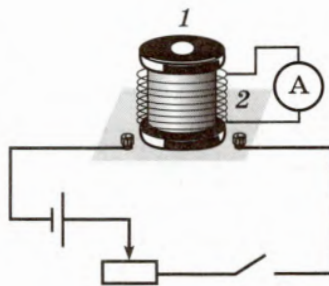


Рис. 8

Сделайте вывод о влиянии скорости движения сердечника на силу индукционного тока.

Проанализируйте результаты второго опыта. Согласуются ли они с правилом Ленца?

5. Контрольные вопросы

1. В чём состоит явление электромагнитной индукции?
2. Какие способы изменения магнитного потока предлагаются в этой работе?
3. Влияет ли природа магнитного поля (поле постоянного магнита или поле тока) на явление электромагнитной индукции?
4. Почему во втором опыте стрелка гальванометра быстро возвращается к нулю, ведь ток в цепи катушки I продолжает идти?
5. При поднесении сердечника к катушке поле индукционного тока помогает вдвигать сердечник или, наоборот, мешает?
6. Почему для обнаружения индукционного тока мы используем катушки, а не отдельные витки из проволоки, ведь сопротивление катушки больше, чем сопротивление одного витка? (При меньшем сопротивлении сила индукционного тока должна быть больше и его легче было бы обнаружить.)
7. Покажите, что размерность ЭДС, вычисленной по формуле (1), соответствует вольту.

Определение ускорения свободного падения с помощью математического маятника

Цель работы: определить ускорение свободного падения на основе формулы для определения периода колебаний математического маятника.

1. Теоретическая часть

Свободными колебаниями называются колебания в системе под действием внутренних сил, после того как система выведена из положения равновесия и предоставлена самой себе. Математический маятник представляет собой тело, подвешенное на длинной нити. Его можно считать материальной точкой.

Тело колеблется под действием действующих на него двух сил — силы тяжести и силы натяжения нити (рис. 9). Обратим внимание на то, что сила тяжести в данной системе является внутренней силой, хотя при решении задач по теме «Закон сохранения импульса» эта сила, как правило, считалась внешней.

Период колебаний математического маятника определяется по формуле

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}, \quad (1)$$

где l — длина нити, g — ускорение свободного падения.

При расчётах периода колебаний маятника мы пренебрегаем растяжимостью нити, т. е. считаем, что длина нити при колебаниях не изменяется. Также мы не учитываем массу нити и силу сопротивления воздуха, действующую на колеблющееся тело.

Зная период колебаний из формулы (1), мы можем определить ускорение свободного падения

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

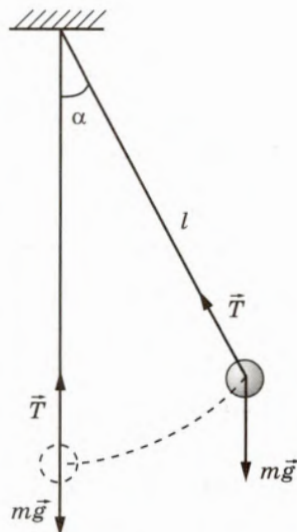


Рис. 9

2. Оборудование

Штатив с муфтой и лапкой, нить, груз m с крючком, линейка, секундомер.

3. Порядок выполнения работы

Результаты измерений записывайте в таблицы 3.1 и 3.2.

1. Закрепите лапку у верхнего края штатива и поставьте штатив на край стола так, чтобы при подвешивании нити другой её конец был ниже края стола.

2. Отрежьте кусок нити и сделайте на её краях 2 петли. Нить должна быть достаточно длинной (70—80 см). За одну петлю подвешиваем нить к штативу, за другую петлю подвешиваем груз.

3. Измерьте длину нити.

4. Отклоните нить на малый угол и определите секундомером время, за которое груз совершит 10 полных колебаний.

5. Повторите опыт 5 раз.

6. Закрепите на нити груз другой массы и измерьте время, за которое этот груз совершит 10 полных колебаний. Так же повторите опыт 5 раз.

Таблица 3.1. Результаты измерений периода колебаний первого груза

Физическая величина/ номер опыта	M , г	l , м	t , с	Число колебаний, N	Период колебаний, $T = \frac{t}{N}$
1				5	
2	—	—		5	
3	—	—		5	
4	—	—		5	
5	—	—		5	
					$T_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^5 T_i}{5}$

Таблица 3.2. Результаты измерений периода колебаний второго груза

Физическая величина/ номер опыта	M , г	l , м	t , с	Число колебаний, N	Период колебаний, $T = \frac{t}{N}$
1				5	
2	—	—		5	
3	—	—		5	
4	—	—		5	
5	—	—		5	
					$T_{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^5 T_i}{5}$

4. Расчёты

Сделайте расчёты ускорения свободного падения по формуле (2):

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

Таблица 3.3. Результаты расчётов ускорения свободного падения из опыта с первым грузом

№ опыта	$4\pi^2$	$4\pi^2 l$, м	$g_i = \frac{4\pi^2 l}{T_i^2}$
1			
2			
3			
4			
5			
			$g_{\text{ср1}} = \frac{\sum_{i=1}^5 g_i}{5}$

Таблица 3.4. Результаты расчёта ускорения свободного падения из опыта со вторым грузом

№ опыта	$4\pi^2$	$4\pi^2 l$, м	$g_i = \frac{4\pi^2 l}{T_i^2}$
1			
2			
3			
4			
5			
			$g_{\text{ср2}} = \frac{\sum_{i=1}^5 g_i}{5}$

5. Погрешности измерений

1. Относительную ошибку измерения периода колебаний первого груза найдём по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\Delta g}{g_{\text{ср}}} = \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta \pi}{\pi} + 2 \frac{\Delta T}{T_{\text{ср}}},$$

где $\Delta l = 0,5$ см, $\Delta \pi = 0,01$, $\Delta T = 0,1$ с.

Определим абсолютную погрешность измерения:

$$\Delta g = \varepsilon g_{\text{ср}}.$$

Интервал возможных значений ускорения в первом опыте

$$g_{\text{ср}} + \Delta g \geq g \geq g_{\text{ср}} - \Delta g.$$

2. Найдите в Интернете ускорение свободного падения в месте, где находится ваша школа.

Например, широта, на которой находится Москва, равна $55^\circ 45'$. Ускорение свободного падения на этой широте равно $g = 9,815$ м/с².

Абсолютная ошибка равна $\Delta = g_{\text{изм1}} - g$.

Относительная ошибка определяется по формуле

$$\varepsilon = \frac{|g_{\text{изм1}} - g|}{g} 100\%.$$

6. Результаты и выводы

На основании результатов опыта с двумя грузами сделайте выводы.

7. Контрольные вопросы

1. За счёт чего возникают ошибки при измерении ускорения свободного падения в этой работе?
2. Что необходимо соблюдать при выполнении данной работы для получения правильного результата?
3. Что такое свободные колебания?
4. Какие силы определяют колебания груза в данном опыте? Как зависит равнодействующая сила, действующая на подвешенный к нити груз, от смещения груза от положения равновесия?

Лабораторная работа № 4

Исследование зависимости периода колебаний пружинного маятника от жёсткости пружины

Цель работы: изучить колебания пружинного маятника, состоящего из нескольких пружин, и определить влияние жёсткости пружины на период колебаний пружинного маятника.

1. Теоретическая часть

Период колебаний, как известно, определяется параметрами системы.

Пружинный маятник состоит из пружины жёсткостью k и подвешенного к ней груза массой m .

При определении периода колебаний считается, что вся жёсткость сосредоточена в пружине, а массой обладает только груз (система с сосредоточенными параметрами). Период колебаний, определённый из опыта, совпадает с теоретически рассчитанным значением в том случае, если масса пружины много меньше массы груза.

На груз, подвешенный к пружине, действуют силы упругости и тяжести (рис. 10): $m\vec{g} + \vec{F}_{\text{упр}} = 0$, сила упругости согласно закону Гука равна

$$F_{\text{упр}} = -kx. \quad (1)$$

В проекции на ось Ox

$$mg - kx_0 = 0. \quad (2)$$

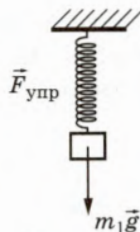


Рис. 10

При дополнительном растяжении пружины на x согласно второму закону Ньютона запишем

$$ma_x = mg - k(x + x_0).$$

Учитывая формулу (2), получим $ma_x = -kx$, или

$$a_x = -\frac{k}{m}x. \quad (3)$$

Уравнение гармонических колебаний имеет вид

$$a_x = -\omega^2x. \quad (4)$$

Из (3) и (4) находим выражение для определения собственной частоты и периода колебаний пружинного маятника:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$$

Жёсткость пружины k зависит от её геометрических размеров (длины, толщины) и от материала, из которого она сделана.

1. Пусть две разные пружины прикреплены к грузу параллельно; очевидно, что при одной и той же массе подвешенного груза

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k_1 + k_2}}, \quad (5)$$

где k_1 и k_2 — жёсткости пружин (рис. 11).

Сумма $(k_1 + k_2)$ в этом случае эффективная жёсткость, т. е. жёсткость такой воображаемой пружины, которая при той же массе подвешенного груза обеспечивает колебания с тем же периодом, что и две пружины:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k_{\text{эфф}}}}.$$

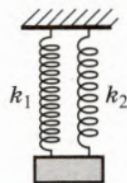


Рис. 11

Если пружины с разными жёсткостями соединены последовательно, то вследствие предположения об их невесомости сила упру-

гости, действующая в любом сечении пружины, постоянна, а деформация пружин различна: $k_1x_1 = k_2x_2$, смещение тела от положения равновесия равно

$$x = x_1 + x_2 = x_1\left(1 + \frac{k_1}{k_2}\right).$$

На груз действует сила упругости $F_1 = k_1x_1$, а ускорение тела определяется полным смещением x , тогда согласно второму закону Ньютона получим

$$ma_x = -k_1x_1 = -\frac{k_1k_2}{k_1 + k_2}x.$$

Для периода колебаний получим выражение

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m(k_1 + k_2)}{k_1k_2}}. \quad (6)$$

В этом случае эффективная жёсткость равна

$$k_{\text{эфф}} = \frac{k_1k_2}{k_1 + k_2}.$$

2. Зависимость периода колебаний от параметров пружины.

Если пружины сделаны из одного материала и проволоки одной толщины, но разной длины, то периоды колебаний маятников при одной и той же массе будут разными.

Закон Гука можно записать следующим образом:

$$\varepsilon = \frac{1}{E}\sigma, \quad (7)$$

где ε — относительная деформация, равная отношению удлинения (сжатия) к первоначальной длине тела x/l ; σ — напряжение, равное силе упругости, действующей на единицу площади поверхности, равное $F_{\text{упр}}/S$; E — модуль Юнга, равный напряжению, возникающему в твёрдом теле при относительной деформации, равной единице. Подставив в (7) эти выражения, получим

$$\frac{x}{l} = \frac{1}{E} \frac{F_{\text{упр}}}{S}.$$

Для силы упругости имеем

$$F_{\text{упр}} = \frac{ES}{l}x. \quad (8)$$

Сравнив (1) и (8) для жёсткости, получим

$$k = \frac{ES}{l}. \quad (9)$$

Следовательно, жёсткость пружины обратно пропорциональна её длине, а период колебаний прямо пропорционален квадратному корню от l (рис. 12).

2. Оборудование

Штатив, палочка, которую укрепляем на штативе, часы с секундной стрелкой, пружины 1 и 2 с известными коэффициентами упругости (разной жёсткостью), пружины 3 и 4 из одинакового материала и одного и того же диаметра, но разной длины, груз.

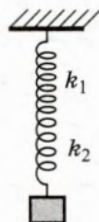


Рис. 12

3. Порядок выполнения работы

Первый опыт.

Все измеряемые величины занесите в таблицу 4.1.

1. Возьмите пружины 1 и 2.
2. Прикрепите их параллельно к палочке и подвесьте груз.
3. Оттяните груз от положения равновесия и измерьте время, в течение которого груз совершает 20 колебаний. Повторите измерения 3 раза.
4. Соедините пружины 1 и 2 последовательно и прикрепите к ним груз.
5. Оттяните груз от положения равновесия, при этом амплитуда колебаний маятника должна быть такой, чтобы обе пружины были вертикальны. Измерьте время, в течение которого груз совершает 20 колебаний. Повторите измерения 3 раза.

Таблица 4.1

№ опыта		Число колебаний, N	Время колебаний t , с
1			
2			
3			
			t_{cp}
4			
5			

№ опыта		Число колебаний, N	Время колебаний t , с
6			
			$t_{\text{ср}}$

Второй опыт.

Все измеряемые величины занесите в таблицу 4.2.

1. Укрепите на штативе пружину и подвесьте груз.
2. Оттяните груз от положения равновесия и измерьте время, в течение которого груз совершает 20 колебаний. Повторите измерения 3 раза.
3. Укрепите на штативе пружину 2 и подвесьте тот же груз.
4. Оттяните груз от положения равновесия и измерьте время, в течение которого груз совершает 20 колебаний. Повторите измерения 3 раза.

Таблица 4.2

№ опыта		Число колебаний, N	Время колебаний t , с
1			
2			
3			
			$t_{\text{ср3}}$
4			
5			
6			
			$t_{\text{ср4}}$

4. Расчёты

Сделайте расчёты, последовательно заполняя таблицы 4.3—4.5.
Первый опыт.

Таблица 4.3

m , кг	$t_{\text{ср1}}$	N	$T_1 = t_{\text{ср1}}/N$, с	$k_{\text{эфф}} = \frac{4\pi^2 m}{T_1^2}$	k_1	k_2	$k_{\text{эфф.теор}} = k_1 + k_2$

Таблица 4.4

m , кг	$t_{\text{ср2}}$	N	$T_2 = t_{\text{ср2}}/N$, с	$k_{\text{эфф}} = \frac{4\pi^2 m}{T_1^2}$	k_1	k_2	$k_{\text{эфф}} = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}$

Второй опыт.

Таблица 4.5

l_1	$t_{\text{ср3}}$	N	$T_3 = t_{\text{ср3}}/N$, с	l_2	$T_4 = t_{\text{ср4}}/N$, с	$\frac{l_1}{l_2}$	$\sqrt{\frac{l_1}{l_2}}$	$\frac{T_3}{T_4}$

5. Результаты и выводы

Первый опыт. Сравнивая экспериментально и теоретически полученные значения эффективной жёсткости, сделайте выводы и объясните, по какой причине значения могут не совпадать.

Второй опыт. Сделайте выводы о зависимости периода колебаний от длины пружины.

6. Контрольные вопросы

1. Какое теоретическое допущение определяет несовпадение результатов опыта и теоретического расчёта?
2. Как зависит период колебаний пружинного маятника от массы подвешенного груза?
3. Зависит ли период колебаний пружинного маятника от ширины местности подобно зависимости периода колебаний математического маятника?
4. Какие ошибки в процессе эксперимента могли определить ошибку измерений?
5. Какие ограничения на массу груза нужно сделать для того, чтобы колебания пружинного маятника были гармоническими?
6. Что такое эффективная жёсткость пружины?
7. Какими параметрами системы пружина—груз определяется частота колебаний маятника?
8. Какие преобразования энергии происходят при колебаниях пружинного маятника?

Лабораторная работа № 5

Определение максимальной мощности химической и солнечной батарей

Цель работы: изучить свойства различных источников электрической энергии.

1. Теоретическая часть

Наиболее распространёнными химическими источниками тока являются гальванические элементы, состоящие из двух пластин (электродов), изготовленных из разных материалов, и электролита.

При погружении пластин в электролит ионы электролита взаимодействуют с атомами пластин, в результате чего пластины заряжаются. При выборе определённых материалов для электродов между

ними возникает разность потенциалов. При соединении их проводником по проводнику начинает идти электрический ток. При этом напряжение между электродами не уменьшается, так как на место ушедших с электрода зарядов приходит равное ему количество зарядов из электролита. В качестве материалов для гальванического элемента часто используются цинк и графит. Устройство такого элемента показано на рисунке 13 (1 — графит, 2 — цинк, 3 — сосуд, 4 — раствор кислоты).

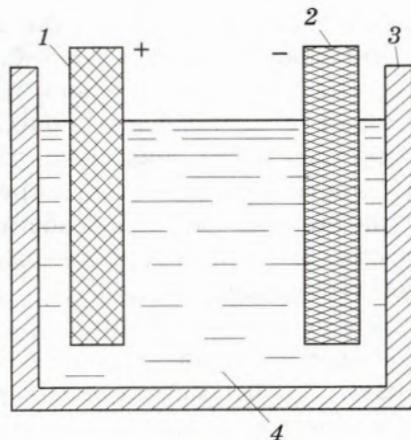


Рис. 13

Положительные ионы цинка переходят в электролит, и цинк заряжается отрицательно, положительные ионы электролита подходят к графитовому стержню и заряжают его положительно. Когда по цепи идёт ток, цинковый электрод постепенно разрушается.

Напряжение между электродами такого элемента порядка 1,5 В.

Вольтамперная характеристика такого источника — отрезок прямой на графике зависимости $U(I)$, соединяющей точку на оси ординат, соответствующую ЭДС и точку на оси абсцисс, соответствующую максимальному значению силы тока — ток короткого замыкания ($R = 0$):

$$U = \mathcal{E} - Ir,$$

где \mathcal{E} — ЭДС источника и r — его внутреннее сопротивление.

Максимальная мощность такого источника равна

$$N = \frac{\mathcal{E}^2}{4r}.$$

В первой части работы проверяется соответствие простой модели и реальной химической батареи.

Работа солнечной батареи основана на явлении внутреннего фотоэффекта.

При соприкосновении полупроводников с разными типами проводимости сразу же начинается переход электронов из полупроводника n -типа в полупроводник p -типа, т. е. начинается процесс выравнивания концентрации — процесс диффузии, и, соответственно, «дырки» в процессе диффузии начинают переход из полупроводника p -типа в полупроводник n -типа. Однако выравнивания концен-

траций не происходит, так как при встрече «дырки» с электроном происходит процесс рекомбинации. В результате *n*-полупроводник заряжается положительно, а *p*-полупроводник — отрицательно. Возникает электрическое поле, препятствующее дальнейшему движению носителей тока, между *p*- и *n*-областями возникает контактная разность потенциалов, препятствующая дальнейшему переходу. При облучении светом возникают дополнительные заряды и равновесие нарушается. При замыкании цепи по ней начинает идти электрический ток.

Сила тока в цепи и, соответственно, ЭДС, создаваемая таким элементом, зависят от интенсивности солнечного излучения, площади фотоэлементов, конструкции и т. д. Основой для создания фотоэлемента является кремний с примесью различных атомов, обеспечивающих разные типы проводимости.

Вследствие малого значения ЭДС одного элемента их соединяют в батарею. При этом при параллельном соединении уменьшается внутреннее сопротивление, т. е. увеличивается сила тока в цепи, а при последовательном увеличивается напряжение, но уменьшается сила тока. Мощность определяется как произведение силы тока на напряжение, поэтому для получения максимальной мощности выбирается смешанное соединение элементов.

Солнечная батарея является нелинейным источником напряжения. Вольтамперная характеристика солнечной батареи располагается выше прямой линии, соединяющей напряжение источника без нагрузки (холостого хода) и ток короткого замыкания. Таким образом, максимальная мощность солнечной батареи выше максимальной мощности химической батареи (при тех же значениях напряжения холостого хода и тока короткого замыкания). Её значение можно получить расчётным путём из вольтамперной характеристики солнечной батареи.

2. Оборудование

Батарейка 1,5 В, солнечная батарея, источник света — лампа 100 Вт, амперметр, вольтметр, переменное сопротивление (реостат).

3. Порядок выполнения работы

3.1. Соберите схему с химической батареей (S) (рис. 14).

Примечание: при измерениях токов, близких току короткого замыкания, старайтесь максимально сокращать время измерений во избежание полного разряда батареи. Результаты измерений запишите в таблицу 5.1.

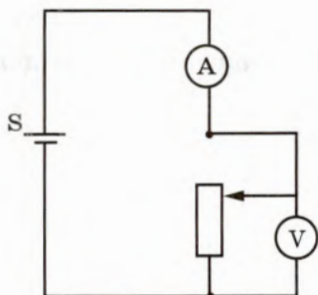


Рис. 14

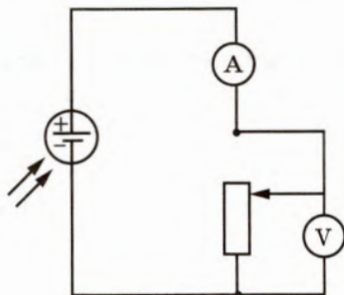


Рис. 15

Таблица 5.1. Результаты измерений (химический источник)

№ опыта	U , В	I , А	N , Вт
1			
2			
3			
4			
5			

3.2. Соберите схему с солнечным элементом (рис. 15).

Проведите измерения тока и напряжения с различными нагрузочными сопротивлениями.

Таблица 5.2. Результаты измерений (солнечная батарея)

№ опыта	U , В	I , А	N , Вт
1			
2			
3			
4			
5			

6. Результаты и выводы

Запишите интервал возможного значения максимальной мощности каждой из батарей.

Сравните и сделайте выводы.

7. Контрольные вопросы

1. Какой из двух измеренных источников выделяет большую мощность?
2. Какой из двух измеренных источников является линейным?
3. В чём различия примесной и собственной проводимости полупроводников?
4. Какое применение $p-n$ —перехода вам известно?
5. Дайте объяснение вольтамперной характеристики солнечной батареи.
6. Что мы не учли при расчётах и выводах?
7. Сформулируйте законы внутреннего и внешнего фотоэффекта.

Лабораторная работа № 6

Определение показателя преломления вещества по предельному углу полного внутреннего отражения

Цель работы: исследовать явление полного внутреннего отражения и определить показатель преломления вещества.

1. Теоретическая часть

Как известно, луч, падающий на границу раздела сред, преломляется. При этом выполняются законы преломления (рис. 16).

1) Падающий луч, преломлённый луч и нормаль к границе раздела сред в точке падения принадлежат одной плоскости.

2) Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления — величина постоянная и равна относительному показателю преломления второй среды относительно первой:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = n, \quad (1)$$

где n — относительный показатель преломления, v_1 и v_2 — скорости света в первой и второй средах.

Если луч света падает на границу оптически более плотной среды с оптически менее плотной средой ($n_1 > n_2$), то угол падения всегда меньше угла преломления.

При увеличении угла падения увеличивается угол преломления (рис. 17).

При определённом угле падения угол преломления α_0 становится равным 90° , и преломлённый луч начинает скользить вдоль границы раздела сред.

При дальнейшем увеличении угла падения падающие на границу сред лучи уже не попадают во вторую среду, испытывая отражение. Это явление отражения света при углах падения, больших α_0 , называется **явлением полного внутреннего отражения**, а угол α_0 (предельный угол) называют **предельным углом полного внутреннего отражения света**.

В этом случае согласно формуле (1) получим

$$\frac{\sin \alpha_0}{\sin 90^\circ} = \sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1} = n.$$

Таким образом, зная значение предельного угла, можно определить относительный показатель преломления. Если известен пока-

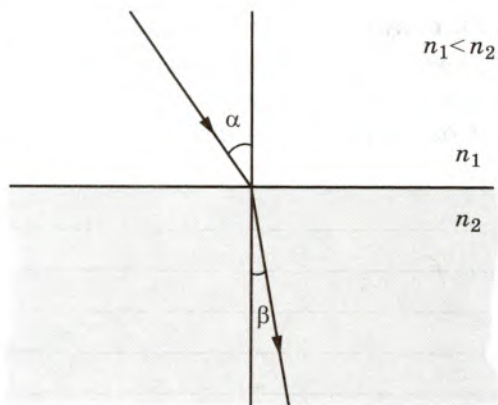


Рис. 16

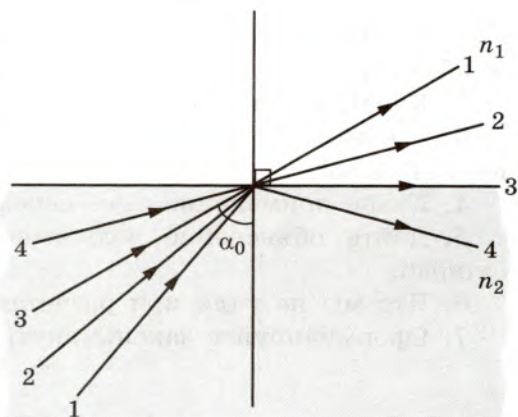


Рис. 17

затель преломления одной из сред, то можно найти абсолютный показатель преломления второй среды. Так, если границей является стекло—воздух, для которого абсолютный показатель преломления равен единице, то

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n_1} \text{ и } n_1 = \frac{1}{\sin \alpha_0}.$$

Явление полного внутреннего отражения используется в оборотных (б) и поворотных (а) призмах (рис. 18).

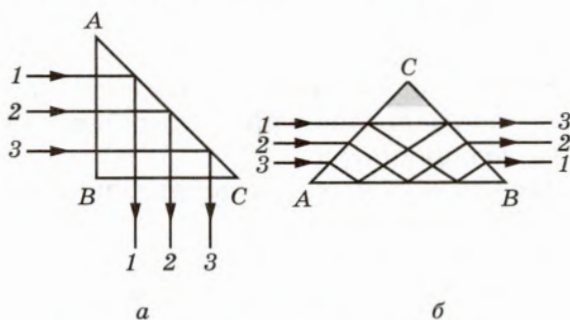


Рис. 18

2. Оборудование

Прозрачные пластинки в виде полуцилиндра и треугольника, миллиметровая бумага, транспортир, лазерная указка или источник света и щель, позволяющая получить тонкий световой пучок.

3. Порядок выполнения работы

Первый опыт.

1. Возьмите лист миллиметровой бумаги, на нём нарисуйте окружность, с помощью транспортира нанесите метки на дуге окружности, при этом угловое расстояние между метрами должно быть не больше 10° .

2. Положите полуцилиндр на бумагу, при этом центр полуокружности цилиндра должен совпасть с центром нарисованной окружности.

3. Обведите полуцилиндр карандашом, на бумаге должен получиться контур полуцилиндра.

4. Направьте лазерный луч так, чтобы он падал перпендикулярно дуге окружности и под небольшим углом к плоской грани полуцилиндра. Убедитесь в том, что луч испытывает преломление.

5. Отметьте на контуре полуцилиндра точки падения луча на дугу призмы, плоскую грань, а также точки на преломлённом луче, проведите прямые, совпадающие с падающим и преломлённым лучами (рис. 19).



Рис. 19

6. Измерьте транспортиром углы падения и преломления, а также с помощью делений, отмеченных на нарисованной окружности. Убедитесь в совпадении значений (табл. 6.1).

Второй опыт.

7. Возьмите новый лист бумаги и увеличивайте угол падения луча до момента, когда преломлённый луч будет скользить вдоль плоской границы полуцилиндра.

8. Измерьте угол падения, сделайте это измерение не меньше трёх раз (табл. 6.2).

Третий опыт.

9. Увеличьте угол падения и измерьте углы падения и отражения α и β , нанося точки, совпадающие с падающим и отражённым лучами.

10. Меняя угол, сделайте измерения ещё два раза (табл. 6.3).

Четвёртый опыт.

11. Положите на бумагу треугольную призму и направьте луч перпендикулярно большой стороне (основанию) призмы. Отметьте точки на падающем луче и измерьте углы падения и отражения лучей на двух боковых гранях призмы (табл. 6.4).

Таблица 6.1

Измерение	α	β
1		

Таблица 6.2 (опыт 2)

№ измерения	α_0	$\beta = 90^\circ$
1		—
2		—

№ измерения	α_0	$\beta = 90^\circ$
3		—
	$\alpha_{\text{ср}}$	—

Таблица 6.3 (опыт 3)

№ опыта	α	β
1		
2		
3		
		—

Таблица 6.4 (опыт 4)

№ опыта	α_1	β_1	α_2	β_2

4. Расчёты

Таблица 6.5

Опыт (табл. 6.1)	α	β	$\sin\alpha$	$\sin\beta$	$n = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}$	$n_2 = 1$	$n_1 = \frac{1}{n}$

Таблица 6.6

Опыт (табл. 6.2)	α_0	$n_2 = 1$	$\sin\alpha_0$	$n_1 = \frac{1}{\sin\alpha_0}$
1				

Опыт (табл. 6.2)	α_0	$n_2 = 1$	$\sin\alpha_0$	$n_1 = \frac{1}{\sin\alpha_0}$
2				
3				
				n_{1cp}

5. Погрешности измерений

Вычислим среднюю абсолютную погрешность измерения показателя преломления.

Эту погрешность определяем по формуле

$$\Delta n_1 = \frac{|n_{1(1)} - n_{1cp}| + |n_{1(2)} - n_{1cp}| + |n_{1(3)} - n_{1cp}|}{3}.$$

Относительная погрешность равна

$$\varepsilon = \frac{\Delta n_1}{n_{1cp}}.$$

Таблица 6.7

№ опыта	n_1	n_{1cp}	$n_{1(i)} - n_{1cp}$	Δn	ε
1					
2					
3					

6. Результаты и выводы

Запишите интервал значений показателя преломления.

Сравните два значения показателя преломления вещества, полученные в опытах 1 и 2.

По таблице известных показателей преломления определите вещество, из которого сделан полуцилиндр.

7. Контрольные вопросы

1. Дайте определение абсолютного и относительного показателей преломления.

2. Можно ли сказать, что абсолютный показатель преломления имеет наименование, а относительный нет?

3. При явлении полного внутреннего отражения может ли небольшой световой поток проходить через границу сред?

4. Какое условие необходимо, чтобы треугольная призма была оборачивающей?

5. За счёт чего возникают погрешности при определении показателя преломления в этой работе?

6. Какие свойства вещества определяют его показатель преломления?

7. Влияет ли прозрачность на показатель преломления среды?

8. Что означает термин «оптически более плотная среда»?

Лабораторная работа № 7

Измерение показателя преломления стекла

Цель работы: изучить законы преломления света и определить показатель преломления стекла.

1. Теоретическая часть

Пересекая границу раздела двух сред с разными оптическими свойствами, свет преломляется, т. е. меняет направление распространения (рис. 20). Это объясняется изменением скорости света при переходе из одной среды в другую. Максимальная скорость света в вакууме: $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Показатель преломления характеризует изменение скорости света в среде.

Абсолютный показатель преломления определяется отношением скорости света c в вакууме к скорости света v в данной среде: $n = \frac{c}{v}$. Из этого определения следует, что абсолютный показатель преломления всегда больше единицы.

Закон преломления света: отношение синуса угла падения к синусу угла преломления равно обратному отношению абсолютных показателей преломления соответствующих сред (см. рис. 20):

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (1)$$

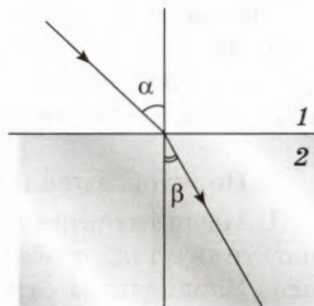


Рис. 20

В свою очередь, $\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_2}{v_1}$, т. е. отношение показателей преломления равно обратному отношению скоростей света в первой и второй средах.

Это отношение называется относительным показателем преломления второй среды относительно первой.

Среда с бóльшим абсолютным показателем преломления считается оптически более плотной средой. Если свет падает из среды оптически менее плотной на границу раздела со средой оптически более плотной, то угол падения больше, чем угол преломления ($\alpha > \beta$).

Для определения относительного показателя преломления двух сред достаточно согласно формуле (1) измерить угол падения α на границу раздела сред и угол преломления β .

Таким же способом можно определить и абсолютный показатель преломления, если одна из двух сред — воздух, так как скорость света в воздухе практически равна скорости света в вакууме.

2. Оборудование

Стеклянная пластинка, лист миллиметровой бумаги, булавки или тонко отточенный карандаш, миллиметровая линейка, лазерная указка или источник света и щель, позволяющие получить тонкий световой пучок.

3. Порядок выполнения работы

1. Начертите линию на листе миллиметровой бумаги и положите пластинку так, чтобы одна из её параллельных граней совпала с ней. Карандашом отметьте другую параллельную грань пластинки.

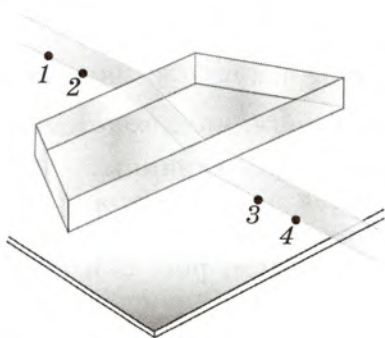


Рис. 21

2. Направьте луч так, чтобы он падал на грань пластинки под углом. Убедитесь в том, что луч испытывает двукратное преломление (рис. 21).

3. Не сдвигая пластинку, отметьте точки 1 и 2 на пути падающего луча и точки 3 и 4 на пути преломлённого луча.

4. Снимите пластинку и начинайте чертить (рис. 22).

5. Проведите падающий луч через точки 1 и 2 до границы пластинки.

Точку пересечения луча с пластинкой обозначьте буквой *B*.

6. Проведите прямую через точки 3 и 4 до границы со второй гранью. Точку пересечения преломлённого луча с границой обозначьте буквой *F*.

7. Из точки *B* проведите окружность радиусом *BA*.

8. Начертите линию, перпендикулярную граням и проходящую через точку *B*.

9. Проведите прямую линию через точки *B* и *F*. Она совпадает с преломлённым лучом на границе раздела сред воздух—стекло. Эта линия пересекает окружность в точке *C*.

10. Для определения синусов углов падения и преломления проведите отрезки *AE* и *CD*. Тогда треугольники *AEB* и *BDC* являются прямоугольными, причём $BC = AB$ как радиусы одной окружности.

11. Обозначьте углы α и β : $\sin \alpha = \frac{AE}{AB}$, $\sin \beta = \frac{DC}{BC} = \frac{DC}{AB}$.

Тогда показатель преломления стекла $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{AE}{DC}$. Измерив длины этих отрезков, определите *n*.

12. Меняя угол падения, проведите измерения ещё два раза.

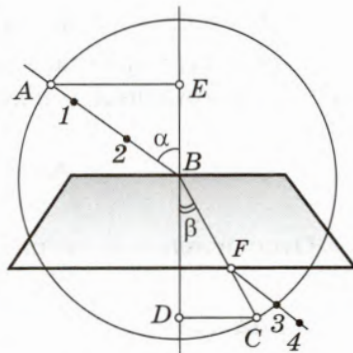


Рис. 22

Таблица 7.1

№ опыта	<i>AE</i> , мм	<i>DC</i> , мм
1		
2		
3		

4. Расчёты

Таблица 7.2

№ опыта	1	2	3	$n_{\text{ср}} = \frac{n_1 + n_2 + n_3}{3}$
$n = \frac{AE}{DC}$				

Сравните найденные абсолютные погрешности.

6. Результаты и выводы

Выберите максимальную абсолютную погрешность и запишите интервал значений показателя преломления по результатам своей работы.

Сделайте выводы.

7. Контрольные вопросы

1. Что называется абсолютным и относительным показателями преломления?
2. Как изменится относительный показатель преломления, если стеклянную пластинку поместить в воду?
3. За счёт чего возникают погрешности измерений?
4. Можно ли определить показатель преломления стекла, измерив транспортиром углы? Какой метод лучше?
5. Зная показатель преломления среды, какую физическую величину, характеризующую данную среду, можно вычислить?
6. Что характеризует оптическую плотность среды?
7. При переходе из одной среды в другую изменяется скорость распространения волны. Какая из характеристик электромагнитной волны также изменяется?

Определение оптической силы и фокусного расстояния собирающей линзы

Цель работы: научиться практически получать и графически строить изображения в собирающей линзе. Определить оптическую силу линзы.

1. Теоретическая часть

Уравнение линзы имеет вид $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = D$, или $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$,

где D — оптическая сила линзы, F — её фокусное расстояние, d — расстояние от предмета до оптического центра линзы, f — расстояние от изображения до оптического центра (рис. 23).

Это уравнение позволяет рассчитать расстояние от источника до изображения, если известны фокусное расстояние линзы и расстояние от предмета до оптического центра линзы.

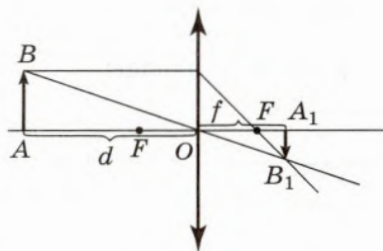


Рис. 23

2. Оборудование

Лампочка накаливания со спиралью, линза, линейка, два прямоугольных треугольника, источник тока, выключатель, соединительные провода, направляющая рейка, экран.

3. Порядок выполнения работы

1. Соберите электрическую цепь согласно рисунку 24.
2. Поместите лампочку и экран на края направляющей рейки. Между ними установите линзу (рис. 25).

3. Включите лампочку и передвигайте линзу до тех пор, пока на экране не возникнет чёткое изображение спирали. Получите при разных положениях линзы два изображения спирали: одно увеличенное, другое уменьшенное. Для измерений выберите вариант с уменьшенным изображением: так точность эксперимента будет выше.

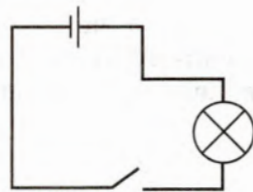


Рис. 24

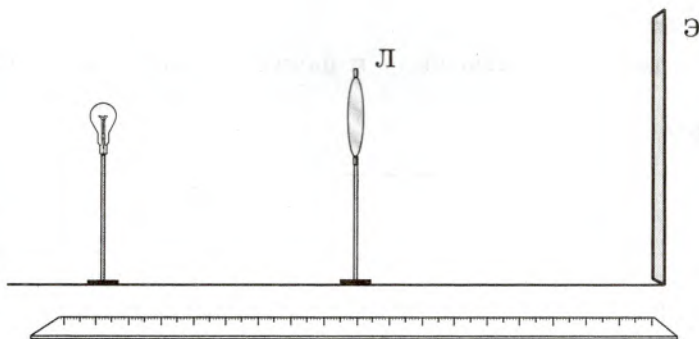


Рис. 25

4. Измерьте расстояния d и f .

5. При неизменном расстоянии d сдвиньте экран и затем, перемещая его, снова получите чёткое изображение спирали. Измерьте f . Повторите подобное измерение ещё раз. Значения занесите в таблицу 8.1.

Таблица 8.1

№ опыта	d	f
1		
2		
3		
	—	$f_{\text{ср}}$

6. Измерьте толщину h линзы (рис. 26). Этот параметр вам пригодится при расчёте погрешностей измерений.

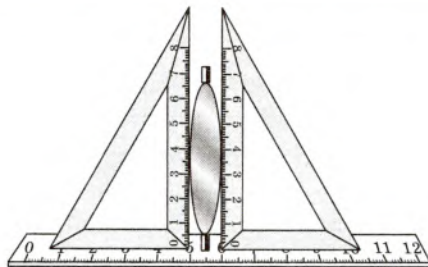
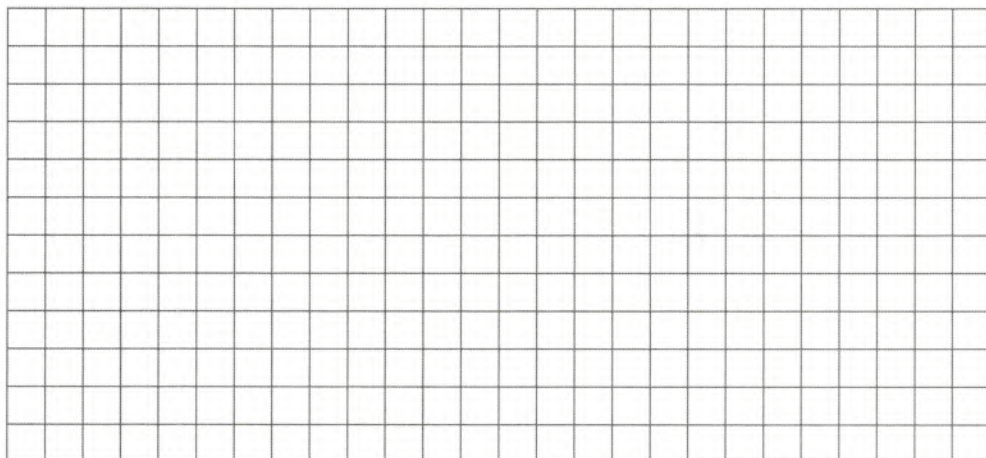


Рис. 26

6. Результаты и выводы

Определив интервал возможных значений оптической силы, запишите результат.

Проанализируйте, как вы получили два изображения предмета при одном и том же расстоянии между предметом и экраном. Выполните соответствующие построения изображений.



7. Контрольные вопросы

1. Для каких линз справедлива формула, используемая в работе?
2. Какие линзы называют собирающими, а какие — рассеивающими?
3. Что такое оптический центр линзы?
4. Что такое луч? Верно ли утверждение, что луч — это тонкий пучок света?
5. Какие изображения можно получить с помощью собирающей линзы?
6. Какие изображения вы получили в этой работе?
7. Как получить мнимое изображение с помощью собирающей линзы? Выполните построение.

Определение оптической силы и фокусного расстояния рассеивающей линзы

Цель работы: научиться строить изображение в рассеивающей линзе и системе линз, определять фокусное расстояние рассеивающей линзы.

1. Теоретическая часть

Рассеивающая линза даёт мнимое изображение (рис. 27), поэтому её фокусное расстояние методом, предложенным в работе № 8, измерить невозможно.

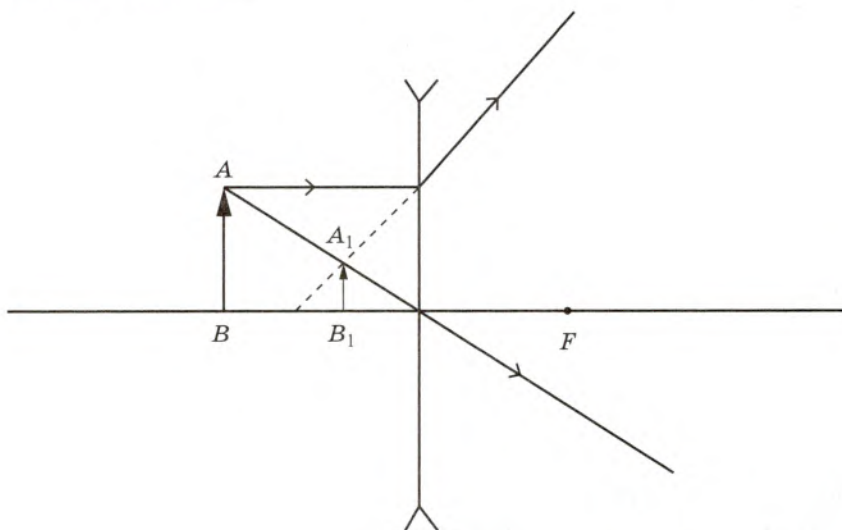


Рис. 27

Поэтому предлагается получить изображение на экране с помощью рассеивающей и собирающей линз.

На рисунке 28 показано построение изображения в двух линзах. Сначала получаем изображение в рассеивающей линзе. Это изображение является предметом для собирающей линзы.

Уравнение рассеивающей линзы в данном случае имеет вид (см. рис. 28):

$$-\frac{1}{F_1} = \frac{1}{d_1} - \frac{1}{f_1}. \quad (1)$$

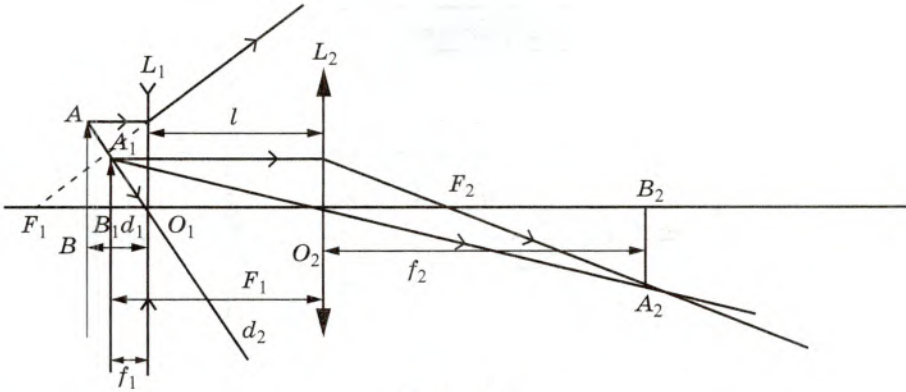


Рис. 28

Отсюда

$$f_1 = \frac{F_1 d_1}{F_1 + d_1}.$$

Расстояние от предмета до собирающей линзы равно

$$d_2 = f_1 + l = \frac{d_1 F_1}{d_1 + F_1} + l.$$

Запишем уравнение для собирающей (второй) линзы:

$$\frac{1}{F_2} = \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2}. \quad (2)$$

Подставив выражение для d_2 в (2) и сделав преобразования, получим формулу для расчёта фокусного расстояния:

$$\frac{1}{F_1} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{\frac{F_2 f_2}{f_2 - F_2} - l}. \quad (3)$$

Оптическая сила рассеивающей линзы равна найденной из (3) величине, взятой со знаком «минус».

2. Оборудование

Лампочка накаливания со спиралью, собирающая линза с известным фокусным расстоянием и рассеивающая линза, линейка, источник тока, направляющая рейка, экран.

3. Порядок выполнения работы

1. Соберите электрическую цепь согласно рисунку 29.
2. Поместите лампочку и экран на края направляющей рейки. Между ними поместите рассеивающую и собирающую линзы

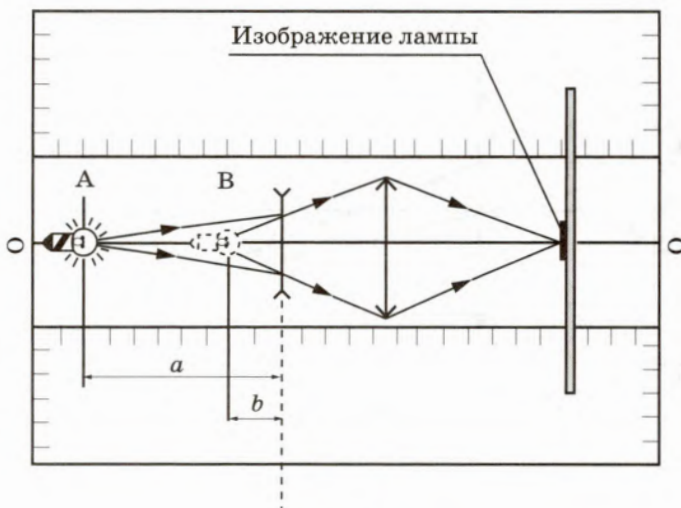


Рис. 29

(рис. 30). При этом рассеивающая линза должна находиться близко к лампочке, а расстояние между линзами должно быть меньше двух фокусных расстояний собирающей линзы.

3. Включите лампочку и, передвигая экран, получите чёткое изображение спирали лампы.

4. Измерьте расстояния d_1 , l , f_2 .

5. При неизменном расстоянии d_1 придвиньте линзу 2 к линзе 1 и, перемещая экран, опять получите чёткое изображение спирали лампы, измерьте l , f_2 . Повторите ещё один раз подобное измерение.

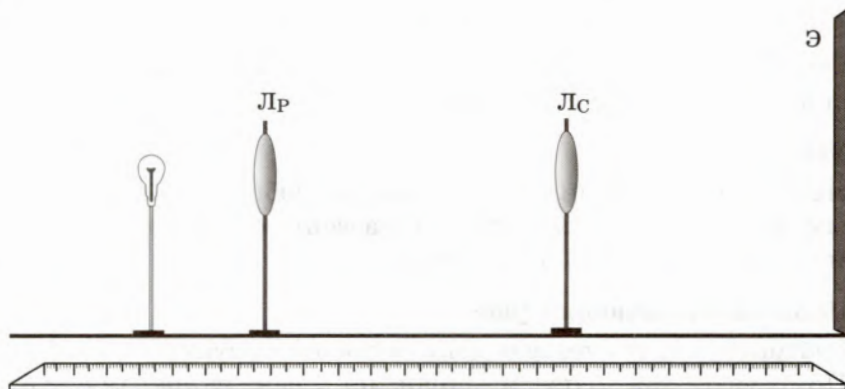


Рис. 30

Все измеренные величины занесите в таблицу 9.1.

Таблица 9.1

№ опыта	d_1 , см	l , см	f_2 , см
1			
2	—		
3	—		

4. Расчёты

Рассчитайте фокусное расстояние и оптическую силу рассеивающей линзы.

Таблица 9.2

№ опыта	$\frac{1}{d_1}$, 1/см	$M = \frac{F_2 f_2}{f_2 - F_2}$, см	$M - l$, см	$\frac{1}{M - l}$, см ⁻¹	$\frac{1}{F_1} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{M - l}$, см ⁻¹	F_1 , см	$D = -\frac{1}{F_1}$, дптр
1							
2	—						
3	—						
						F_{1cp}	D_{cp}

5. Погрешности измерений

Вычислим среднюю абсолютную погрешность измерения оптической силы линзы.

Эту погрешность определяем по формуле

$$\Delta D = \frac{|D_1 - D_{cp}| + |D_2 - D_{cp}| + |D_3 - D_{cp}|}{3}.$$

Относительная погрешность равна

$$\varepsilon = \frac{\Delta D}{D_{\text{ср}}}$$

Таблица 9.3

№ опыта	D	$D_{\text{ср}}$	$D_i - D_{\text{ср}}$	$\sum D_i - D_{\text{ср}} $	$\Delta D = \frac{\sum_i D_i - D_{\text{ср}} }{3}$	$\varepsilon = \frac{\Delta D}{D_{\text{ср}}}$
1					—	—
2					—	—
3					—	—

6. Результаты и выводы

Запишите окончательный результат измерений в виде:

$$D_{\text{ср}} - \Delta D < D < D_{\text{ср}} + \Delta D.$$

7. Контрольные вопросы

1. Чем отличается мнимое изображение от действительного изображения предмета?
2. Как понять, какая линза перед вами, если известна её оптическая сила?
3. Почему в данной работе используется собирающая линза?
4. Если мнимое изображение в рассеивающей линзе находится на половине фокусного расстояния, то где находится предмет?
5. За счёт чего возникают ошибки при измерении фокусного расстояния линзы таким способом?
6. Можно ли поменять местами собирающую и рассеивающую линзы и провести необходимые измерения?

Лабораторная работа № 10

Измерение длины световой волны

Цель работы: получить дифракционный спектр и определить длину волны света.

1. Теоретическая часть

Дифракция света — это явление огибания волнами препятствия и попадания света в область геометрической тени. Для наблюдения такого явления необходимо, чтобы размеры препятствия были соизмеримы с длиной волны.

Дифракционная решётка представляет собой чередование узких щелей, разделённых непрозрачными промежутками. Суммарная ширина одной прозрачной и одной соседней непрозрачной полос называется **периодом дифракционной решётки**. Период дифракционной решётки обычно бывает около 10 мкм, т. е. порядка длины световой волны.

Рассмотрим волны, идущие после прохождения щелей дифракционной решётки под углом φ от соответствующих точек двух соседних щелей (рис. 31). Угол φ — случайная величина и называется углом дифракции.

Угол дифракции может изменяться от $-\pi/2$ до $+\pi/2$. Между экраном и дифракционной решёткой помещают собирающую линзу.

Волны, идущие под одним углом φ , собираются в точке А экрана.

Условие наблюдения главных максимумов имеет вид

$$d \sin \varphi = \pm k \lambda, \quad (1)$$

где d — период дифракционной решётки, λ — длина волны, $k = 0, 1, 2, \dots$.

Положение дифракционного максимума, как видно из формулы, зависит от длины волны. Условие максимума выполняется для всех длин волн при угле дифракции, равном нулю. Поэтому в центре экрана видна белая полоса. При рассмотрении спектра первого порядка, для которого условие наблюдения главных максимумов имеет вид

$$d \sin \varphi = \pm \lambda, \quad (2)$$

становится очевидным, что для фиолетовых лучей угол дифракции наименьший, а для красных — наибольший, поэтому фиолетовые линии спектра располагаются ближе к максимуму нулевого порядка, а красные, наоборот, на максимальном удалении от него.

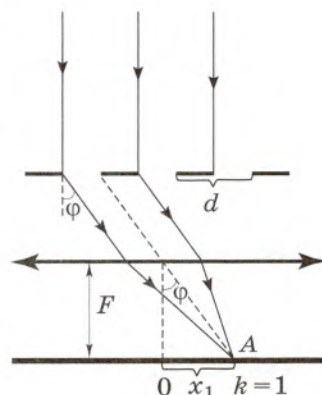


Рис. 31

Итак, если известен период d дифракционной решётки и угол дифракции φ , можно определить длину световой волны по формуле (2).

Угол φ можно определить, зная расстояние x_1 от нулевого максимума до линии первого порядка и расстояние от экрана до линзы (см. рис. 31):

$$\operatorname{tg} \varphi \approx \sin \varphi \approx \frac{x_1}{F}.$$

В данной работе дифракционный спектр получается в отражённом свете (рис. 32). В этом случае

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{x}{l}.$$

Окончательно

$$\lambda = \frac{d \cdot x}{k \cdot l}. \quad (3)$$

2. Оборудование

Дифракционная решётка 1 в держателе 2 , линейка 3 , по которой может перемещаться экран 4 с узкой щелью 5 посередине, на экране линейка с миллиметровыми делениями. Установка крепится на штативе 6 . За экраном находится источник света.

3. Порядок выполнения работы

1. Соберите установку согласно рисунку 33. Экран должен находиться на расстоянии 50 см от решётки.

2. Убедитесь в том, что если смотреть сквозь решётку и прорезь в экране на источник света, то на чёрном фоне экрана наблюдаются дифракционные спектры первого и второго порядка. Если картина смещена, то, перемещая решётку в держателе, установите её так, чтобы дифракционные спектры были параллельны шкале экрана.

3. Составьте таблицу 10.1, куда вы будете заносить измеренные значения.

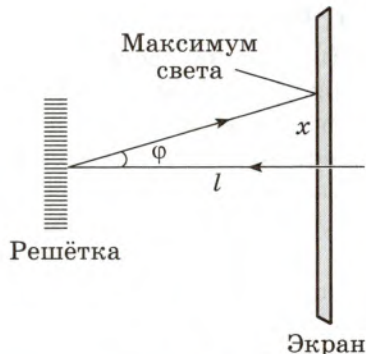


Рис. 32

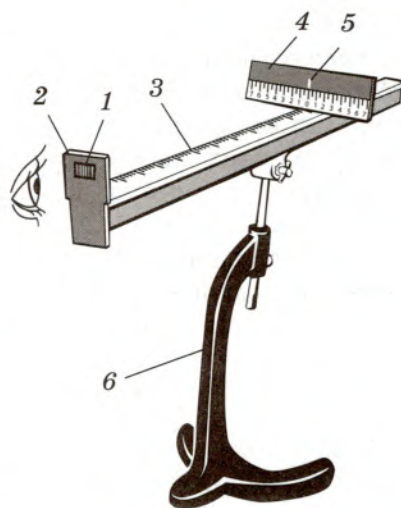


Рис. 33

3. Почему формулу (1) называют не условием наблюдения максимумов, а условием наблюдения главных максимумов?

4. Почему мы не записываем условие главных минимумов?

5. Наблюдали ли вы дифракцию механических волн? Сложнее или легче наблюдать дифракцию механических волн по сравнению с дифракцией световых волн?

6. Как изменится дифракционный спектр, если взять источник монохроматического света?

Лабораторная работа № 11

Оценка информационной ёмкости CD-диска

Цель работы: оценка объёма информации, содержащейся на CD-диске.

1. Теоретическая часть

На применяемых в компьютерах CD-дисках информация записывается в виде тёмных меток (углублений), расположенных на витках спирали. При этом витки спирали тесно примыкают друг к другу так, что каждый участок диска практически представляет собой дифракционную решётку. Определив расстояние между дорожками и зная среднюю длину дорожки, а также ширину участка диска, на котором произведена запись, можно оценить количество содержащейся на нём информации. При этом следует допустить, что расстояние между тёмными метками имеет то же значение, что и расстояние между дорожками. Для определения этого расстояния можно рассмотреть дифракционный спектр, полученный в отражённом свете от дифракционной решётки, образованной дорожками на поверхности диска. При этом удобно использовать монохроматический источник света — бытовой лазер или лазерную указку. Направив луч лазера на край диска, можно наблюдать несколько дифракционных максимумов (рис. 34).

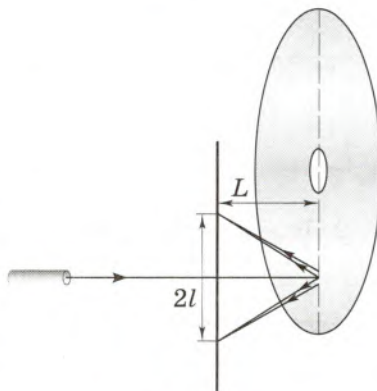


Рис. 34

2. Оборудование

CD-диск, пластилин, лазерная указка, лист бумаги, линейка с миллиметровой шкалой, карандаш.

3. Порядок выполнения работы

1. Составьте таблицу и записывайте в неё результаты измерений, а также длину волны лазерного луча (обычно $\lambda = 0,6$ мкм).

2. С помощью пластилина закрепите CD-диск на столе таким образом, чтобы его плоскость была перпендикулярна плоскости стола.

3. Разместите лазерную указку на стопке тетрадей так, чтобы лазерный луч был параллелен столу, направлен перпендикулярно диску и попадал на его рабочую поверхность. Рекомендуемое расстояние между выходным окном лазера и диском $100-150$ мм.

4. Поместите лист бумаги за лазером и наблюдайте световые пятна, соответствующие различным порядкам дифракции.

5. Прорежьте в бумаге маленькое отверстие. Поместите лист бумаги на пути луча. Лазерный луч должен проходить через отверстие, и на бумаге должны появиться два симметричных пятна, соответствующие спектру первого порядка (рис. 35).

6. Отметьте карандашом положения этих пятен.

7. Измерьте расстояние $2l$ между этими пятнами (см. рис. 35).

8. Измерьте расстояние L между листом бумаги и диском (см. рис. 34).

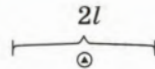


Рис. 35

4. Расчёты

1. Вычислите синус угла, соответствующий первому порядку дифракции: $\sin\alpha = \frac{l}{\sqrt{l^2+L}}$.

2. Вычислите период решётки: $d = \frac{\lambda}{\sin\alpha}$.

6. Результаты и выводы

Сравните полученное значение со стандартным объёмом информации, записываемой на подобном диске. За счёт чего у вас получилось другое значение?

Рекомендация. Такой же способ оценки объёма информации можно использовать и для DVD-диска. Вы можете также сравнить объёмы информации, записанной на разных дисках.

7. Контрольные вопросы

1. Какой вид имеет спектр на CD-диске в белом свете? Почему?
2. Почему для расчёта периода решётки удобно пользоваться спектром первого порядка?
3. Можно ли, наблюдая дифракционный спектр на диске, сразу оценить расстояние между дорожками?

Лабораторная работа № 12

Определение удельного заряда частицы по треку частиц в камере Вильсона

Цель работы: определить частицу, влетевшую в камеру Вильсона, помещённую в магнитное поле, методом сравнения её трека с треком протона.

1. Теоретическая часть

Камера Вильсона — герметично закрытый сосуд, наполненный парами воды или спирта при давлении и температуре, соответствующих состоянию насыщенного пара. При резком (адиабатном) увеличении объёма пара температура понижается и пар становится перенасыщенным. Такое состояние пара является неустойчивым. При появлении в нём центров конденсации (частиц пыли, ионов) вокруг них появляются капельки жидкости. Если в камеру сразу

после расширения пара попадает частица, то при полёте она ионизирует молекулы пара и вдоль её пути появляются капельки жидкости, так возникает видимый след частицы — трек.

Если камеру Вильсона поместить в магнитное поле, то траектории заряженных частиц искривляются под действием силы Лоренца:

$$\frac{mv^2}{R} = qvB.$$

Из этого выражения можно определить отношение заряда частицы к её массе (удельный заряд), если определить радиус кривизны траектории частицы, её скорость и модуль индукции магнитного поля:

$$\frac{q}{m} = \frac{v}{RB}.$$

Таким образом, если скорости частиц одинаковы, то отношение удельных зарядов частиц равно обратному отношению радиусов траектории частиц:

$$\left(\frac{q_1}{m_1}\right) / \left(\frac{q_2}{m_2}\right) = \frac{R_2}{R_1}.$$

По этой формуле можно определить удельный заряд неизвестной частицы и, зная его, определить неизвестную частицу, влетевшую в камеру Вильсона.

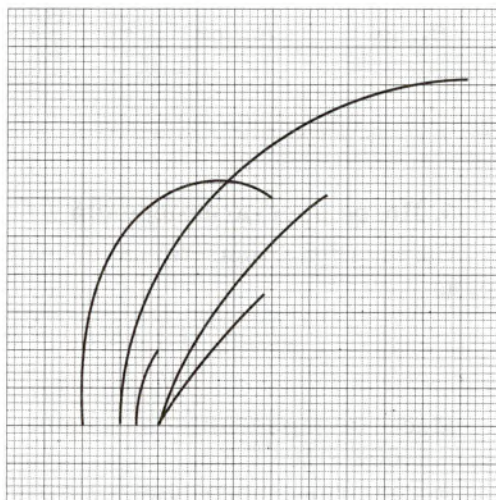


Рис. 36

2. Оборудование

Линейка, тонкая прозрачная бумага (калька), карандаш, изображения двух треков (рис. 36).

3. Порядок выполнения работы

1. Перенесите на кальку треки частиц.
2. Определите радиус трека протона. Для этого проведите две хорды и из их середины восстановите два перпендикуляра. Точка пересечения перпендикуляров — центр окружности.

3. Измерьте линейкой радиус кривизны траектории протона.
 4. Таким же образом измерьте радиус кривизны траектории неизвестной частицы.

Таблица 12.1

Величина	R_1	R_2

4. Расчёты

Таблица 12.2

R_1 , см	R_2 , см	$\frac{R_1}{R_2}$	$\frac{\Delta q_1}{q_1}$	$\frac{q_2}{m_2} = \left(\frac{q_1}{m_1}\right) \frac{R_1}{R_2}$

5. Погрешности измерений

Вычислите относительную погрешность измерения удельного заряда

$$\varepsilon = \Delta \left(\frac{q_2}{m_2} \right) / \frac{q_2}{m_2} = \frac{\Delta q_1}{q_1} + \frac{\Delta m_1}{m_1} + \frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2}.$$

Масса и заряд протона равны: $m_1 = 1,673 \cdot 10^{-27}$ кг,
 $q_1 = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Абсолютные погрешности этих табличных величин равны
 $\Delta m_1 = 0,0005 \cdot 10^{-27}$ кг, $\Delta q_1 = 0,0005 \cdot 10^{-19}$ Кл.

$$\Delta \frac{q_2}{m_2} = \varepsilon \frac{q_2}{m_2}$$

Таблица 12.3

$\frac{\Delta q_1}{q_1}$	$\frac{\Delta m_1}{m_1}$	$\frac{\Delta R_1}{R_1}$	$\frac{\Delta R_2}{R_2}$	$\varepsilon = \frac{\Delta q_1}{q_1} + \frac{\Delta m_1}{m_1} + \frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2}$	$\Delta \frac{q_2}{m_2} = \varepsilon \frac{q_2}{m_2}$

6. Результаты и выводы

Запишите окончательный результат измерений в виде

$$\left(\frac{q_2}{m_2}\right)_{\text{выч}} - \Delta \frac{q_2}{m_2} < \frac{q_2}{m_2} < \left(\frac{q_2}{m_2}\right)_{\text{выч}} + \Delta \frac{q_2}{m_2}.$$

По известным значениям масс и зарядов элементарных частиц определяем неизвестную частицу, влетевшую в камеру Вильсона.

7. Контрольные вопросы

1. Какова траектория нейтральных частиц в камере Вильсона?
2. Как изменилась бы траектория неизвестной частицы, если бы её заряд был отрицателен?
3. Какими были бы треки частиц в пузырьковой камере?
4. Как зависит радиус траектории частицы от значения модуля вектора магнитной индукции?
5. Как можно определить энергию частицы?
6. Как изменяется вид трека при уменьшении скорости влетевшей частицы?
7. Какие в данной работе мы делаем прямые измерения, а какие — косвенные?

Содержание

Введение.....	3
Погрешности измерений	4
План выполнения лабораторной работы	7
Лабораторная работа № 1	
Взаимодействие постоянного тока с магнитным полем	—
Лабораторная работа № 2	
Явление электромагнитной индукции.....	11
Лабораторная работа № 3	
Определение ускорения свободного падения с помощью математического маятника	16
Лабораторная работа № 4	
Исследование зависимости периода колебаний пружинного маятника от жёсткости пружины	20
Лабораторная работа № 5	
Определение максимальной мощности химической и солнечной батарей.....	26
Лабораторная работа № 6	
Определение показателя преломления вещества по предельному углу полного внутреннего отражения	31
Лабораторная работа № 7	
Измерение показателя преломления стекла	37
Лабораторная работа № 8	
Определение оптической силы и фокусного расстояния собирающей линзы	42
Лабораторная работа № 9	
Определение оптической силы и фокусного расстояния рассеивающей линзы	46
Лабораторная работа № 10	
Измерение длины световой волны	50
Лабораторная работа № 11	
Оценка информационной ёмкости CD-диска.....	55
Лабораторная работа № 12	
Определение удельного заряда частицы по треку частиц в камере Вильсона	58



Учебное издание

Серия «Классический курс»

Парфентьева Наталия Андреевна

ФИЗИКА

11 класс

Базовый и углублённый уровни

Тетрадь для лабораторных работ

Учебное пособие для общеобразовательных организаций

Центр естественно-научного образования

Руководитель центра *В. В. Жумаев*

Ответственный за выпуск *Н. В. Мелешко*

Редакторы *Н. В. Мелешко, Н. Н. Гриценко*

Художественный редактор *Т. В. Глушкова*

Художник *Е. В. Бугаева*

Техническое редактирование и компьютерная вёрстка *С. В. Китаевой*

Корректор *Н. А. Ерохина*

Подписано в печать 22.03.2021. Формат 70 × 90 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Гарнитура SchoolBook. Печать офсетная. Уч.-изд. л. 2,6. Тираж 1000 экз. Заказ № 3360УДП.

Акционерное общество «Издательство «Просвещение».

Российская Федерация, 127473, г. Москва,

ул. Краснопролетарская, д. 16, стр. 3, этаж 4, помещение I.

Предложения по оформлению и содержанию учебников —
электронная почта «Горячей линии» — fru@prosv.ru.

По вопросам приобретения: 8 (495) 789-30-40 (доб. 22-79).

По вопросам о продукте: 8 (495) 789-30-40 (доб. 40-13),

TGorbunova@prosv.ru — пособия дошкольного уровня образования.

По вопросам о продукте: 8 (495) 789-30-40 (доб. 44-98),

EAkimova@prosv.ru — пособия для школы 1—11 кл.

Отпечатано с готовых файлов заказчика в АО «Первая Образцовая типография»,
филиал «УЛЬЯНОВСКИЙ ДОМ ПЕЧАТИ». 432980, Россия, г. Ульяновск, ул. Гончарова, 14

Для заметок



Учебник имеет электронную форму

Дополнительные материалы к УМК размещены в электронном каталоге издательства «Просвещение» на интернет-ресурсе www.prosv.ru



БАЗОВЫЙ И УГЛУБЛЁННЫЙ УРОВНИ

Состав завершённой предметной линии учебников серии «Классический курс»:

- Учебник. 10 класс. Авторы Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, Н. Н. Сотский
- Учебник. 11 класс. Авторы Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, В. М. Чаругин

В учебно-методический комплект для 11 класса входят:

- Рабочая программа
- Учебник
- Сборник задач по физике
- Тетрадь для лабораторных работ
- Поурочные разработки
- Самостоятельные и контрольные работы

Полный ассортимент продукции издательства «Просвещение» вы можете приобрести в официальном интернет-магазине shop.prosv.ru:

- низкие цены;
- оперативная доставка по всей России;
- защита от подделок;
- привилегии постоянным покупателям;
- разнообразные акции в течение всего года.




ПРОСВЕЩЕНИЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО
www.prosv.ru

