

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Колледж электроники и бизнеса

Кафедра электронной техники и физики

Н.В.Тесля

ФИЗИКА

Методические указания к лабораторному практикуму

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург 2011

УДК 53(076.32)
ББК 22.3я73
Т36

Рецензент – заведующий кафедрой электронной техники и физики
В.В. Проходцев.

Тесля, Н.В.
Т36 Физика: методические указания к лабораторному практикуму
/Н.В. Тесля; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2011. – 130 с.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторного практикума по специальности "Физика" студентам колледжа, обучающихся по специальностям 080501.51 - Менеджмент, 210308.51 - Техническое обслуживание и ремонт радиоэлектронной техники, 230105.51 - Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем 140212 - Электроснабжение.

УДК 53(076.32)
ББК 22.3я73

© Тесля Н. В., 2011
© ОГУ, 2011

Содержание

Введение.....	7
1 Теоретическая часть к лабораторной работе № 1 Определение ускорения свободного падения с помощью маятника.....	9
1.1 Колебательное движение.....	9
1.2 Условия возникновения колебаний.....	11
1.3 Классификация колебательных движений.....	12
1.4 Параметры колебательного движения.....	13
1.5 Гармоническое колебание.....	18
1.6 Уравнение гармонического колебания и его график.....	21
1.7 Математический маятник.....	23
1.8 Законы колебания математического маятника.....	25
1.9 Физический маятник.....	25
1.10 Практические применения маятников.....	27
1.11 Распространение колебательного движения в упругой среде.....	28
1.12 Перенос энергии бегущей волной.....	30
1.13 Поперечные и продольные волны.....	31
1.14 Волна и луч. Длина волны.....	33
2 Практическая часть лабораторной работы № 1.....	34
3 Вопросы для защиты лабораторной работы № 1.....	36
4 Теоретическая часть к лабораторной работе № 2. Сборка и испытание простейшего детекторного радиоприемника.....	37
4.1 Превращение энергии в закрытом колебательном контуре. Частота собственных колебаний.....	37
4.2 Затухающие электромагнитные колебания. Электрический резонанс.....	41
4.3 Получение незатухающих колебаний с помощью лампового генератора....	43
4.4 Электромагнитное поле как особый вид материи.....	45
4.5 Открытый колебательный контур. Излучение.....	46

4.6 Электромагнитные волны. Скорость их распространения.....	48
4.7 Опыты Герца.....	50
4.8 Изобретение радио А. С. Поповым. Радиотелеграфная связь.....	51
4.9 Радиотелефонная связь. Амплитудная модуляция.....	54
4.10 Устройство простейшего лампового радиоприемника с усилителем низкой частоты.....	57
4.11 Понятие о радиолокации.....	58
5 Практическая часть к лабораторной работе № 2.....	59
6 Вопросы для защиты лабораторной работы № 2.....	60
7 Теоретическая часть к лабораторной работе № 3. Определение показателя преломления стекла.....	63
7.1 Краткая история развития представлений о природе света.....	63
7.2 Понятие об электромагнитной теории света. Диапазон световых волн.....	64
7.3 Понятие о квантовой теории света. Постоянная Планка.....	65
7.4 Источники света.....	67
7.5 Принцип Гюйгенса. Световые лучи.....	68
7.6 Скорость распространения света в различных средах. Оптическая плотность среды.....	69
7.7 Оптические явления на границе раздела двух прозрачных сред.....	70
7.8 Законы отражения света.....	72
7.9 Законы преломления света.....	74
7.10 Абсолютный показатель преломления и его связь с относительным показателем преломления.....	78
8 Практическая часть к лабораторной работе № 3.....	79
9 Вопросы для защиты лабораторной работы.....	81
10 Теоретическая часть к лабораторной работе № 4. Определение фокусного расстояния и оптической силы линзы.....	82
10.1 Определение и виды линз.....	82
10.2 Фокус фокальной плоскости линзы.....	84

10.3	Оптическая сила линзы и единицы ее измерения.....	87
10.4	Опыт получения изображений при помощи собирающей тонкой линзы...	88
10.5	Построение изображений в линзах.....	89
10.6	Формулы тонкой линзы.....	92
10.7	Коэффициент увеличения линзы.....	94
11	Практическая часть лабораторной работы № 4.....	95
12	Контрольные вопросы к лабораторной работе № 4.....	96
13	Теоретическая часть к лабораторной работе № 5. Определение длины световой волны с помощью дифракционной решетки.....	98
13.1	Интерференция волн	98
13.2	Интерференция света. Бипризма Френеля.....	101
13.3	Дифракция света.....	102
13.4	Дифракционная решетка.....	103
14	Практическая часть лабораторной работы № 5.....	104
15	Контрольные вопросы к лабораторной работе № 5.....	106
16	Теоретическая часть к лабораторной работе № 6. Наблюдение спектров излучения различных веществ с помощью спектроскопа.....	107
16.1	Понятие о дисперсии света.....	107
16.2	Разложение белого света призмой. Сплошной спектр.....	108
16.3	Сложение спектральных цветов. Дополнительные цвета.....	110
16.4	Цвета тел.....	111
16.5	Ультрафиолетовая и инфракрасная части спектра.....	113
16.6	Роль ультрафиолетовых и инфракрасных лучей в природе. Их применение в технике.....	115
16.7	Приборы для получения и исследования спектров.....	116
16.8	Виды спектров.....	118
16.9	Спектры поглощения газов. Опыты Кирхгофа	120
16.10	Спектральный анализ.....	121
16.11	Рентгеновские лучи и их практическое применение.....	123

16.12 Шкала электромагнитных волн.....	127
17 Практическая часть к лабораторной работе № 6.....	127
18 Контрольные вопросы к лабораторной работе № 6.....	129
Список использованных источников.....	130

Введение

Методические указания содержат теоретический материал в объеме курса физики, изучаемого студентами средних профессиональных учебных заведений. Содержание и расположение материала соответствует государственному стандарту общего образования Министерства образования и науки Российской Федерации. Изложение материала ведется на основе международной системы единиц (СИ).

Физика оказывает большое влияние на другие науки и различные области техники, поэтому изучение теоретического материала, закрепляемого лабораторными экспериментами, создает базу для профессиональной подготовки студентов колледжа. В лабораторный практикум включены задания для самостоятельной работы, что позволяет исключить формальное усвоение учебного материала и научить применять его для практических целей. Для облегчения работы над заданиями, параграфы, там, где это целесообразно, разбиты на небольшие части. Методические указания будут полезны студентам как при изучении курса физики, так и при подготовке к экзаменам.

Методические указания к лабораторному практикуму состоят из шести разделов, в каждом из которых рассматривается одна лабораторная работа. Методические указания строятся следующим образом.

Первый раздел включает в себя теоретическую часть работы, которая состоит из вывода законов и объяснения колебательных и волновых процессов; практическую часть, в которой последовательно описывается порядок снятия опытных замеров и выполнения практических заданий. Контрольные вопросы составлены по всем 14 частям темы первого раздела. В ходе работы приобретаются знания темы «Колебания и волны», закрепляются теоретические выводы конкретными опытами.

Во втором разделе рассматривается тема «Электромагнитные колебания и волны». В ходе работы закрепляются знания по принципам радиосвязи, приобретаются умения собирать схемы радиоприемников.

В третьем разделе рассматривается тема «Природа света», раскрываются законы отражения и преломления света. В ходе работы, закрепляются знания теоретического материала и приобретаются умения определять относительный показатель преломления стекла, используя специальное оборудование.

Четвертый раздел охватывает тему «Линзы». В ходе работы приобретаются знания темы курса «Получение изображений с помощью линз».

Пятый раздел охватывает тему «Явления, объясняемые волновыми свойствами света». В ходе работы приобретаются знания по курсу «Интерференция и дифракция света. Дифракционная решетка».

Шестой раздел направлен на изучение темы «Излучение и спектры». В ходе работы закрепляются знания по курсу «Дисперсия света». Приобретаются умения пользоваться спектро스코пом и различать видов спектров.

Все теоретические выводы закрепляются конкретными опытами, что позволяет студенту наглядно представить, что получится после применения тех или иных теоретических знаний.

1 Теоретическая часть к лабораторной работе № 1. Определение ускорения свободного падения с помощью маятника

1.1 Колебательное движение

В природе и технике встречается очень много повторяющихся процессов, в основе которых лежат колебания того или иного вида и создаваемые ими волны.

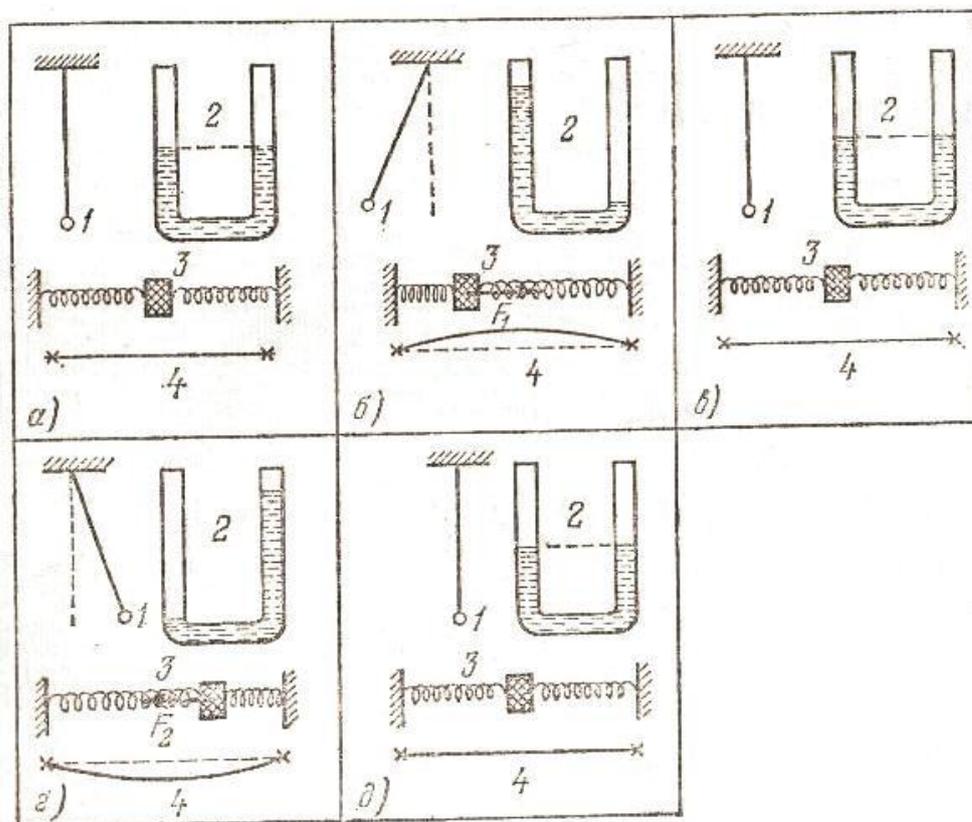


Рисунок 1- Тела, совершающие различные механические колебания

К такого рода процессам относятся звуковые явления, работа часового механизма, переменный ток в цепи, электромагнитные колебания и т. д.

Природа колебаний разнообразна, но для их описания ввели такие величины, которые оказались одинаково применимыми ко всем колебаниям, независимо от их природы. Проще всего выяснить физический смысл этих величин на примере механических колебаний, которые наиболее наглядны.

На рисунке 1 показаны тела, совершающие различные механические колебания:

- 1 — колебания маятника;
- 2 — колебания жидкости;
- 3 — колебания пружины с грузом;
- 4 — колебания струны.

На рисунке 1, а) все тела находятся в положении устойчивого равновесия. Для того чтобы вывести эти тела из равновесия, нужно за счет работы какой-нибудь внешней силы сообщить им избыточную энергию. Тогда они займут положения, показанные на рисунке 1, б) Если теперь предоставить этим телам возможность двигаться беспрепятственно, то они начинают совершать колебательное движение, поочередно проходя положения в, г, д и снова б, а затем повторяют весь цикл движения в том же порядке.

Проследив за движением какой-либо точки одного из этих тел, можно видеть, что она при своем движении проходит одну и ту же траекторию поочередно в двух противоположных направлениях. Поскольку характер движения всех точек тела одинаков, колебательные процессы удобно изучать на примере колебательного движения одной точки тела. Подчеркнем, что важнейшим признаком колебательного движения является его повторяемость через равные промежутки времени T , т. е. его периодичность.

Таким образом, механическим колебанием называют периодически повторяющееся движение материальной точки по какой-либо траектории, которую эта точка проходит поочередно в противоположных направлениях. Отметим, что каждую определенную точку траектории колеблющаяся частица проходит, имея одинаковую по величине скорость.

Полным колебанием точки называют один законченный цикл колебательного движения, после которого оно повторяется в том же порядке.

1.2 Условия возникновения колебаний

Выясним, при соблюдении каких условий возникает и поддерживается в течение некоторого времени колебательное движение.

Первым условием, необходимым для возникновения колебаний, является наличие у материальной точки избыточной энергии (кинетической или потенциальной) по сравнению с ее энергией в положении устойчивого равновесия.

Второе условие можно установить, проследив за движением груза 3 на рисунке 1. В положении б на груз 3 действует сила упругости $F\%$, направленная к положению равновесия груза (б). Под действием этой силы груз смещается к положению равновесия с постепенно возрастающей скоростью движения v , а сила F_1 уменьшается и исчезает, когда груз попадает в это положение (в). Скорость груза в этот момент максимальна по величине, и груз, проскакивая через положение равновесия, продолжает двигаться вправо. При этом возникает сила упругости F_2 , которая тормозит движение груза 3 и останавливает его (г). Сила F_2 в этом положении имеет максимальную величину; под действием этой силы груз 3 начинает двигаться влево. В положении равновесия на рисунке 1(5) сила F_2 исчезает, а скорость груза достигает наибольшего значения, поэтому груз продолжает двигаться влево, пока не займет положение (б). Далее весь описанный процесс повторяется снова в том же порядке.

Таким образом, колебания груза 3 происходят вследствие действия силы F и наличия у груза инерции. Силу, приложенную к материальной точке, всегда направленную к положению устойчивого равновесия точки, называют возвращающей силой. В положении устойчивого равновесия возвращающая сила равна нулю и возрастает по мере удаления точки от этого положения.

Итак, вторым условием, необходимым для возникновения и продолжения колебаний материальной точки, является действие на материальную точку возвращающей силы: Напомним, что эта сила всегда возникает, когда какое-либо тело выводится из положения устойчивого равновесия.

В идеальном случае, при отсутствии трения и сопротивления среды, полная механическая энергия колеблющейся точки остается постоянной, так как в процессе таких колебаний происходит лишь переход кинетической энергии в потенциальную и обратно. Такое колебание должно продолжаться неопределенно долгое время.

Если колебания материальной точки происходят при наличии трения и сопротивления среды, то полная механическая энергия материальной точки постепенно убывает, размах колебаний уменьшается и через некоторое время точка останавливается в положении устойчивого равновесия.

Бывают случаи, когда потери энергии материальной точкой настолько велики, что если внешняя сила отклоняет эту точку из положения равновесия, то она теряет всю свою избыточную энергию при возвращении в положение равновесия. В этом случае колебаний не получится. Итак, третье условие, необходимое для возникновения и продолжения колебаний, следующее: избыточная энергия, полученная материальной точкой при смещении из положения устойчивого равновесия, не должна полностью расходоваться на преодоление сопротивления при возвращении в это положение.

1.3 Классификация колебательных движений

Тела в зависимости от действующей на него силы. На колеблющуюся точку обязательно действует возвращающая сила. Колебания, которые совершает материальная точка (тело) под действием только одной возвращающей силы, называют собственными колебаниями точки (тела).

Отметим, что собственные колебания тела на практике никогда не происходят, так как на колеблющееся тело всегда действует еще сила сопротивления среды (сила трения). Действие силы сопротивления на колеблющееся тело сводится к тому, что несколько замедляется весь процесс колебания, т. е. увеличивается время одного полного колебания и колебания постепенно уменьшается размах колебаний.

Колебания материальной точки, которые происходят при действии на нее силы сопротивления среды и возвращающей силы, называют свободными колебаниями.

Свободные тела тем меньше отличаются от его собственных колебаний, чем меньше сила сопротивления среды, в которой происходят эти колебания. Таким образом, собственные колебания можно считать предельным случаем свободных колебаний при неограниченном уменьшении силы сопротивления.

Рассмотрим еще один вид колебаний. Когда на полу стоит ритмично работающая машина, например электродвигатель, то пол колеблется. При работе двигателя на катере, на самолете их корпуса тоже колеблются. Эти колебания вызываются периодически повторяющимся внешним воздействием. Колебания тела, которые создаются периодически действующей на тело внешней силой, называют вынужденными колебаниями. В этом случае на колеблющееся тело кроме периодически изменяющейся внешней силы действует еще сила сопротивления и возвращающая сила.

1.4 Параметры колебательного движения

Существуют характерные количественные признаки колебательного движения, которые позволяют отличить его от других колебаний и при известных условиях сохраняют свои числовые значения. Их называют параметрами колебательного движения.

Первым таким признаком колебательного движения является его периодичность. Величину T , характеризующую периодичность колебательного движения, называют периодом колебания. Период колебания измеряют временем, затраченным на одно полное колебание, и выражают в секундах.

Другим характерным признаком колебания является его частота (быстрота повторяемости), обозначаемая ν (греч. «ню»).

Величину ν , характеризующую скорость повторяемости колебательного движения, называют частотой колебаний. Частоту колебаний тела измеряют числом полных колебаний за единицу времени:

$$\nu = 1/T, \quad (1)$$

где ν – частота колебания;

T – период колебания.

Выведем единицу частоты:

$$\nu = 1/1\text{с} = \text{с}^{-1} = 1\text{Гц}. \quad (1a)$$

За единицу частоты колебаний принимают Герц (Гц). Герцем называют такую частоту колебаний тела, при которой оно совершает одно полное колебание за одну секунду.

Третьим характерным признаком колебательного движения является его амплитуда. Амплитудой A называется величина максимального отклонения колеблющейся точки от положения ее устойчивого равновесия. На рисунке 2 амплитуда колебания точки O равна OB .

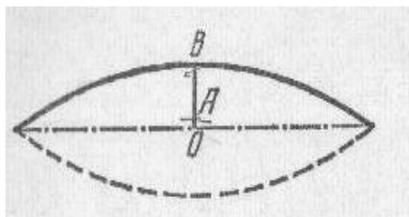


Рисунок 2 - Точка, колеблющаяся от ее устойчивого равновесия

Итак, у колебательного движения точки имеется три параметра: период T , частота ν и амплитуда A . Поскольку величины T и ν связаны формулой (1), для описания колебательного движения можно пользоваться любой из них (T или ν) и амплитудой A .

Колебания точки, которые происходят с постоянной амплитудой, называют незатухающими, а колебания с постепенно уменьшающейся амплитудой — затухающими. Вспомним, что затухающими колебаниями являются свободные колебания. Следует иметь в виду, что незатухающие колебания могут быть не только собственными. Вынужденные колебания тоже происходят с постоянной амплитудой. Поскольку сопротивление среды вызывает превращение механической энергии во внутреннюю, энергия колеблющейся точки при каждом колебании должна пополняться за счет работы периодически меняющейся внешней силы. Примером таких колебаний служат незатухающие колебания маятника в часах, где энергия маятника пополняется за счет энергии сжатой пружины. Отметим, что период вынужденных колебаний всегда совпадает с периодом изменения вынуждающей силы.

Энергия колебательного движения определяется его параметрами и массой колеблющегося тела. В теории колебаний доказывается, что избыточная энергия колеблющейся материальной точки прямо пропорциональна ее массе, квадрату амплитуды и квадрату частоты колебаний.

Величины, характеризующие мгновенное состояние колеблющейся точки. Период, частота и амплитуда колебательного движения не дают никаких сведений о том, где находится колеблющаяся точка в данный момент времени и в каком направлении она движется. Поэтому нужно ввести еще величины, характеризующие мгновенное состояние колеблющейся точки.

Первой такой величиной является смещение точки. Величину x , характеризующую положение колеблющейся точки в выбранный момент времени относительно положения равновесия, называют смещением. Смещение измеряют расстоянием от положения колеблющейся точки в заданный момент времени до ее положения устойчивого равновесия. Чтобы числовое значение смещения было однозначным, ему приписывают знак. Например, если смещение груза 3 из положения равновесия вправо на рисунке 1 считать положительным, то его смещение влево будет отрицательным.

Нетрудно сообразить, что амплитуда A численно равна наибольшему смещению колеблющейся точки от ее положения равновесия $X_{\text{макс}}$:

$$A = X_{\text{макс}} \quad (2)$$

Второй важной величиной, характеризующей мгновенное состояние колеблющейся точки, является фаза φ . Величину φ , характеризующую как положение, так и направление движения колеблющейся точки в заданный момент времени, называют фазой колебания. Фазу колебания точки измеряют отвлеченным числом, показывающим, какая часть периода прошла от момента начала колебания точки.

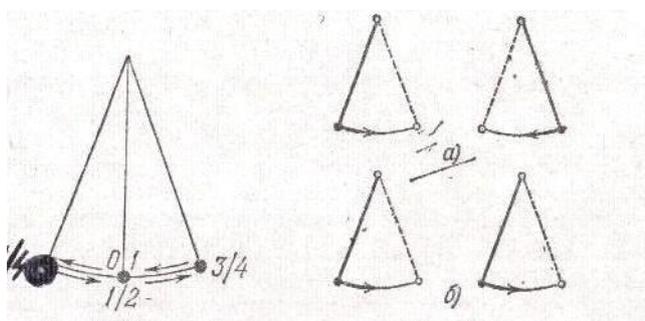


Рисунок 3 - Колебания маятника

Хотя фаза может иметь и большое числовое значение, обычно ее выражают правильной дробью, отбрасывая целые периоды, которые прошли от момента начала колебания, так как по прошествии целого периода весь процесс повторится снова в том же порядке.

Чтобы значение фазы было однозначным, нужно оговорить, какое положение колеблющейся точки берется за начало отсчета фазы. Например, можно принять за начало отсчета фазы колебания маятника положение равновесия маятника при его движении влево (рисунок 3). Тогда изменения фазы в процессе колебания маятника будут выражаться числами, указанными на рисунке 3. Если о таком маятнике нам скажут, что его фаза равна $\frac{1}{2}$, то мы будем знать, что он находится в положении равновесия и движется вправо.

Заметим, что от смещения фаза отличается не только тем, что позволяет определить направление движения. Смещение колеблющейся точки связано с амплитудой колебаний, а фаза — нет.

С помощью фазы можно установить различие в колебаниях точек, происходящих с одинаковыми периодами и амплитудами. На рисунке 3, а) изображены два одинаковых маятника, которые одновременно начинают колебания из положений, показанных на рисунке. Тогда их периоды и амплитуды будут одинаковы, но направления движений окажутся противоположными. Приняв для обоих маятников одинаковые начальные условия для отсчета фазы, различие в их колебаниях можно выразить разностью фаз. Представим себе, что оба маятника удерживаются в крайнем левом положении. Если правый маятник отпустить и, когда он займет крайнее правое положение, отпустить левый, то они оба будут колебаться, как показано на рисунке 3 а). Поскольку левый маятник начал свои колебания на полпериода позже правого, то говорят, что правый маятник опережает левый по фазе на $\frac{1}{2}$. (Подумайте, почему можно сказать, что правый маятник отстает по фазе от левого на $\frac{1}{2}$.) Итак, колебания маятников на рисунке 3 а) происходят с разностью фаз $\frac{1}{2}$, а на рисунке 3 б) — с разностью фаз 0 или 1.

Важно отметить, что когда два колебания происходят с одинаковым периодом (частотой), то разность фаз между ними сохраняется неизменной в течение всего времени колебаний.

Если колебания двух точек происходят с разностью фаз 0 или 1, то говорят, что они колеблются (находятся) в одинаковой фазе. В частности, когда колеблющиеся точки все время движутся в одном направлении, то их фазы одинаковы. Такие колебания иногда называют синхронными.

Когда колебания двух точек происходят с разностью фаз $\frac{1}{2}$, то говорят, что они имеют противоположные фазы. В частности, когда колеблющиеся точки все время движутся в противоположных направлениях, их фазы колебаний противоположны.

Кроме смещения и фазы, Мгновенное состояние колеблющейся точки характеризуют скоростью ее движения V и ускорением a , так как эти величины непрерывно изменяются со временем. Скорость v имеет максимальное значение в положении равновесия точки, а в крайних положениях она равна нулю. Ускорение a равно нулю в положении равновесия и имеет максимальное значение в крайних положениях колебания точки (объясните, почему).

1.5 Гармоническое колебание

В тех случаях, когда возвращающей силой является равнодействующая силы упругости и силы тяжести, параметры колебательного движения можно связать с параметрами движения точки по окружности.

Чтобы найти эту связь, сделаем следующий опыт. Поставим перед экраном центробежную машину, а на ее диске поместим стержень с шариком Ш на конце (рисунок 4). Направим свет так, чтобы на экране получилась резкая тень Т от шарика Ш. Поместим между экраном и машиной маятник М так, чтобы его тень совпала с тенью шарика на экране. Если заставить маятник качаться в плоскости, параллельной экрану, то можно вращать диск с такой постоянной скоростью, что тени шарика Ш и маятника М на экране будут всё время совпадать. Это доказывает, что проекция шарика на экране совершает такое же колебательное движение, как и маятник М.

Таким образом, если точка совершает колебание с постоянными амплитудой A и периодом T , то такое же колебание совершает проекция точки, равномерно движущаяся по окружности с радиусом A и периодом T , на один из диаметров окружности. Это дает возможность изучать особенности колебаний с помощью движения проекции указанной выше точки по диаметру окружности.

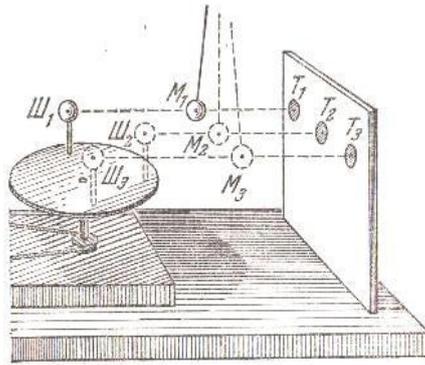


Рисунок 4 - Диск центробежной машины с шариком

Допустим, что точка C на рисунке 5 равномерно движется по окружности радиуса $O'C=A$ с угловой скоростью ω и совершает полный оборот за время T . Тогда проекция точки C на прямую MN будет совершать колебания с амплитудой A и периодом T . Отсчет времени будем вести от того момента, когда подвижный радиус занимает положение $O'C$, а колеблющаяся точка — положение O'' . Пусть за время t радиус повернулся на угол $\varphi=\omega t$, тогда

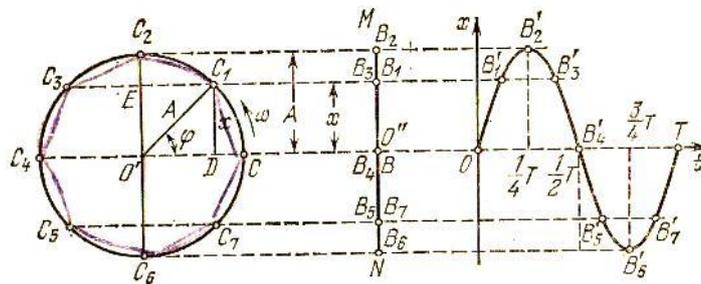


Рисунок 5 – График гармонического колебания

проекция его конца C переместится по прямой MN на расстояние $x=DC_1=O''B_1$. На окружности точками показаны положения конца подвижного радиуса через равные промежутки времени, а на прямой MN — положения колеблющейся точки в те же моменты времени.

Смещение x колеблющейся точки B от положения равновесия можно найти из треугольника $O'C_1D$:

$$x=A \sin \varphi \quad \text{или} \quad x=A \sin \omega t, \quad (3)$$

где x – смещение;

A - амплитуда колебания;

φ – фазовый угол;

ω – круговая или циклическая частота.

В этих формулах φ называют фазовым углом или фазой и выражают в радианах. Величину ω в применении к колебательному движению называют круговой или циклической частотой. Поскольку при равномерном движении точки по окружности угловая скорость выражается формулами

$$\omega = 2\pi/T, \text{ или } \omega = 2\pi\nu, \quad (4)$$

где π – число Пифагора (3,14),

то для фазового угла получаем формулы:

$$\varphi = 2\pi t / T, \text{ или } \varphi = 2\pi\nu t. \quad (5)$$

Из этих формул видно, что числовое значение фазы в радианах отличается от ее значения в долях периода t'/T только постоянным множителем 2π .

Отсчет времени можно производить от любого момента времени, например от момента положения точки C на рисунке 6. В этом случае начальное положение этой точки определяют углом φ_0 , который называют начальной фазой. Тогда фазу колебания можно выразить следующими формулами:

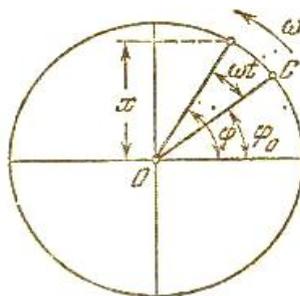


Рисунок 6 – Точка C в начальном положении

$$\varphi = \varphi_0 + \omega t \quad (6)$$

где φ_0 – начальный фазовый угол;

t – время.

$$\varphi = \varphi_0 + 2\pi t, \text{ или } \varphi = \varphi_0 + 2\pi \nu t. \quad (6a)$$

Колебания, которые описывают формулой (3), часто называют синусоидальными (или косинусоидальными). В физике такие колебания, при которых смещение подчиняется синусоидальному закону, называют гармоническими. В частности, колебания, которые происходят под действием только одной возвращающей силы, пропорциональной смещению, являются гармоническими. Следовательно, когда возвращающая сила выражается формулой:

$$F_B = -kx, \quad (7)$$

где F_B - возвращающая сила;

k – коэффициент пропорциональности;

x – смещение.

а другие силы на точку не действуют, ее колебания будут гармоническими.

(Знак минус означает, что F_B и x направлены противоположно.)

1.6 Уравнение гармонического колебания и его график

Формулу, выражающую зависимость смещения колеблющейся Точки от времени, называют уравнением колебательного движения. Таким образом, формулу (3) можно назвать уравнением гармонического колебания. Более общее уравнение гармонического колебания можно записать:

$$x = A \sin(\varphi_0 + \omega t), \quad (8)$$

$$x = A \sin(\varphi_0 + 2\pi t / T), \text{ или } x = A \sin(\varphi_0 + 2\pi \nu t) \quad (8a)$$

Колебание с начальной фазой $\pi/2$ подчиняется косинусоидальному закону:

$$\sin (\pi/2+\omega t)=\cos \omega t. \quad (86)$$

Это колебание, конечно, является гармоническим.

График гармонического колебания представляет собой синусоиду, которую строят следующим образом. Возьмем на продолжении прямой $O'O''$ точку O и примем ее за начало координат. По оси абсцисс будем откладывать время t , а по оси ординат — смещение x . Указав на оси абсцисс точки $1/8T$, $1/4T$ и т. д., покажем соответствующие им смещения точками B'_1 , B'_2 и т. д. Соединив точки B' плавной кривой, получим график гармонического колебания точки. На рисунке 5 показан график для одного периода T . За каждый следующий период колебания будет добавляться еще такой же отрезок графика.

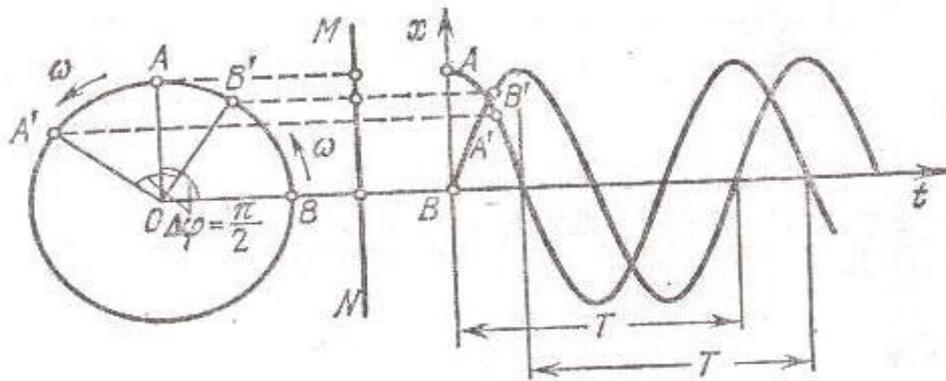


Рисунок 7 – Графики двух гармонических колебаний

На рисунке 7 показаны графики двух гармонических колебаний с одинаковыми периодами и амплитудами, но с разностью фаз $\pi/2$. Колебание, график которого расположен левее (синусоида A), опережает по фазе второе колебание (синусоида B) на $\pi/2$. Из рисунка 7 видно, что подвижный радиус OA' опережает на $\pi/2$ подвижный радиус OB' второго колебания.

При затухающих колебаниях период остается постоянным, а амплитуда постоянно уменьшается. График затухающего колебания показан на рисунке 8. Итак, при свободных колебаниях полной повторяемости процесса колебания нет и считать их гармоническими можно только с некоторым приближением.

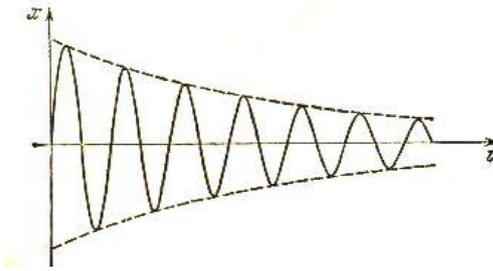


Рисунок 8 –График затухающего колебания

1.7 Математический маятник

Наблюдая за колебаниями маятников разной длины, легко заметить, что периоды их колебаний связаны с длиной маятников. Однако в случае реальных маятников не ясно, что следует считать длиной маятника. Например, перемещая диск маятника стенных часов вверх или вниз по стержню, можно изменять период его колебаний, хотя длина стержня маятника остается неизменной. Чтобы обойти эту трудность, сначала рассмотрим особенности колебания математического маятника, для которого вопрос о его длине ясен.

Математическим маятником называют материальную точку, подношенную на невесомой и нерастяжимой нити. Маленький тяжелый шарик, например свинцовый, подвешенный на тонкой, длинной и нерастяжимой нити, является хорошей моделью математического маятника, на которой и изучают его свойства. Прежде всего выясним, можно ли считать колебания математического маятника гармоническими. Для этого надо установить, как связана возвращающая сила F_v со смещением x .

Пусть колеблющийся математический маятник (рисунок 9) длиной l занимает мгновенное положение OM_1 . Возвращающая сила F_v равна равнодействующей силы тяжести F_T и силы упругости нити F_n направлена по касательной к дуге M_1M_0 (если пренебречь и центростремительной силой, необходимой для движения маятника по дуге). Из подобия треугольника, образованного силами F_T и F_v и ΔM_1OD имеем $F_v / F_T = M_1D / M_1O$ откуда $F_v = F_T M_1D / M_1O = F_T M_1D / l$

К положению равновесия маятник движется по дуге M_1M_0 , поэтому смещение x равно длине дуги M_1M_0 . Для малых углов α длина дуги M_1M_2 приблизительно равна хорде M_1M_2 , а длина дуги M_1M_0 — половине хорды M_1M_2 , т. е. $M_1M_0 \approx M_1D$ или $x \approx M_1D$. Поэтому для малых углов α можно считать, что

$$F_B = - F_T x / l = - (mg / l) x, \quad (9)$$

где F_T сила тяжести;

m — масса маятника;

g — ускорение свободного падения. $9,81 \text{ м/с}^2$.

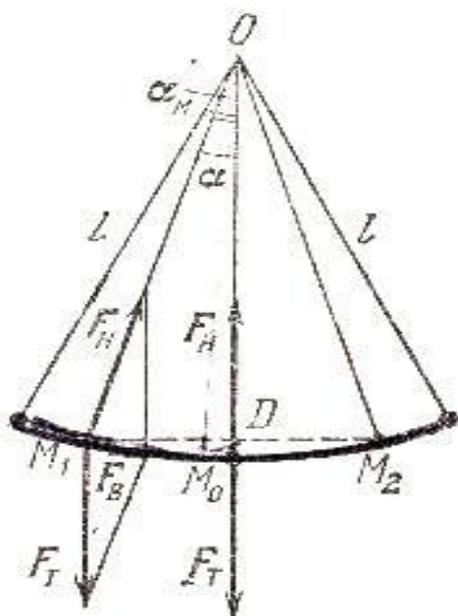


Рисунок 9 – Колеблющийся математический маятник

Знак минус поставлен потому, что x и F_B всегда направлены противоположно друг другу.

Величины m , g и l при колебаниях маятника в заданном месте Земли постоянны. Поэтому из формулы 9 видно, что возвращающая сила F_B прямо пропорциональна смещению, т. е. выражается формулой 7: $F_B = -kx$, где $k = mg/l$. Напомним, что это верно, когда угол α достаточно мал. Отметим, что если α_m — наибольший угол отклонения маятника от положения равновесия, то угол $2\alpha_m$ называют углом размаха.

Таким образом, при малом угле размаха (не превышающем нескольких градусов) колебания математического маятника можно считать гармоническими.

1.8 Законы колебания математического маятника

С помощью формулы 9 покажем, что период колебаний маятника зависит от его длины l . Поскольку при увеличении l возвращающая сила F_B уменьшается, то уменьшается и ускорение движения маятника, а следовательно, период его колебаний возрастает. Из той же формулы видно, что при увеличении g растет F_B , а значит, период уменьшается.

Описанные свойства математического маятника формулируют в виде двух законов.

1. При малых углах размаха период колебаний математического маятника не зависит ни от амплитуды, ни от массы маятника.

2. Период колебаний математического маятника прямо пропорционален корню квадратному из длины маятника l и обратно пропорционален корню квадратному из ускорения свободного падения g :

$$T = 2\pi \sqrt{l/g} \quad (10)$$

где l – длина нити подвеса маятника.

1.9 Физический маятник

Законы колебания математического маятника можно применять только к колебаниям таких тел, размеры которых малы по сравнению с расстоянием от точки подвеса до центра тяжести. Все маятники, для которых это условие не выполняется, называют физическим и. Пример такого маятника показан на рисунке 10.

Колебание физического маятника можно представить себе как совместное колебание множества материальных точек, связанных между собой, т. е. множества математических маятников с разной длиной (два из них показаны на рисунке 10).

Это означает, что применять к физическому маятнику формулу 10 нельзя. Действительно, период колебания линейки на рисунке 10, очевидно, будет больше, чем для математического маятника с длиной l_1 , но меньше, чем для математического маятника с длиной l_2 .

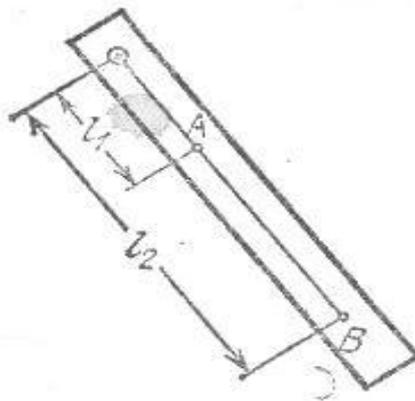


Рисунок 10 – Физический маятник

Чтобы иметь возможность пользоваться формулой (10) в случае физического маятника, поступают следующим образом. Приводят физический маятник в колебание и, подсчитав время определенного числа колебаний, находят его период T , а затем по формуле 10 вычисляют длину математического маятника, у которого период тоже равен T .

Длину математического маятника $l_{пр}$ у которого период колебаний равен периоду колебаний физического маятника, приведенной длиной этого физического маятника. Таким образом, формулу (10) в применении к физическому маятнику записывать так:

$$T = 2\pi \sqrt{l_{пр} / g}, \quad (11)$$

Отметим, что маятник называют секундным, если период простого колебания равен одной секунде. Для Москвы приведенная длина такого маятника равна 0,99 м.

1.10 Практические применения маятников

Наиболее известным практическим использованием маятника является применение его в часах для измерения времени. Впервые это сделал голландский физик Х. Гюйгенс.

Поскольку период колебаний маятника зависит от ускорения свободного падения g , часы, которые идут верно в Москве, будут идти вперед в Ленинграде. Чтобы эти часы шли верно в Ленинграде, приведенную длину их маятника нужно увеличить. (Объясните это с помощью формулы 11)

В геологии маятник применяют для опытного определения числового значения g в разных точках земной поверхности. Для этого по достаточно большому числу колебаний маятника в том месте, где измеряют g , находят период его колебаний T , а g вычисляют из формулы 11:

$$g = 4\pi^2 l_{\text{пр}} / T^2 \quad (11a)$$

Заметное отклонение величины g от нормы для какой-либо местности называют гравитационной аномалией. Определение аномалий помогает находить залежи полезных ископаемых.

Опыт показывает, что качающийся маятник сохраняет плоскость, в которой происходят его колебания. Это означает, что если принести в движение маятник, установленный на диске центробежной машины, а диск заставить вращаться, то плоскость качания маятника относительно комнаты изменяться не будет. Это позволяет с помощью опыта обнаружить вращение Земли вокруг своей оси.

В 1850 г. Ж. Фуко подвесил маятник под куполом высокого здания так, что острие маятника при качании оставляло след на песке, насыпанном на полу. Оказалось, что при каждом качании острие оставляет на песке новый след. Таким образом, опыт Фуко показал, что Земля вращается вокруг своей оси.

1.11 Распространение колебательного движения в упругой среде

Когда рыба «клюет» (дергает за крючок), то от поплавка по поверхности воды разбегаются круги. Вместе с поплавком смещаются соприкасающиеся с ним частицы воды, которые вовлекают в движение ближайšie к ним другие частицы и т. д.

Такое же явление происходит с частицами натянутого резинового шнура, если один его конец привести в колебание (рисунок 11). Распространение колебаний в среде называют волновым движением.

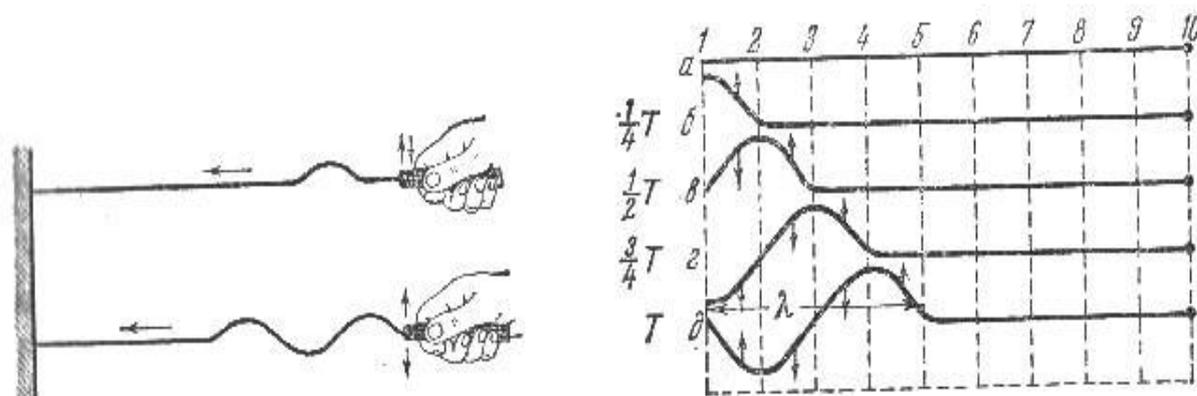


Рисунок 11 - Натянутый резиновый шнур, конец которого привели в колебание

Колеблующееся тело, создающее волновое движение в окружающей среде, называют вибратором. Рассмотрим подробнее, как возникает волна на шнуре.

Если зафиксировать положения шнура через каждые $\frac{1}{4} T$ после начала колебаний его первой точки, то получится картина, показанная на рисунке 11, б-д. Положение а соответствует началу колебаний первой точки шнура. Десять его точек помечены цифрами, а пунктирные прямые показывают, где находятся одни и те же точки шнура в разные моменты времени; стрелки показывают направление движения точек в волне.

Через $\frac{1}{4} T$ после начала колебания точка 1 занимает крайнее верхнее положение, а точка 2 только начинает свое движение. Поскольку каждая последующая точка шнура начинает свое движение позже предыдущей, то в промежутке 1-2 точ-

ки располагаются, как показано на рисунке 11, б. Еще через $\frac{1}{4} T$ точка займет положение равновесия и будет двигаться вниз, а верхнее положение займет точка 2 (положение В). Точка 3 в этот момент только начинает свое движение.

За целый период колебания распространяются до точки 5 шнура (положение д). По окончании периода T точка 1, двигаясь вверх, начнет свое второе колебание. Одновременно с ней начнет двигаться вверх и точка 5, совершая свое первое колебание. В дальнейшем эти точки будут иметь одинаковые фазы колебаний. Совокупность точек шнура в интервале 1-5 образует волну. Когда точка 1 закончит второе колебание, на шнуре вовлекутся в движение еще точки 5-9, т. е. образуется вторая волна.

Если проследить за положением точек, имеющих одинаковую фазу, то будет видно, что фаза как бы переходит от точки к точке и движется вправо. Действительно, если в положении б фазу $\frac{1}{4}$ имеет точка 1, то в положении в эту же фазу имеет точка 2 и т. д.

Волны, в которых происходит перемещение фазы с определенной скоростью, называют бегущими. При наблюдении за волнами видно именно распространение фазы, например движение гребня волны. Отметим, что все точки среды в волне колеблются около своего положения равновесия и вместе с фазой не перемещаются.

1.12 Перенос энергии бегущей волной

При незатухающих колебаниях тела, например маятника, его полная энергия остается неизменной, уменьшение кинетической энергии сопровождается одновременным увеличением его потенциальной энергии, и наоборот. В бегущих волнах дело обстоит иначе.

Распространение бегущих волн связано с передачей энергии от одной колеблющейся точки к другой. Это видно из такого примера. Когда где-либо происхо-

дит всплеск воды, например, вызванный прыжком рыбы, то от этого места кругами расходятся волны, которые уносят энергию все дальше от места их возникновения, а поверхность воды, пройденная волнами, успокаивается. Чтобы волны шли непрерывно, частицам воды в том месте, где возникают волны, нужно передавать все новую энергию. Например, ритмично дергая за поплавок, можно получить непрерывный ряд волн на поверхности воды.

Перенос энергии бегущей волной объясняется тем, что максимум как кинетической, так и потенциальной энергии в такой волне приходится на точку волны, которая проходит положение равновесия. Покажем это на примере волны, бегущей по шнуру.

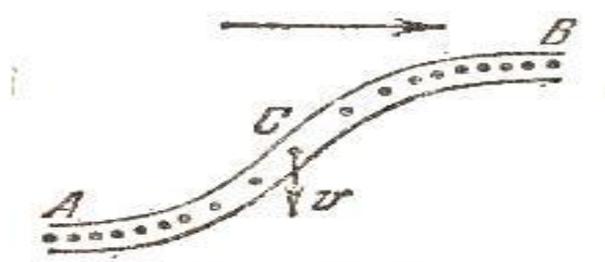


Рисунок 12 – Часть шнура, по которому распространяется волна

На рисунке 12 изображена часть шнура, по которому вправо бежит волна. Здесь следует заметить, что в состоянии покоя этот шнур занимает горизонтальное положение. Таким образом, когда по шнуру бежит волна, то в области точек А и В он не деформирован, а в точке С деформация сдвига у шнура наибольшая. Поэтому максимум потенциальной энергии упругой деформации шнура приходится на точку С, которая проходит положение устойчивого равновесия.

Но точка С имеет и наибольшую скорость движения v по сравнению с другими точками шнура, т. е. обладает максимальной кинетической энергией. Поскольку точка С движется вниз, через мгновение среднее положение займет ближайшая к ней точка справа, к которой перейдет и максимум энергии. Она в свою очередь передаст эту энергию еще дальше и т. д. Таким образом, передача энергии в бегущей

волне происходит с той же скоростью, с которой распространяется фаза колебаний. Теория показывает, что энергия, переносимая волной, прямо пропорциональна плотности среды, квадрату амплитуды колебаний и квадрату их частоты.

1.13 Поперечные и продольные волны

Вернемся еще раз к волнам на шнуре, показанным на рисунке 11, где видно, что волна бежит вправо, а каждая точка шнура движется вверх или вниз около положения равновесия. Волны, в которых колебания частиц среды происходят перпендикулярно к направлению распространения волны, называют поперечными. Они состоят из ряда чередующихся выпуклостей и впадин (рисунок 13).

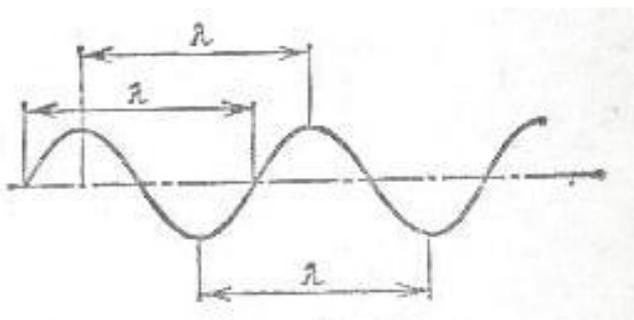


Рисунок 13 – Поперечная волна

Выше говорилось, что у шнура, когда по нему бежит волна, возникает деформация, следствием которой является изменение формы тела. Поперечные волны возможны только в случае, когда изменение формы сопровождается появлением упругих возвращающих сил. Поскольку этим свойством обладают только твердые вещества и поверхность жидкости, поперечные волны могут возникать только в твердых телах и на поверхностях жидкостей (рисунок 14).

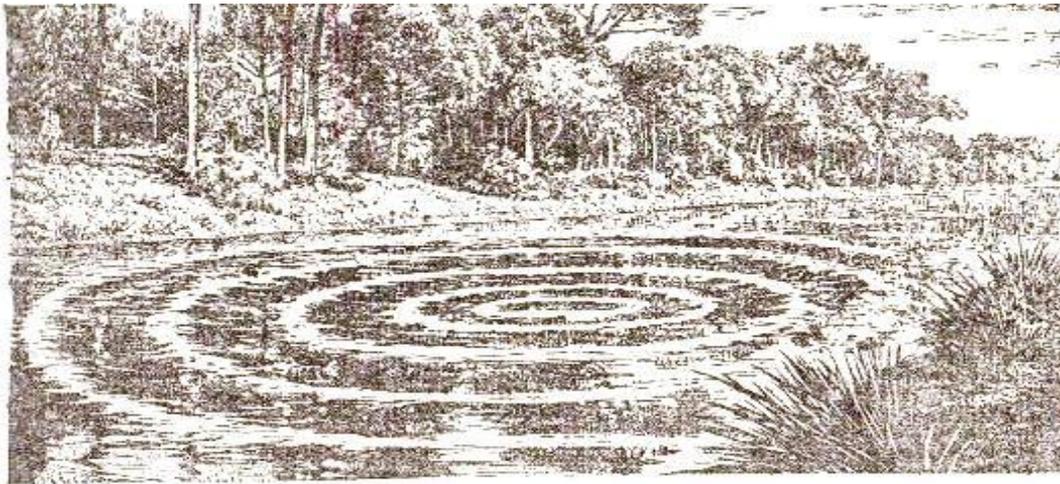


Рисунок 14 – Поперечные волны на поверхности воды

В природе существуют волны и другого вида. Если взять длинную пружину и толкнуть ее вдоль оси, как показано на рисунке 15, то по ней побегут волны в виде перемещающихся сгущений и разрежений витков.

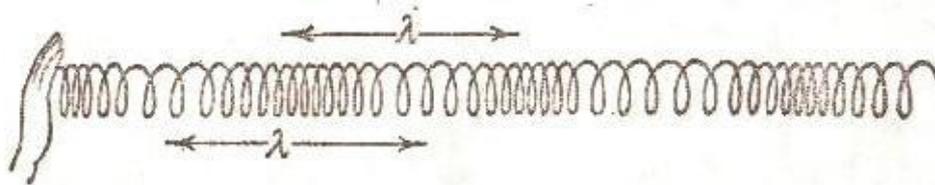


Рисунок 15 - Продольные волны, распространяющиеся вдоль пружины

В этом примере волна бежит вправо, а каждый виток пружины колеблется вдоль ее оси. Волны, в которых колебания частиц происходят по прямой, вдоль которой распространяется волна, называют продольными. Сдвиг частиц в этой волне происходит по линии, соединяющей их центры, т. е. вызывает изменение объема. Поскольку возвращающие силы при изменении объема возникают не только в твердых телах и жидкостях, но и в газах, продольные волны возможны в твердых телах, жидкостях и газах.

1.14 Волна и луч. Длина волны

На рисунке 14 видно, как распространяются волны на поверхности воды. Светлые окружности изображают гребни волн, т. е. совокупность точек, имеющих максимальное смещение из положения равновесия. Все эти точки колеблются в одинаковой фазе.

Когда волны распространяются не по поверхности среды, а внутри нее, то совокупность точек, колеблющихся в одинаковой фазе, составляет поверхность той или иной формы. Если среда изотропна, т. е. скорость распространения фазы в ней по всем направлениям одинакова, то эта поверхность имеет форму сферы. Такие волны называются сферическими.

Непрерывное геометрическое место точек волны, колеблющихся в одинаковых фазах, называют волновой поверхностью (например, светлые окружности на рисунке 14). Переднюю волновую поверхность, т. е. наиболее удаленную от источника, создающего волны, называют фронтом волны.

Линию, вдоль которой происходит распространение фронта волны, называют лучом. Нетрудно сообразить, что в изотропной среде луч всегда нормален (перпендикулярен) к волновой поверхности. В изотропной среде все лучи представляют собой прямые линии. Каждая прямая, соединяющая точку, в которой находится источник волны, с любой точкой фронта волны, в этом случае является лучом.

Перемещение фронта волны в такой среде происходит с постоянной скоростью, поэтому за один период колебаний источника, создающего волны, фронт волны перемещается на строго определенное расстояние λ . Поскольку каждая точка в волне совершает вынужденные колебания, частота этих колебаний равна частоте колебаний источника волны.

Величину λ , характеризующую перемещение, волновой поверхности за один период в зависимости от рода среды и частоты колебаний, называют длиной волны. Длину волны измеряют расстоянием, на которое перемещается волновая поверхность за один период колебаний источника волн. Другими словами, учитывая

изложенное можно сказать, что длиной волны, является расстояние между двумя ближайшими точками бегущей волны на одном луче, которые колеблются в одинаковой фазе. Отметим, что в расстоянии между двумя любыми точками бегущей волны, которые находятся на одном луче и колеблются в одинаковой фазе, всегда содержится целое число длин волн или четное число полуволн. Если же на луче взять две точки, колеблющиеся в противоположных фазах, то в расстоянии между ними всегда будет содержаться нечетное число полуволн.

Для поперечных волн (смотри рисунок 13) длиной волны является кратчайшее расстояние между двумя ближайшими выпуклостями или впадинами. Для продольных волн (смотри рисунок 15) длиной волны служит кратчайшее расстояние между центрами двух соседних сгущений или разрежений.

2 Практическая часть лабораторной работы № 1

Цель работы: Знакомство с одним из методов по определению ускорения свободного падения.

Оборудование: Маятник, измерительная линейка, часы.

Порядок выполнения работы

- 1) Установить длину нити маятника около 1 метра.
- 2) Привести маятник в колебания при этом угол размаха маятника не должен превышать 3-5 градусов.
- 3) Определить время 100 колебаний "t".
- 4) Вычислить период полного колебания по формуле $T=t/n$, где n - число колебаний.

5) Пользуясь законом математического маятника $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ вычислить ускорение свободного падения: $g = 4\pi^2 \cdot l / T^2$.

б) Изменяя длину маятника повторить измерения и вычислить ещё два раза.

7) Вычислить среднее значение ускорения свободного падения “ $g_{\text{ср}}$ ”.

8) Вычислить относительную погрешность $\sigma = (g_T - g_{\text{ср}} / g_T) \cdot 100\%$,

где $g_T = 9,81 \text{ м/с}^2$.

9) Результат измерений и вычислений записать в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты опытных замеров и расчетов

№ опыта	n – число колебаний	t-время колебаний	l - длина нити подвеса	T - период колебания	g- ускорение свободного падения	$g_{\text{ср}}$ - среднее арифметическое значение	σ - относительная погрешность
1							
2							
3							

3 Вопросы для защиты лабораторной работы №1

1 Нарисуйте маятник в положении равновесия и покажите, какие силы на него действуют.

2 Начертите математический маятник в положении наибольшего отклонения и покажите силы, действующие на него в этом случае.

3 Изменяется ли величина возвращающей силы, действующей на маятник во время его движения? Чему она равна?

4 Какая причина поддерживает колебания маятника?

- 5 Какими колебаниями являются собственные колебания маятника: затухающими или незатухающими?
- 6 Что является причиной затухания колебания маятника?
- 7 Какая связь существует между частотой и периодом колебаний маятника?
- 8 По какой формуле определяют период колебания математического маятника при малых амплитудах колебания?
- 9 Чему равен период колебания маятника в состоянии невесомости?
- 10 Что означает «колебание в резонанс»?
- 11 Напишите формулу, по которой можно определить положение колеблющейся точки в любой момент времени.
- 12 Сколько раз за период колебания потенциальная энергия маятника полностью переходит в кинетическую энергию?
- 13 Сколько раз за период колебания кинетическая энергия маятника полностью переходит в потенциальную энергию?
- 14 Покажите рисунком, при каком положении маятника его потенциальная энергия равна кинетической?
- 15 Дайте определение поперечным волнам.
- 16 Каков характер смещения частиц среды в поперечной волне?
- 17 Дайте определение продольных волн. Приведите пример таких волн.
- 18 Каков характер смещения частиц среды в продольной волне?
- 19 Какие волны могут распространяться в твердых телах?
- 20 Какие волны могут распространяться в жидкостях и газах?
- 21 Что называется длиной волны? В каких единицах она измеряется?
- 22 Что называется амплитудой волны? В каких единицах она измеряется?
- 23 Как, зная длину и частоту волны, найти скорость распространения ее в данной среде?
- 24 Запишите формулу, устанавливающую зависимость между скоростью распространения колебаний и длиной волны.

4 Теоретическая часть к лабораторной работе № 2

4.1 Превращение энергии в закрытом колебательном контуре. Частота собственных колебаний

Для получения электромагнитных колебаний нужно иметь цепь, в которой энергия электрического поля могла бы превращаться в энергию магнитного поля и обратно. Такую цепь называют колебательным контуром.

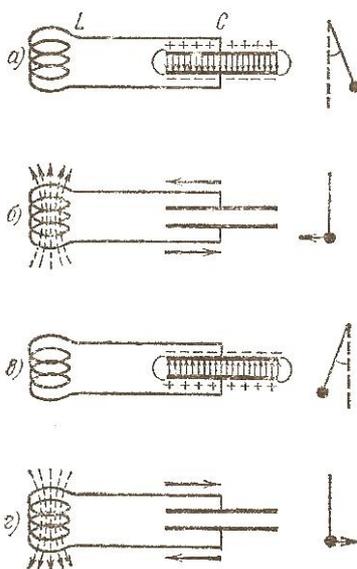


Рисунок 16 – Колебательный контур, состоящий из последовательно соединенных конденсатора и катушки

Поскольку магнитное поле получается в соленоиде, а электрическое поле – в конденсаторе, то простейший колебательный контур состоит из соленоида с индуктивностью L и конденсатора с емкостью C . активное сопротивление проводников, из которых делают колебательный контур, должно быть достаточно малым, иначе электромагнитные колебания в контуре не возникнут.

Рассмотри подробнее, как происходят электромагнитные колебания. Зарядим конденсатор емкостью C до некоторого напряжения U_m и соединим его с катушкой, индуктивность которой L (рисунок 16). На рисунке 16, а) показан момент, когда разрядка конденсатора только начинается. В этот момент в конденсаторе имеет-

ся электрическое поле, а магнитного поля в катушке еще нет, поэтому вся избыточная энергия контура является электрической и выражается формулой:

$$W_{\text{эл}} = CU^2_{\text{м}}/2, \quad (12)$$

где $W_{\text{эл}}$ – энергия электрического поля конденсатора;

C – емкость конденсатора;

$U_{\text{м}}$ – максимальное напряжение конденсатора.

Когда заряды устремляются из конденсатора в катушку, то в ней создается э. д. с. самоиндукции, которая тормозит нарастание тока, но прекратить его не может. Ток возрастает до тех пор, пока конденсатор не разрядится полностью. В этот момент (рисунок 16, б) ток в цепи достигает максимальной величины $I_{\text{м}}$, а вся избыточная энергия контура превращается в энергию магнитного поля катушки и выражается формулой:

$$W_{\text{маг}} = LI^2_{\text{м}}/2, \quad (13)$$

где $W_{\text{маг}}$ – энергия магнитного поля катушки;

L – индуктивность катушки;

$I_{\text{м}}$ – максимальное значение тока в цепи.

Если активное сопротивление R настолько мало, что потерей энергии на нагревание проводников можно пренебречь, то $W_{\text{маг}}$ будет равно $W_{\text{эл}}$.

В следующий момент магнитное поле в катушке начинает ослабевать и в ней наводится э. д. с. самоиндукции, поддерживающая прежнее направление тока, вследствие чего происходит перезарядка конденсатора, т. е. превращение магнитной энергии в электрическую.

Когда магнитное поле в катушке исчезает, то конденсатор опять начинает разряжаться (рисунок 16, в) и в контуре возникает ток обратного направления, пока вся электрическая энергия снова не перейдет в магнитную (рисунок 16, г). После этого за счет действия э. д. с. самоиндукции конденсатор опять перезаряжается и достигается состояние, показанное на рисунке 16, а). Итак, полное колебание в контуре закончено и далее описанный процесс повторяется снова в том же порядке.

Можно заметить большое сходство электромагнитных колебаний в контуре с механическими колебаниями: электрическую энергию конденсатора можно сравнить с потенциальной энергией маятника, а магнитную энергию тока в катушке – с кинетической энергией маятника (смотри рисунок 16 справа).

Время, затраченное на одно полное колебание, есть период электромагнитных колебаний T , а их число в единицу времени – частота колебаний. Период и частота колебаний находятся в обратной пропорциональной зависимости.

$$\nu = 1/T \quad (14)$$

Как показывает теория, колебания в идеальном контуре (при $R=0$), т. е. собственные колебания, являются гармоническими. Период собственных колебаний определяется условием равенства реактивных сопротивлений катушки и конденсатора, т. е. формулой

$$X_L = X_C, \quad \text{или} \quad \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}, \quad (15)$$

где X_L – сопротивление катушки;

X_C – сопротивление конденсатора;

ω_0 – собственная частота колебательного контура;

Частоту ω_0 , при которой выполняется это равенство, называют собственной частотой колебательного контура.

Из формулы 15 следует, что

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (16)$$

Поскольку круговая, или циклическая частота это число колебаний за время 6,28 секунд и $\omega_0 = 2\pi/T$, то для периода собственных колебаний в контуре получим

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad (17)$$

Соотношение (17) называют формулой Томсона.

Из формулы 14 следует, что для частоты ν собственных колебаний в контуре справедлива формула

$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (18)$$

Из (18) видно, что при достаточно малых L и C в контуре можно получить колебания высокой частоты, измеряемой миллионами Герц и больше.

4.2 Затухающие электромагнитные колебания. Электрический резонанс

Поскольку контур, описанный в предыдущем параграфе, имеет некоторое активное сопротивление R , то, когда заряженный конденсатор, обладающий энергией W , соединяют с катушкой, при каждом колебании происходит уменьшение избыточной энергии контура W , так как она расходуется на нагревание проводников контура. Это означает, что в реальных случаях свободные колебания в контуре являются затухающими. Очевидно, скорость затухания колебаний будет возрастать при увеличении активного сопротивления контура R , которое действует аналогично трению в механических колебаниях.

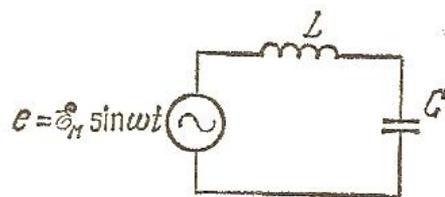


Рисунок 17 – Источник внешней синусоидальной э.д.с., включенный в колебательный контур

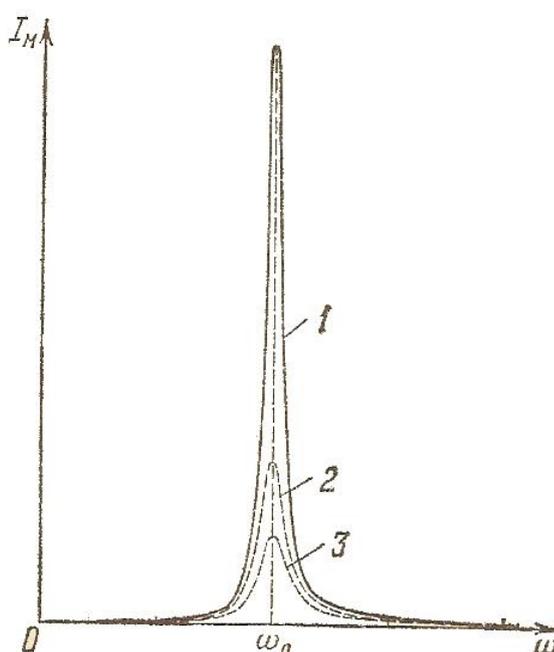


Рисунок 18 – График зависимости амплитудных значений тока в контуре от частот

Чтобы получить незатухающие электромагнитные колебания, можно включить в колебательный контур источник внешней синусоидальной э. д. с. $e = \varepsilon_m \sin \omega t$ (рисунок 17). Под действием этой э. д. с. в контуре установятся вынужденные колебания с частотой этого источника ω (т. е. потечёт переменный ток).

Если теперь изменять частоту внешнего источника ω , то амплитуда вынужденных электромагнитных колебаний будет изменяться, как и в случае механических колебаний.

Когда частота вынужденных колебаний ω приближается к собственной частоте контура, наступает электрический резонанс. При совпадении этих ($\omega = \omega_0$) реактивные сопротивления конденсатора X_C и катушки X_L взаимно компенсируют друг друга, и ток в контуре резко возрастает (рисунок 18 резонансная кривая I), так как его величина при этом ограничивается только активным сопротивлением контура R , которое обычно мало. Соответственно возрастают падения напряжения на реактивном сопротивлении конденсатора $U_C = IX_C$ и катушки $U_L = IX_L$. При резонансе амплитуды этих могут в десятки и в сотни раз превышать амплитуду э. д. с. \mathcal{E}_m . Заметим, что собственную частоту контура ω_0 , определяемую выражением (18), часто называют резонансной частотой контура.

При увеличении активного сопротивления контура R резонансные кривые идут ниже (2 и 3 на рисунке 18)

Электрический резонанс очень широко используется в радиотехнике. Изменяя резонансную частоту колебательного контура с помощью конденсатора переменной ёмкости, приёмник настраивают на определённую частоту, выделяя из огромного множества радиоволн передачу нужной радиостанции.

4.3 Получение незатухающих колебаний с помощью лампового генератора

Для получения незатухающих электромагнитных колебаний на практике используют устройство, с помощью которого компенсируется потери энергии в контуре на тепловое действие при каждом полном колебании, аналогичное механизму, пополняющему энергию маятника в часах. За счет расхода энергии внешнего источника питания избыточная энергия колебательного контура W остаётся постоянной, а колебания остаются незатухающими. Устройство, поддерживающее незатухающие электромагнитные колебания в реальном контуре, называют генератором электромагнитных колебаний.

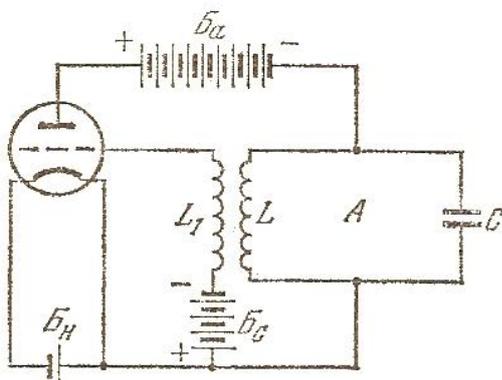


Рисунок 19 – Схема лампового генератора незатухающих колебаний

Рассмотрим принцип действия лампового генератора. Упрощенная его схема изображена на рисунке 19. Колебательный контур А с емкостью С и индуктивностью L , в котором должны поддерживаться незатухающие электромагнитные колебания, включается в анодную цепь триода, а в цепь сетки включается катушка L_1 , индуктивно связанная с катушкой L . При замыкании анодной цепи конденсатор С заряжается и в контуре А возникают электромагнитные колебания.

Вследствие индуктивной связи между катушками L и L_1 в цепи сетки лампы появляются вынужденные колебания с той же частотой, что и в контуре А. В такт с ними происходит изменение силы тока в анодной цепи. Так как импульсы тока в анодной цепи лампы возникают в такт с электромагнитными колебаниями в контуре А, они автоматически поддерживают эти колебания за счёт расхода энергии анодной батареи.

С помощью описанного устройства можно получить колебания высокой частоты, которые широко используются в технике. Частоту колебания в контуре А можно регулировать нужным образом с помощью конденсатора переменной емкости, включаемого вместо конденсатора С, или с помощью изменения индуктивности катушки L .

4.4 Электромагнитное поле как особый вид материи

Переменное магнитное поле создаёт вихревое электрическое поле. Линии этого поля замкнуты, оно существует не зависимо от электрических зарядов и только до тех пор, пока происходит изменение магнитного поля. На электрические заряды оно действует так же, как электростатическое поле, что следует из явления электромагнитной индукции.

Изучая взаимосвязь между электрическими и магнитными полями, Д. Максвелл создал теорию электромагнитного поля на основе двух постулатов (утверждений):

Переменное магнитное поле создаёт в окружающем его пространстве вихревое электрическое поле;

Переменное электрическое поле создаёт в окружающем его пространстве вихревое магнитное поле.

Когда конденсатор включён в цепь переменного тока, то между его обкладками имеется переменное электрическое поле, а это означает, что в этом же пространстве должно быть магнитное поле. Таким образом, изменяющееся электрическое поле по его магнитному действию можно рассматривать как своеобразный электрический ток без зарядов. В отличие от тока проводимости Максвелл стал называть его током смещения. Итак, применяя термин «электрический ток» в широком смысле слова, т. е. включая в него и ток проводимости и ток смещения, можно утверждать, что магнитное поле создаётся только электрическим током и действует только на движущиеся заряды; электрическое же поле создаётся электрическими зарядами и переменным магнитным полем и действует на любые электрические заряды.

Описанное выше изменение электрического поля в конденсаторе создаёт в близлежащих точках окружающего пространства изменяющееся магнитное поле, которое в свою очередь создаёт в соседних точках электрическое поле, и т. д. Таким образом, во всем пространстве, где происходят изменения полей, одновременно су-

существуют вихревые электрическое поля, взаимно порождающие и поддерживающие друг друга. Поскольку эти поля неразрывно связаны, их общее поле условилось называть электромагнитным полем.

Из сказанного выше следует, что если в какой-либо малой области пространства периодически изменять электрическое и магнитное поля, то эти изменения должны периодически повторяться и во всех других точках пространства, причём в каждой последующей точке несколько позже, чем в предыдущей. Иными словами, если создать электромагнитные колебания в какой-либо небольшой области, то от нее должны распространяться во все стороны электромагнитные волны с определённой скоростью. Итак, из постулатов Максвелла следует, что в природе должны существовать электромагнитные волны.

С помощью созданной теории Максвелл доказал, что скорость распространения электромагнитных волн в вакууме равна скорости света c :

$$c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} = 300\,000 \text{ км/с.}$$

Поскольку электрическое и магнитное поля обладают энергией, то в пространстве, где распространяются волны, имеется определенное количество электрической и магнитной энергии, которое переносят волнами от точки к точке в сторону их распространения.

Опыты и дальнейшее развитие теории Максвелла подтвердили справедливость приведенных выше постулатов Максвелла.

Электромагнитные явления подчиняются своим закономерностям, характеризующим особую форму движения материи – электромагнитную, которая отлична от механической формы движения. Выясним теперь, как с помощью колебательного контура можно создавать электромагнитные волны.

4.5 Открытый колебательный контур. Излучение

Электромагнитные колебания всегда должны создавать электромагнитные волны, но на практике эти волны не всегда легко обнаружить и использовать.

В колебательном контуре, изображенном на рисунке 16, происходит лишь обмен энергией между ёмкостью и индуктивностью, а потери энергии на создание электромагнитных волн в окружающем пространстве очень малы.

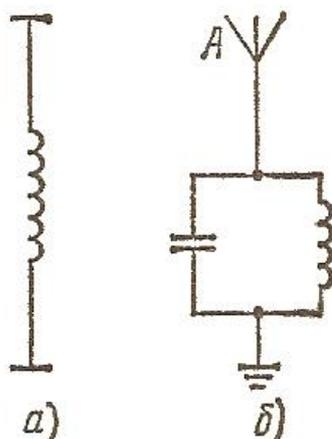


Рисунок 20 – Открытый колебательный контур. Антенна

Поэтому такой колебательный контур называют закрытым. Действительно, закрытый колебательный контур создает настолько слабые волны, что их можно обнаружить только с помощью специальных высокочувствительных устройств. Что же нужно сделать, чтобы увеличить интенсивность электромагнитных волн?

Первые опыты в этой области были сделаны Г. Герцем, но окончательное решение указанного вопроса было найдено только после работ А. С. Попова.

Закрытый колебательный контур почти не создает в окружающем пространстве электромагнитных волн, потому что изменения электрического и магнитного полей этого контура происходят в весьма ограниченной области пространства (внутри конденсатора и катушки). Для создания интенсивных волн необходимо производить эти колебания в открытом пространстве так, чтобы изменяющиеся поля охватывали контур со всех сторон.

Электромагнитные волны, создаваемые колебательным контуром, называют электромагнитным излучением. Для увеличения излучения контура можно раздвинуть обкладки конденсатора (рисунок 20, а). Такой колебательный контур называют

открытым. Однако и в этом случае интенсивность излучения оказывается недостаточной для практических целей.

Попов нашёл значительно более эффективный способ увеличения мощности излучения, создаваемого контуром. Он оставил контур неизменным, но один конец катушки заземлил, а к другому концу присоединил вертикальный провод со свободным верхним концом. Этот вертикальный провод А (рисунок 20, б) теперь принято называть снижением. Все устройство, которое присоединяют к колебательному контуру для увеличения мощности электромагнитного излучения и для приема электромагнитных волн, называют антенной (изобретена А. С. Поповым в 1895 г.)

4.6 Электромагнитные волны. Скорость их распространения

При распространении электромагнитных волн в каждой точке пространства происходят периодически повторяющиеся изменения электрического и магнитного полей. Эти изменения можно представить в виде колебаний векторов напряженностей H и E в каждой точке пространства.

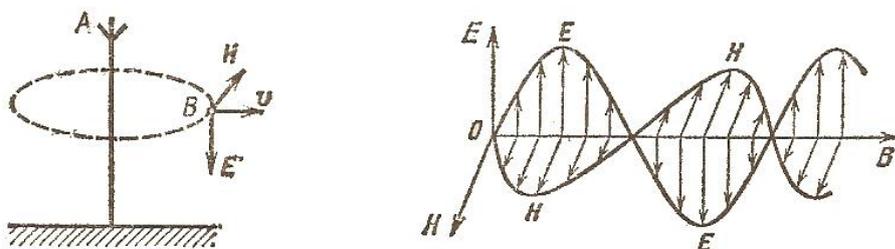


Рисунок 21 – Распространение колебаний векторов напряженностей электрического и магнитного полей в электромагнитной волне

Максвелл показал, что колебания этих векторов в каждой точке электромагнитной волны происходят в одинаковых фазах и по двум взаимно перпендикулярным направлениям (рисунок 21), которые в свою очередь перпендикулярны к вектору скорости распространения волны v . Относительные расположения этих векто-

ров в волне, распространяющейся от антенны А, показаны для примера в точке В. Взаимные расположения этих трёх векторов в любой точке бегущей электромагнитной волны связаны правилом правого винта: если головку винта расположить в плоскости векторов Е и Н и поворачивать от Е к Н (по кратчайшему пути), то поступательное движение винта укажет направление вектора v , т. е. направление распространения самой волны и переносимой ею энергии.

Итак, векторы Е и Н колеблются в плоскости, перпендикулярной к вектору v . Это означает, что электромагнитные волны являются поперечными волнами. Расположение векторов Е и Н в различных точках волны для одного и того же момента времени показано на рисунке 21.

Для электромагнитных волн справедлива формула:

$$v = \lambda \nu, \quad (19)$$

где v - скорость распространения волны;

ν – частота волны;

λ – длина волны.

Для вакуума эта формула принимает вид

$$c = \lambda_0 \nu, \quad (20)$$

где λ_0 – длина волны в вакууме.

Напомним, что при переходе воли из одной среды в другую частота колебаний остается неизменной, а длина волны изменяется. Следует иметь в виду, что длину электромагнитной волны всегда указывают для вакуума, если нет специальных оговорок. На практике в основном используют волны с высокой частотой колебаний, так как энергия, переносимая волнами, пропорциональна квадрату частоты. Кроме того, чем выше частота колебаний, тем легче осуществить направленное излучение электромагнитных волн.

Электромагнитные волны имеют большое значение и при передаче электрической энергии по проводам, которые для воли являются как бы направляющим рельсами. Электрические сигналы вдоль проводов распространяются со скоростью $3 \cdot 10^8$ м/с, т. е. при замыкании цепи ток возникает практически одновременно во всей

цепи, в то время как скорость направленного движения электронов в проводе составляет десятые доли сантиметра в секунду.

4.7 Опыты Герца

Если на пути распространения электромагнитных волн расположен колебательный контур, то электромагнитное поле волны индуцирует в контуре переменного э. д. с. и в нём возникают вынужденные электромагнитные колебания с частотой электромагнитных волн.

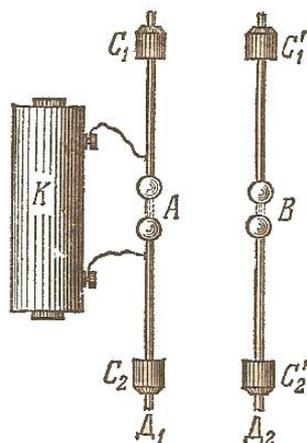


Рисунок 22 – Диполи в опытах Герца

Когда эта частота далека от частоты собственных колебаний контура, амплитуда вынужденных колебаний ничтожно мала. Заметные электромагнитные колебания возбуждаются в контуре лишь при совпадении собственной частоты контура с частотой вынужденных колебаний, т. е. при настройке контура в резонанс с источником излучения волн (вибратором).

Впервые электромагнитные волны с помощью резонанса на опыте обнаружил Г. Герц. В качестве колебательных контуров он использовал так называемый диполи (рисунок 22). Диполь D_1 состоит из двух проводов, заканчивающихся шариками. На противоположных концах проводов надеты колпачки C_1 и C_2 , перемещая которые можно изменять ёмкость контура. Таким образом, диполь представляет собой открытый контур (смотри рисунок 20, а), в котором катушка заменена линей-

ным проводом, разделенным посредине воздушным промежутком. Индуктивность и ёмкость такого контура малы, поэтому в соответствии с формулой 18 частота колебаний очень велика (до 108 Гц).

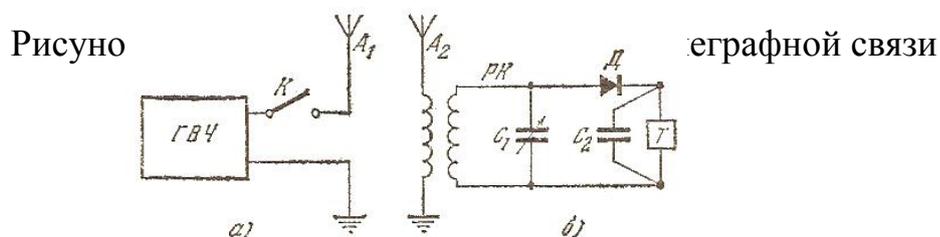
Источником питания вибратора служит индукционная катушка К. При подаче на диполь D_1 высокого напряжения в промежутке А проскакивает искра, в контуре D_1 возникают электромагнитные колебания, и вибратор излучает волны. При возникновении искры цепь катушки К замыкается, в результате чего напряжение на ее зажимах падает; искра прерывается, а колебания в контуре затухают. Напряжение снова возрастает, снова проскакивает искра и возобновляется излучение, и т. д.

Электромагнитные волны, излучаемые вибратором D_1 , принимаются вторым диполем D_2 (резонатором) который устроен аналогично и располагается параллельно D_1 . Настройка контура D_2 в резонанс с D_1 производится перемещением его колпачков C_1 и C_2 . При резонансе в промежутке В появляется слабая искра.

Опыты Герца доказали существование электромагнитных волн, предсказанных теорией Максвелла. Герц экспериментально исследовал их свойства, наблюдал их отражение и интерференцию. С помощью интерференции Герц определил длину волны и, зная частоту, вычислил по формуле скорость их распространения. Она действительно оказалась равной скорости света c . Таким образом, в опытах Герца теория электромагнитного поля Максвелла получила блестящее подтверждение.

4.8 Изобретение радио А. С. Поповым. Радиотелеграфная связь

Опыты Г. Герца впервые продемонстрировали возможность передачи электромагнитных сигналов, но это делалось на очень малом расстоянии, в пределах стола лаборатории. А. С. Попов с помощью антенн во много раз увеличил мощность излучения вибратора и чувствительность резонатора. Таким образом он осуществил дальнюю связь с помощью электромагнитных волн.



Усовершенствовав передатчик и приемник электромагнитных волн, он стал передавать и принимать слова с помощью телеграфной азбуки Морзе. Очень скоро он установил, что эти сигналы можно принимать на слух с помощью телефона. Такой способ связи получил название радиотелеграфирования. Первоначально Попову удалось осуществить радиосвязь лишь на несколько десятков метров, а затем он передавал сообщения уже на десятки километров. Значение открытий Попова очень велико. Каждый из нас хорошо знает, какую роль в современной жизни играет радиосвязь, телевидение, радиолокация и т. д.

Принципиальная схема простейшей радиотелеграфной связи изображена на рисунке 23. Передатчиком является генератор незатухающих колебаний высокой частоты ГВЧ, который через ключ K соединяется с антенной A_1 . При замыкании ключа K передатчик начинает излучать электромагнитные волны. На большом расстоянии от него устанавливается приемник с антенной A_2 , связанной с резонансным контуром РК, где конденсатор переменной емкости C_1 служит для настройки приемника в резонанс с передатчиком. Как известно, на практике одновременно работает много передатчиков. Чтобы они не мешали друг другу, каждый из них должен работать на своей частоте, отличной от других передатчиков. Конденсатор C_1 позволяет настроиться в резонанс с определенным передатчиком, т. е. с нужной радиостанцией.

Колебания в резонансном контуре передаются через детектор D в телеграфный аппарат (или в телефон) T или в записывающее устройство. Детектор (выпрямитель) превращает переменный ток высокой частоты в постоянный по направлению ток, т. е. выпрямляет переменный ток. Чтобы сгладить пульсации выпрямленного тока в телеграфном аппарате, параллельно ему присоединяют конденсатор C_2 , который заряжается при прохождении импульса тока и частично разряжается в промежутке между импульсами.

Передача сигналов осуществляется следующим образом. Если нужно передать точку и тире, то один раз ключ замыкают на короткое время, а второй – на более

длительное время. При этом от передатчика распространяются друг за другом два импульса волн: короткий и длинный (они показаны на рисунке 24, а). Пройдя детектор приемника, импульсы тока принимают вид, изображенный на рисунке 24, б и попадают в телеграфный аппарат. Импульсы тока сглаживаются конденсатором C_2 , и в аппарате получается ток, график которого показан на рисунке 24, в. Кривую этого графика называют огибающей, так как ее можно получить, проведя линию, касательную ко всем вершинам импульсов на рисунке 24, б.

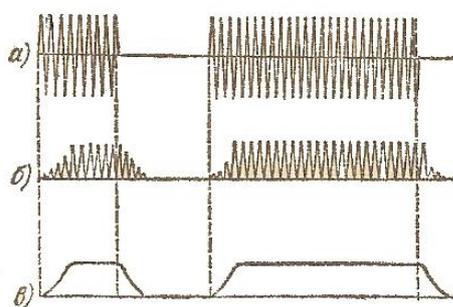


Рисунок 24 –Графическое изображение телеграфных модулированных сигналов

Выпрямлять ток в приемнике нужно обязательно, так как записывающее устройство телеграфного аппарата не может совершать колебания, соответствующие току высокой частоты. Телеграфные сигналы можно принимать на слух с помощью телефона. Для этого колебания высокой частоты нужно преобразовать в колебания низкой частоты.

4.9 Радиотелефонная связь. Амплитудная модуляция

Звуковые радиопередачи стали возможными после изобретения электронных усилительных ламп.

Трудность звуковой передачи состоит в том, что для радиосвязи необходимы колебания высокой частоты, а колебания звукового диапазона являются колебания-

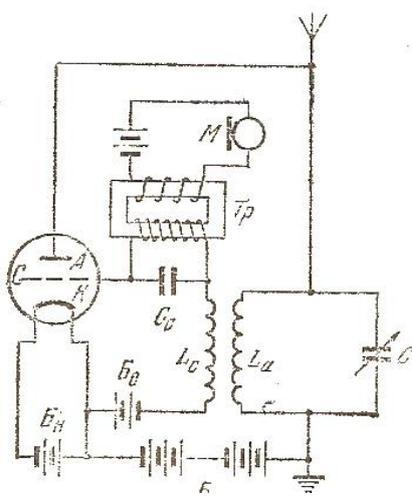
ми низкой частоты, для излучения которых невозможно построить эффективные антенны. Поэтому колебания звуковой частоты приходится тем или иным способом накладывать на колебания высокой частоты, которые уже переносят их на большие расстояния.

Управление колебаниями высокой частоты в соответствии с колебаниями низкой частоты называется модуляцией колебаний высокой частоты. Модулирование представляет собой изменение с низкой (звуковой) частотой одного из параметров высокочастотных колебаний. Колебания высокой частоты называют несущими колебаниями, поскольку они выполняют служебную роль – переносчика колебаний звуковой частоты. Несущая частота должна быть строго постоянной, т. е. стабилизированной.

При амплитудной модуляции изменяют со звуковой частотой амплитуду высокочастотных колебаний. Амплитудную модуляцию можно осуществить следующим образом. В цепь сетки лампового генератора незатухающих колебаний высокой частоты включают источник электрических колебаний звуковой частоты. Звуковые колебания возбуждают в цепи микрофона М (рисунок 25) электрические колебания, которые через трансформатор Тр передаются в цепь сетки электронной лампы.

Поскольку вторичная обмотка этого трансформатора не пропускает колебания высокой частоты, то параллельно к ней подключается конденсатор Сс, через который они легко проходят. В то же время колебания низкой частоты не замыкаются через него, поскольку для них он представляет большое сопротивление. В цепь сетки включена еще батарея смещения Бс, чтобы потенциал сетки всегда оставался отрицательным по отношению к катоду.

Рисунок 25 –Сх



; модулятором

Если нет звуковых колебаний, установка работает как генератор незатухающих высокочастотных колебаний постоянной амплитуды. Когда в цепи микрофона возникают электрические колебания (рисунок 26,а), напряжение на сетке, продолжая изменяться с высокой частотой в такт с колебаниями в контуре LaC , начинает изменяться еще и со звуковой частотой. Вследствие этого анодный ток лампы и амплитуда колебаний тока в контуре непрерывно изменяются в соответствии с колебаниями звуковой частоты (рисунок 26,б), т. е. происходит модуляция колебаний высокой частоты.

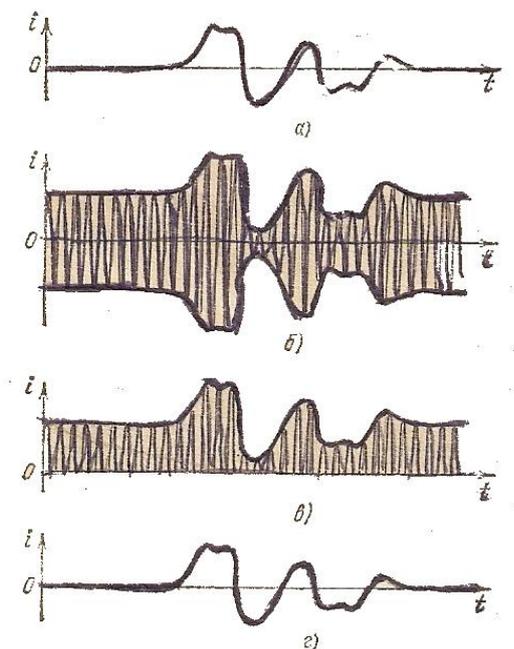


Рисунок 26 –Графическое изображение амплитудно- модулированных сигналов

Модулированные высокочастотные колебания улавливаются антенной радиоприемника, и детектируются (рисунок 26, в). В телефоне возникают колебания звуковой частоты (рисунок 26, г), и мембрана телефона или громкоговорителя воспроизводит передаваемые звуковые колебания.

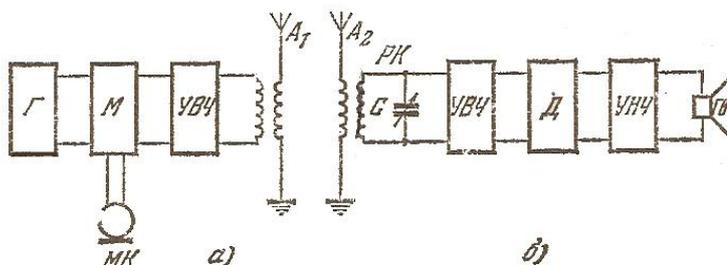


Рисунок 27 – Принципиальная схема радиотелефонной связи

На принципиальных схемах радиотелефонной связи для звуковых передач, изображенных на рисунке 27, показаны основные блоки, из которых состоят передатчик и приемник. Первый блок передатчика – генератор незатухающих колебаний Г, второй – модулятор М, в котором происходит модуляция колебаний с помощью микрофона МК, третий – усилитель высокочастотных колебаний УВЧ и четвертый – передающая антенна А₁.

Первый блок приемника – антенна А₂, второй блок – резонансный контур РК, третий блок – усилитель высокой частоты УВЧ и четвертый – детектор Д, в котором происходит выпрямление колебаний, пятый – усилитель колебаний низкой (звуковой) частоты УНЧ и, наконец, громкоговоритель Гв.

Заметим, что современные ламповые и полупроводниковые усилители позволяют многократно усиливать принятые колебания почти без искажений, что дает возможность слушать передачи очень удаленных радиостанций.

4.10 Устройство простейшего лампового радиоприемника с усилителем низкой частоты

Схема простейшего лампового радиоприемника изображена на рисунке 28. выясним, как он работает.

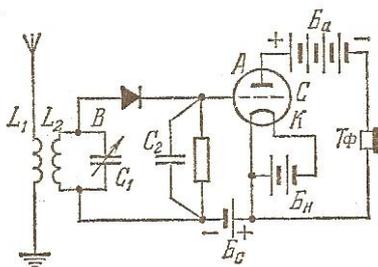


Рисунок 28 – Схема лампового радиоприемника с усилителем низкой частоты

Когда мимо антенны проходят электромагнитные волны, то в антенне возникают вынужденные колебания, вследствие индуктивной связи между катушками L_1 и L_2 эти колебания повторяются в контуре В, который настраивает в резонанс с помощью конденсатора C_1 . Колебания в контуре В после выпрямления попадают в цепь сетки триода и вызывают значительные изменения силы тока в его анодной цепи, которые происходят в такт с колебаниями в цепи сетки. Усиленные колебания тока приводят в действие мембрану Тф, где происходит превращение электрических колебаний в механические, т. е. возникает звук. Если звук в телефоне получается слишком слабый, то можно повторить усиление колебаний еще раз. Для этого анодную цепь схемы вместо телефона подключают к сетке и катоду триода, а телефон включают уже в его анодную цепь. В многоламповых приемниках колебания высокой частоты перед детектированием усиливаются (см. рисунок 28), что увеличивает чувствительность радиоприемника к дальним передачам.

4.11 Понятие о радиолокации

Отражение электромагнитных волн от корабля обнаружил в 1897 г. во время опытов по радиосвязи А. С. Попов. Это явление и лежит в основе радиолокации – обнаружения и определения местоположения в пространстве тел, отражающих электромагнитные волны. Действие радиолокационной установки основано на по-

лучении «электромагнитного эха», поэтому такая установка должна излучать электромагнитные волны и улавливать их после отражения. Ее излучение должно быть строго направленным. В установке должен быть прибор для точного измерения времени между отправлением импульса излучения и его возвращением после отражения.

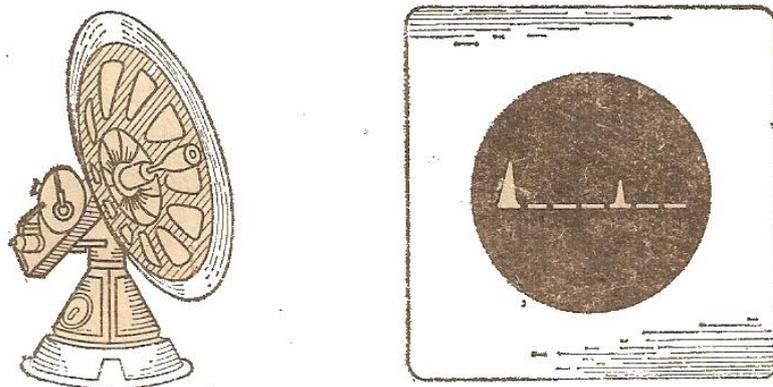


Рисунок 29 – Радиолокационная установка. Электронно-лучевая трубка

Поскольку направленное излучение осуществить тем легче, чем короче волны, для радиолокации пользуются короткими волнами, например сантиметровой длины. Радиолокационную установку снабжают специальной антенной, по форме напоминающей прожектор, в центре которой помещают излучатель коротких волн (рисунок 29). Эта же антенна служит для приема импульса излучения, отраженного от препятствия.

В радиолокаторе имеется электронно-лучевая трубка, на которую передаются сигналы при отправлении и приеме импульсов излучения. Изображение, получаемое при этом на экране, показано на рисунке 29 (справа). Время между отправлением и приемом импульса можно узнать по известному времени прохождения электронным лучом диаметра экрана трубки. Расстояние до препятствия можно получить, умножая скорость распространения волн $3 \cdot 10^8$ м/с на половину времени между

отправлением и приемом импульсов (почему на половину?). Обычно на экране трубки в определенных единицах масштаба указывают прямо расстояние до препятствия, которое определяется положением отраженного импульса на экране. Радиолокация широко используется на практике: применяется на самолетах для определения высоты полета и для осуществления посадки при плохой видимости, на кораблях для обнаружения препятствий, в астрономии для измерения расстояний до небесных тел.

5 Практическая часть работы №2

Цель работы: Выработка элементарных навыков по сборке и чтению радиосхем.

Оборудование: Набор радиосхем, соединительные провода.

Порядок выполнения работы.

- 1) Вычертить схему детекторного приёмника.
- 2) По схеме, указанной на рисунке 30 произвести сборку испытание детекторного приёмника.
- 3) Описать назначение каждого отдельного элемента схемы.
- 4) Вычертить блок – схему приёмника.
- 5) Описать назначение каждого отдельного блока.
- 6) Вычертить графики модулированного и детектированного сигналов.

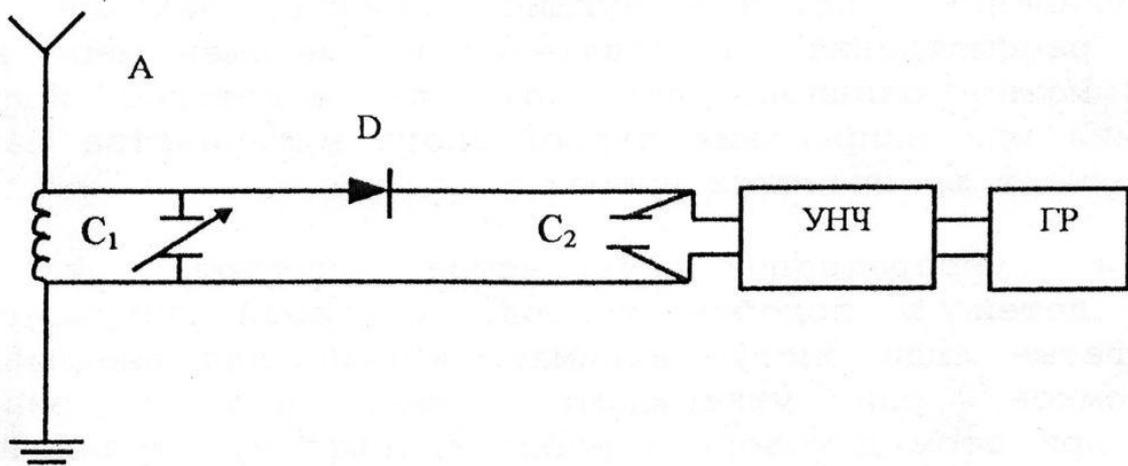


Рисунок 30 – Схема для сборки и испытания детекторного приёмника

6 Вопросы для защиты лабораторной работы №2

- 1 Является ли электрическое поле материальной средой?
- 2 Какими величинами характеризуется каждая точка электрического поля?
- 3 Как далеко простирается электрическое поле, созданное точечным зарядом?
- 4 Как называется величина, характеризующая силовое действие электрического поля?
- 5 Напишите формулу, с помощью которой можно найти напряженность в данной точке электрического поля. Укажите смысл каждой из величин, входящих в неё.
- 6 Как вычислить напряженность поля точечного заряда в любой точке?
- 7 Изобразите графически зависимость напряженности поля точечного заряда в любой точке.
- 8 В каких единицах измеряется напряжённость электрического поля в системе СИ?
- 9 Какой величиной является напряженность электрического поля: скалярной или векторной? Почему?

10 Как направлена сила, действующая на положительный (отрицательный) пробный заряд, находящийся в поле положительного заряда (отрицательного заряда)?

11 Как направлен вектор напряженности в любой точке поля, созданным положительным точечным зарядом?

12 Как называется поле, напряженность которого во всех точка одинакова?

13 Что определяется густотой силовых линий поля?

14 В каких местах наэлектризованного куба поверхностная плотность заряда является наибольшей?

15 Как называется явление смещение зарядов в диэлектрике, помещенном в электрическое поле?

16 От чего зависит величина работы, совершаемой при перемещении электрического заряда в электрическом поле?

17 Что указывает потенциал данной точки поля?

18 Какой формулой пользуется для нахождения потенциала данной точки поля точечного заряда?

19 Как называются поверхности одинакового потенциала?

20 Напишите формулу для определения разности потенциалов?

21 В каких единицах измеряется потенциал в системе СИ?

22 Как вычислить работу по перемещению заряда, зная величину заряда и пройденную им разность потенциалов? Напишите формулу.

23 Как вычислить разность потенциалов между двумя точками однородного электрического поля?

24 Какой физический смысл электроёмкости? Напишите формулу.

25 Укажите единицы электроёмкости?

26 Зависит ли электроёмкость проводника от материала, из которого проводник сделан?

27 Зависит ли электроёмкость проводника от его геометрических размеров?

- 28 Зависит ли электроёмкость проводника от свойств диэлектрика, его окружающего?
- 29 В каких единицах измеряется емкость? Дайте их определение.
- 30 Напишите формулу электроемкости плоского конденсатора в системе СИ?
- 31 От каких величин зависит энергия заряженного конденсатора?
- 32 Напишите формулу для определения энергии заряженного конденсатора?
- 33 Какие условия необходимы для того, чтобы по проводнику шел ток?
- 34 С какой скоростью распространяется электрическое поле в проводниках?
- 35 Когда напряженность электрического поля внутри проводника равна нулю и когда отлична от нуля: у заряженного проводника, у проводника с током?
- 36 Какой ток будет течь в проводниках, если напряжение на его концах меняется?
- 37 В каких единицах измеряется сила тока?
- 38 От чего зависит плотность тока в проводнике?
- 39 Какова роль источника тока в замкнутой электрической цепи?
- 40 Какое направление тока в самом источнике тока?
- 41 Перечислите известные вам действия тока.
- 42 Что представляет собой электрический ток в металлах?
- 43 Что представляет собой ток в электронной лампе?
- 44 Для какой цели необходимо разогревать катод в электронной лампе?
- 45 Будет ли течь ток в лампе, если потенциал анода относительно катода будет отрицательным?
- 46 Как называется ток, полученный при выпрямлении диодом?
- 47 Для чего на сетку триода подают отрицательный потенциал называемый сеточным смещением?
- 48 Какое напряжение больше влияет на изменение величины тока в лампе: анодное или сеточное? Почему?
- 49 Где используют триоды?
- 50 При каком условии лампа (триод) заперта?

51 От чего зависит величина анодного тока в триоде?

7 Теоретическая часть к лабораторной работе № 3

7.1 Краткая история развития представлений о природе света

Часть физики, рассматривающие световые явления, называют оптикой (от греческого «оптикос» - зрительный), а сами световые явления называют оптическими.

Падающий на предмет свет позволяет нам видеть их и ориентироваться в пространстве. Однако этим действием света не ограничивается. Вспомните, например, как сильно нагреваются тела, на которые попадает солнечный свет. Следовательно, свет обладает энергией и переносит её в пространстве. Поскольку энергию могут переносить либо тела, либо волны, можно выдвинуть две гипотезы о природе света. Световое излучение должно состоять либо из потока мельчайших частиц, которые Ньютон назвал корпускулами, либо из волн, распространяющихся в какой-либо среде.

На основе первой гипотезы Ньютона создал корпускулярную теорию света, с помощью которой объяснялись очень многие оптические явления. Например, различные цвета излучения объяснялись различной формой составляющих его корпускул. На основе второй гипотезы в XVII в. голландский учёный Х. Гюйгенс создал волновую теорию света. С помощью теории Гюйгенса хорошо объяснялись такие явления, как интерференция и дифракция света.

Поскольку ни одна из этих теорий в отдельности не могла полностью объяснить все оптические явления, вопрос об истинной природе светового излучения оставался нерешённым. В начале XIX в. после исследований О. Френеля, Ж. Фуко и многих других ученых выяснилось преимущество волновой теории света перед корпускулярной. Однако у волновой теории был один крупный недостаток. В ней предполагалось, что световое излучение представляет собой поперечные механические волны. Следовательно, между Солнцем и Землей должно быть вещество, так

как свет свободно проходил от Солнца до Земли. Поэтому была создана гипотеза о мировом эфире, заполняющем все пространство между телами и молекулами. Если вспомнить, что поперечные волны возможны только в твердых телах, то придется допустить, что эфир должен обладать свойствами упругого твердого тела. Однако присутствие эфира никак не отражается на движении Земли в мировом пространстве. Значит, эфир ничем себя не проявляет, кроме того, что в нем распространяется свет, хотя и обладает свойствами твердого тела. Такие противоречивые свойства эфира ставили под сомнение гипотезу о его существовании.

Это противоречие в волновой теории света в основном было устранено Д. Максвеллом. Максвелл обратил внимание на то, что скорость распространения света в вакууме совпадает с вычисленной им скоростью распространения электромагнитных волн. На этом основании он выдвинул гипотезу об электромагнитной природе света, которая затем была подтверждена многими опытами. Таким образом, к концу XIX в. была создана электромагнитная теория света, которой пользуются и в настоящее время.

7.2 Понятие об электромагнитной теории света. Диапазон световых волн

Согласно электромагнитной теории света всякое световое излучение является электромагнитными волнами. Однако далеко не все электромагнитные волны являются световыми, а только те, что вызывают у человека зрительное ощущение. К световому излучению относятся только волны с частотой колебаний от $4 \cdot 10^{14}$ до $7,5 \cdot 10^{14}$ Гц. В этом интервале каждой частоте соответствует свой цвет излучения. Например частоте $5,4 \cdot 10^{14}$ Гц соответствует зеленый цвет. По частоте излучения из формулы (20) всегда можно найти длину его волны в вакууме:

$$\lambda = \frac{c}{\nu}, \quad (21)$$

где λ – длина волны;

c – скорость распространения электромагнитных волн в вакууме;

ν – частота волны.

Расчет показывает, что световое излучение в вакууме имеет длины волн от 400 нм (фиолетовый цвет) до 760 нм (красный цвет). Заметим, что при переходе светового излучения из одной среды в другую его цвет сохраняется, так как сохраняется его частота, а длина волны изменяется вследствие изменения скорости распространения света. Когда на практике цвет излучения характеризуют длиной волны, то длины волн указывают для вакуума.

7.3 Понятие о квантовой теории света. Постоянная Планка

Анализ состава излучения светящихся тел показал, что его распределение по частотам колебаний не согласуется с законами излучения, выведенными из волновой теории света. Стремясь найти объяснение этому факту, немецкий физик М.Планк (1885–1947 г.г.) предположил, что свет излучается не в виде волн, а в виде определенных и неделимых порций энергии, которые он назвал квантами (от латинского «квантум» - количество, масса). В настоящее время кванты света называют фотонами.

На основе анализа оптических явлений было установлено, те из них, которые связаны с распространением света в какой-либо среде, можно объяснить только с помощью волновой теории, а те, которые связаны с испусканием и поглощением света, объяснялись только с помощью представления о квантовом составе светового излучения. Все это означало, что для объяснения оптических явлений необходима новая теория, объединяющая волновые и корпускулярные свойства света. Эта новая теория получила название квантовой теории света и в своем первоначальном виде была создана трудами Планка, Эйнштейна, Бора и других ученых.

В настоящее время квантовая теория объясняет не только оптические явления, но и множество других явления из всех разделов физики. Эта теория раскрыла новые свойства вещества и поля, предсказала много новых явления, которые впоследствии были обнаружены опытным путем.

Связь между волновыми и корпускулярными свойствами света по этой теории выражается формулой Планка:

$$\varepsilon = h\nu, \quad (22)$$

где ε – энергия кванта, Дж;

ν – частота колебаний электромагнитного излучения, Гц;

h – постоянная Планка, Дж·с.

h – постоянный коэффициент, одинаковый для всех волн и квантов, который называют постоянной Планка. В СИ числовое значение h следующее:

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$

Итак, согласно квантовой теории световой излучение заданной частоты ν состоит из фотонов (квантов) с определенной энергией ε , выражаемой формулой (22). Следовательно, энергия кванта прямо пропорциональна частоте колебаний электромагнитного излучения. Поскольку $c = \nu\lambda$, то из формулы (22) получим

$$\varepsilon = \frac{hc}{\lambda}, \quad (23)$$

т.е. энергия кванта обратно пропорциональна длине волны излучения в вакууме.

Опыт показал, что пока фотон существует, он движется со скоростью c (в вакууме) и ни при каких условиях не может замедлить свое движение или остановиться. При встрече с веществом он может быть поглощен частицей вещества. Тогда сам фотон исчезает, а его энергия целиком переходит к поглотившей его частице. Фотон

не имеет массы покоя. Эта замечательная особенность фотонов отличает их от частиц вещества, например от протонов или электронов.

Заметим, что до сих пор не ясно, почему в одних явлениях свет обнаруживает ярко выраженные волновые свойства, а в других – корпускулярные свойства и каким образом такие противоречивые свойства могут объединяться в излучении. По квантовой теории объединение корпускулярных и волновых свойств является природным качеством всей материи вообще, т. е. каждая частица вещества обладает волновыми свойствами и каждая волна обладает корпускулярными свойствами.

7.4 Источники света

Все тела, молекулы и атомы которых создают видимое излучение, называют источниками света. Можно привести множество примеров различных источников света: лампа накаливания, горящая спичка, газосветные трубки. Условно их можно разделить на группы по способу возбуждения частиц, испускающих свет.

К первой группе относятся температурные источники света, в которых свечение возникает за счет возбуждения атомов и молекул хаотическим движением частиц в теле при достаточно высокой температуре. Энергия излучения таких источников света получается за счёт внутренней энергии.

Ко второй группе относятся люминесцентные источники света, возбуждение атомов и молекул обусловлено не высокой температурой, а потоком летящих частиц вещества, например электронов, воздействием внешнего электромагнитного излучения или химической реакцией. В этом случае энергия излучения получается за счёт электрической, химической или механической энергии, т. е. за счёт энергии каких-либо внешних источников. Примерами люминесцентного излучения служат свечение экрана электронно-лучевой трубки, свечение газосветных трубок в рекламмах, свечение красок и т. п.

7.5 Принцип Гюйгенса. Световые лучи

Выясним, как волновая теория объясняет перемещение фронта волны в пространстве.

Допустим, что в какой-то момент времени фронт сферической волны, распространяющейся из точки O , занимает положение I (рисунок 31). Через некоторый промежуток времени он займёт положение II . Перемещение фронта волны в пространстве объясняют с помощью принципа Гюйгенса: все точки фронта волны являются вибраторами, от которых распространяются элементарные волны (1, 2, 3 и т. д. на рисунке 31); огибающая всех этих элементарных волн даёт новое положение фронта волны (поверхность II). (Огибающая представляет собой поверхность, касательную ко всем элементарным волнам).

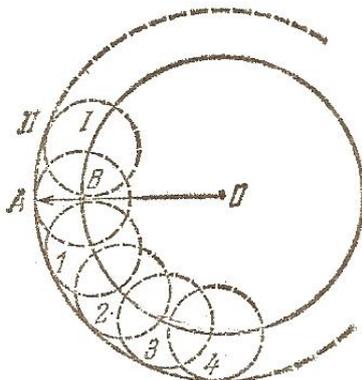


Рисунок 31 – Перемещение фронта волны в пространстве

Здесь следует учесть, что при наложении волн, идущих в сторону точки O , происходит взаимное ослабление колебаний, и в этом направлении волны гасят друг друга.

Направление перемещения фронта волны на рисунке 31 показано стрелкой AB . Напомним, что линию, вдоль которой перемещается фронт волны, называют лучом. В изотропной среде свет распространяется прямолинейно, т. е. световые лучи в такой среде являются прямыми линиями. Это подтверждается многими явлениями, например появлением тени от непрозрачных тел, помещенных на пути световых лучей.

Чем дальше от точки О (рисунок 31) уходит фронт волны, тем меньше становится кривизна его поверхности. Поэтому на большом расстоянии от источника света маленький участок сферического фронта волны на практике можно считать плоским, а световые лучи можно считать параллельными. Например, солнечные лучи на поверхности Земли считают параллельными.

Для упрощения дальше мы условно будем говорить об энергии и цвете луча, подразумевая под этим энергию и цвета излучения, переносимого по направлению луча.

7.6 Скорость распространения света в различных средах. Оптическая плотность среды

Скорость распространения электромагнитных волн зависит от рода среды и определяется выражением

$$v = \frac{c}{\sqrt{\mu\varepsilon}} = \frac{c}{n}, \quad (24)$$

где n – абсолютный показатель преломления среды;

μ - относительная магнитная проницаемость среды;

ε - относительная диэлектрическая проницаемость среды;

v - скорость распространения электромагнитных волн.

У всех веществ, в которых может распространяться световое излучение, т. е. прозрачных для света, относительная магнитная проницаемость μ очень мало отличается от единицы; следовательно, скорость распространения света в веществе определяется его диэлектрической проницаемостью ε . (Затем, что ε зависит от частоты колебаний вектора E , поэтому и скорость распространения света в диэлектриках тоже зависит от частоты колебаний в световом излучении).

Величину, характеризующую зависимость скорости распространения света от рода среды, называют оптической плотностью среды. Она измеряется числовым значением абсолютного показателя преломления среды $n=c/v$.

Ясно, что оптическая плотность вакуума равна единице. Поскольку показатель преломления n для воздуха равен 1,003, то скорость света в воздухе очень часто принимают за c . Скорость распространения света в воде в $4/3$ раза меньше, чем в воздухе, т. е. у воды $n=1,33$.

Изменение скорости распространения света является причиной преломления света, т. е. изменения направления его распространения при переходе из одной прозрачной среды в другую.

7.7 Оптические явления на границе раздела двух прозрачных сред

Вспомним, что в однородной среде свет распространяется прямолинейно. Это дает возможность при описании распространения света в такой среде пользоваться световыми лучами.

Изменение направления распространения света происходит на границе раздела двух различных сред. Поэтому, если установить из опытов законы, позволяющие точно определять такие изменения, то с помощью световых лучей можно описывать ход многих оптических явлений, не учитывая физической природы светового излучения. Часть оптики, в которой используется такой метод описания явлений, называют геометрической оптикой. В этой главе рассматриваются законы, которым подчиняются оптические явления, происходящие на границе раздела двух прозрачных сред.

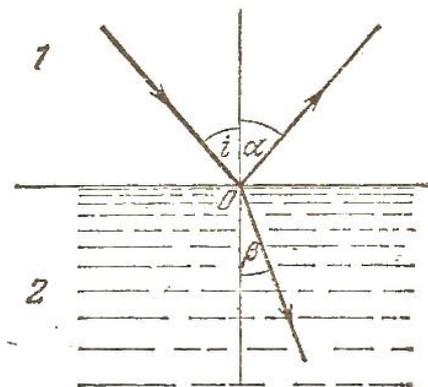


Рисунок 32 – Пучок света, падающий на поверхность воды

Когда на поверхность воды из воздуха падает тонкий пучок света (рисунок 32), то можно заметить, что в точке падения O часть света отражается, а часть проникает в воду и при этом преломляется. Углы i и α соответственно называют углом падения и углом отражения. Угол β , составленный преломленным лучом и перпендикуляром к поверхности раздела двух сред в точке падения лучей, называют углом преломления.

Возникает вопрос: сколько энергии, принесенной излучением на поверхность раздела двух сред, унесут отраженные лучи и сколько – преломленные? Пусть излучение приносит в точке O за некоторое время энергию W . Дальше эта энергия разделяется: одну ее часть ($W_{отр}$) уносят отраженные, а другую ($W_{пр}$) – преломленные лучи. Из закона сохранения энергии следует, что

$$W = W_{отр} + W_{пр}. \quad (25)$$

где W – энергии, приносимая излучением;

$W_{отр}$ – энергия, уносимая отраженными лучами;

$W_{пр}$ – энергия, уносимая преломленными лучами.

Поскольку всякая среда (кроме вакуума) поглощает энергию излучения, это равенство справедливо только при измерении энергии вблизи точки O . Если световое излучение проходит в среде значительные расстояния, мало ослабляясь, то среду называют прозрачной (например, стекло, воду, спирт и т. п.). Напротив, металлы

очень сильно поглощают проникающее в них световое излучение, т. е. непрозрачны для него. Большую часть падающего на них излучения они отражают.

Вспомним, что морская вода и другие электролиты – хорошие проводники электрического тока, но слабо поглощают видимое излучение и этим резко отличаются от металлов. Это объясняется тем, что в электролитах нет свободных электронов, а ионы из-за своей сравнительно большой массы не успевают следовать высокочастотным колебаниям в световом луче.

Итак, каждая среда в той или иной степени отражает и поглощает световое излучение. Отражение и поглощение падающего на тело излучения зависит от рода вещества, от состояния поверхности, от состава излучения, от угла падения лучей и других причин. При увеличении угла падения i доля отраженного света увеличивается, а проникающего – уменьшается.

Заметим, что зависимость отражения и поглощения от частоты колебаний чаще всего имеет избирательный характер, т. е. колебания с одной частотой вещество отражает или поглощает сильно, а другой – слабо. Например, атмосфера Земли сильно поглощает короткие волны видимого спектра и значительно слабее – его длинные волны.

7.8 Законы отражения света.

С помощью опытов законы отражения для светового излучения были найдены еще в III в. до н. э. древнегреческим ученым Евклидом. В современных условиях проверка этих законов делается с помощью оптической шайбы (рисунок 33). Она состоит из источника света A , который можно перемещать вокруг диска, разделенного на градусы. Направляя свет на отражающую поверхность Z , измеряют углы i и α .

Законы отражения света совпадают с законами отражения волн от препятствий

Луч, падающий и луч отраженный лежит в одной плоскости с перпендикуляром к отражающей поверхности, восстановленным в точке падения луча.

Угол отражения луча равен углу его падения:

$$r = i \quad (26)$$

где r – угол падения;

i – угол отражения.

С помощью оптической шайбы можно показать, что *падающий и отраженный лучи обратимы*, т. е. если падающий луч направить по пути отраженного луча, то отраженный луч пойдет по пути падающего луча.

Установленные законы отражения для сферического фронта волны справедливы и для плоского фронта волны, т. е. для случая падения на плоскую поверхность параллельных лучей.

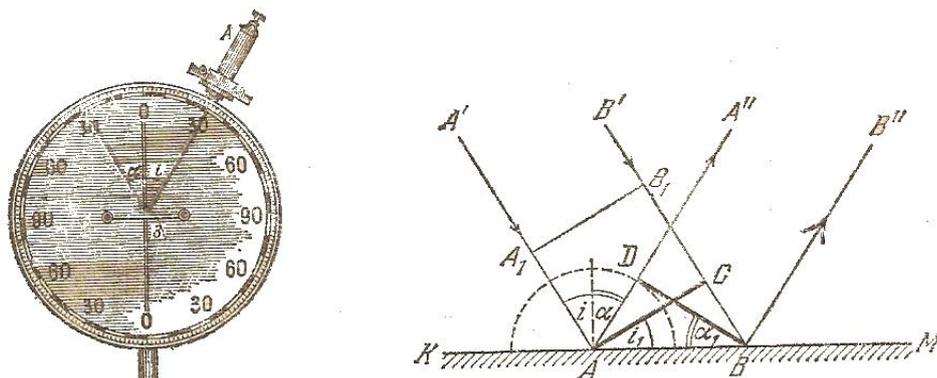


Рисунок 33 – Оптическая шайба. Плоская волна, падающая на гладкую поверхность

Пусть на гладкую поверхность KM (рисунок 33) падает плоская волна, фронт которой в какой-либо момент времени занимает положение A_1B_1 . Через некоторое время он займет положение AC . В этот момент времени (мы примем его за нуль) от точки A начнет распространяться отраженная элементарная волна. Пока фронт волны за время t из точки C переместится в точку B , волна из точки A распространится по полусфере на расстояние AD , равное CB , так как $AD=vt$ и $CB=vt$ (v — скорость распространения волн). Новым положением фронта волны после отражения лучей

будет касательная к полусфере, проведенная из точки B , т. е. прямая BD . Далее этот фронт волны будет двигаться параллельно самому себе по направлению лучей AA'' или BB'' .

Поскольку прямоугольные треугольники ADB и ACB имеют общую гипотенузу AB и равные катеты AD и CB , то они равны между собой. Поэтому $i_1 = \alpha_1$, так как $i_1 = \angle i$ и $\alpha_1 = \angle \alpha$, как углы со взаимно перпендикулярными сторонами, то и $\alpha = i$, т. е. угол падения равен углу отражения, что и требовалось доказать.

7.9 Законы преломления света

Выше говорилось, что преломление света обусловлено изменением скорости распространения света при переходе излучения из одной среды в другую. Рассмотрим более подробно, как волновая теория объясняет преломление света.

Пусть на поверхность раздела двух прозрачных сред KM (рисунок 32) падает пучок параллельных лучей $A'B'$, фронт волны которых в начальный момент времени занимает положение AC . Если скорость распространения излучения в первой среде v_1 больше, чем скорость их распространения v_2 во второй среде, то за время t перемещения фронта волны на расстояние $CB = v_1 t$ в первой среде, во второй среде волны распространяются из точки A по полусфере с радиусом $AD = v_2 t$.

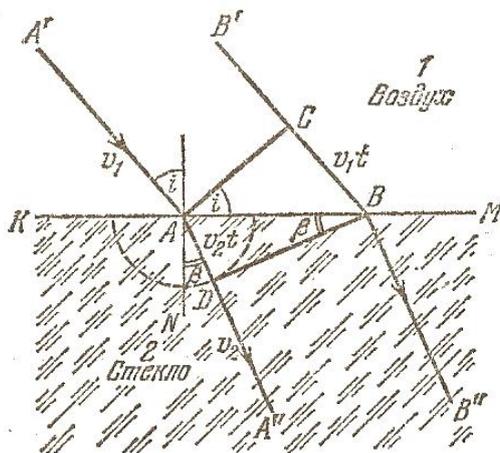


Рисунок 34 – Параллельные лучи, падающие на поверхность раздела двух сред

Следовательно, фронт волны к этому моменту времени займет положение BD и дальше будет перемещаться параллельно самому себе в направлении AA'' или BB'' .

Таким образом, при переходе из первой среды во вторую световые лучи преломляются так, что угол преломления β оказывается меньше угла падения i , т. е. лучи приближаются к перпендикуляру AN .

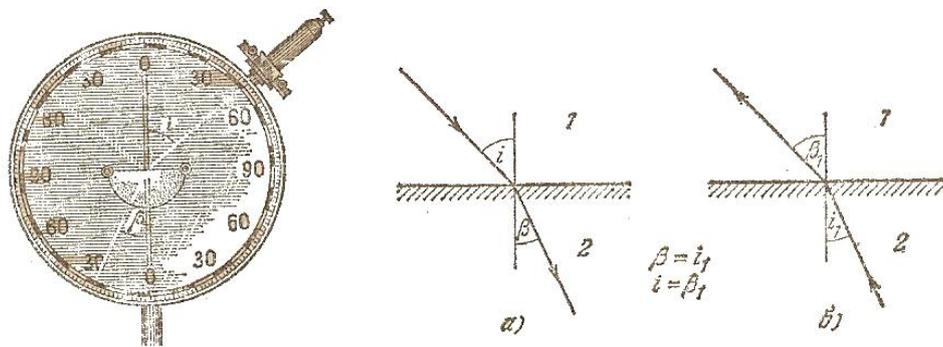


Рисунок 35 – Оптическая шайба. Обратимость падающего и преломленного лучей

Найдем математическую связь между углами i и β . Из прямоугольного треугольника ABC имеем $BC=AB\sin i$, а из треугольника ABD $AD=AB \sin\beta$. Разделив почленно эти равенства, получим $BC/ AD=\sin i/ \sin\beta$. Так как $BC/ AD= v_1t/ v_2t$, то

$$\frac{\sin i}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}, \quad (27)$$

где v_1 - скорость света в первой среде;

v_2 - скорость света во второй среде.

Поскольку отношение скоростей света для двух определенных сред есть величина постоянная, ее обозначают n_{21} и называют показателем преломления второй среды относительно первой

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}, \quad (28)$$

где n_{21} - показателем преломления второй среды относительно первой.

Из сопоставления формул (27) и (28) получаем:

$$\frac{\sin i}{\sin \beta} = n_{21} \quad (29)$$

Справедливость формулы (29) можно проверить на опытах с оптической шайбой (рисунок 35). При этом можно убедиться еще и в том, что падающий и преломленный лучи находятся в одной плоскости с отраженным лучом.

Итак, преломление света подчиняется двум законам:

1. Луч падающий и луч преломленный лежит в одной плоскости с перпендикуляром, восставленным в точке падения луча к поверхности раздела двух сред.

2. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления для двух данных

сред есть величина постоянная: $\frac{\sin i}{\sin \beta} = n_{21}$.

Из второго закона следует, что при увеличении угла падения увеличивается и угол преломления (но не пропорционально).

Падающий и преломленный лучи обладают обратимостью, т. е. если падающий луч в первой среде, изображенный на рисунке 35, а), направить по пути преломленного луча во второй среде, то после преломления он пойдет по пути падающего луча (рисунке 35, б). Следовательно, когда луч света переходит из среды оптически более плотной в среду оптически менее плотную, то он удаляется от пер-

пендикуляра. Ясно, что числовое значение показателя преломления в этом случае будет меньше единицы.

Именно удалением световых лучей от перпендикуляра при преломлении объясняется кажущееся уменьшение глубины водоема, когда человек смотрит в воду (рисунке 36, а). Если на дне водоема лежит камень K на глубине h , то человек видит мнимое изображение камня K_1 на глубине h_1 . (Покажите, что $h : h_1 = n$, где n — показатель преломления воды относительно воздуха.)

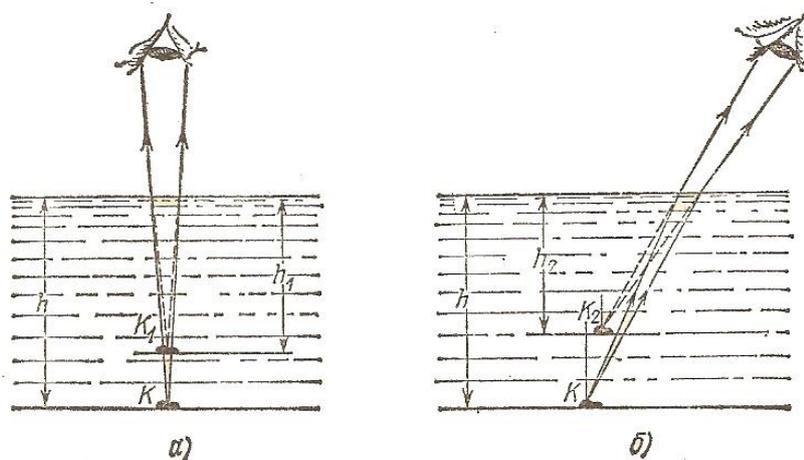


Рисунок 36 – Кажущееся уменьшение глубины водоема

Когда человек смотрит в воду сбоку, то камень кажется смещенным еще и в горизонтальном направлении (к наблюдателю), так как человек видит мнимое изображение камня (рисунке 36, б), положение которого зависит от угла падения лучей, попадающих в глаз.

Если лучи света падают на поверхность раздела прозрачных сред перпендикулярно к этой поверхности, то они проникают в другую среду, не преломляясь.

7.10 Абсолютный показатель преломления и его связь с относительным показателем преломления

Показатель преломления среды относительно вакуума, т. е. для случая перехода световых лучей из вакуума в среду, называется абсолютным и определяется формулой:

$$n = c/v \quad (30)$$

При расчетах абсолютные показатели преломления берут из таблиц, поскольку их величина определена достаточно точно с помощью опытов. Так как c больше v , то абсолютный показатель преломления всегда больше единицы.

Если световое излучение переходит из вакуума в среду, то формулу второго закона преломления записывают в виде

$$\frac{\sin i}{\sin \beta} = n \quad (31)$$

Формулой (31) на практике часто пользуются и при переходе лучей из воздуха в среду, так как скорость распространения света в воздухе очень мало отличается от c . Это видно из того, что абсолютный показатель преломления воздуха равен 1,0029.

Когда луч идет из среды в вакуум (в воздух), то формула второго закона преломления принимает вид

$$\frac{\sin i}{\sin \beta} = \frac{1}{n} \quad (32)$$

В этом случае лучи при выходе из среды обязательно удаляются от перпендикуляра к поверхности раздела среды и вакуума.

Выясним, как можно найти относительный показатель преломления n_{21} по абсолютным показателям преломления. Пусть свет переходит из среды с абсолютным показателем n_1 в среду с абсолютным показателем n_2 . Тогда

$$n_1 = c/v_1 \quad \text{и} \quad n_2 = c/v_2 \quad (33)$$

откуда

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21} \quad (34)$$

Формулу второго закона преломления для такого случая часто записывают следующим образом:

$$\frac{\sin i}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} \quad (35)$$

Величина абсолютного показателя преломления, кроме рода вещества, зависит еще от частоты, колебаний, или от длины волны излучения. С уменьшением длины волны, как правило, показатель преломления увеличивается.

8 Практическая часть работы № 3

Цель работы: Знакомство с одним из методов по определению коэффициента преломления стекла.

Оборудование: Стеклопластинка, 4 булавки.

Порядок выполнения работы:

- 1) Расположить пластинку на середине листа и обвести её карандашом.
- 2) Воткнуть булавку в лист в точке А.
- 3) Расположить глаз на уровне листа так, чтобы угол зрения с перпендикуляром, проведённым к грани пластины составил примерно 30 градусов.
- 4) По другую сторону пластины в точке В воткнуть вторую булавку. Основания булавок должны находиться на одной прямой.
- 5) В точках С и D воткнуть ещё две булавки. Основания всех четырёх булавок должны лежать на одной прямой.

б) Через полученные точки А, В, С, D проводим прямые линии.

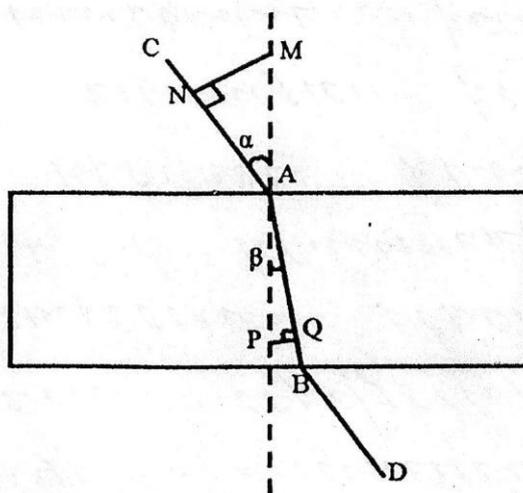


Рисунок 37 – Схема расположения призмы и булавок

7) От точки А на перпендикуляре по обе стороны отложить равные отрезки АМ и АР.

8) Из точек М и Р на лучи АС и АВ опустить перпендикуляры.

9) Из треугольников АМN и АРQ находим:

$$\sin \alpha = \frac{MN}{AM} \quad (36)$$

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{MN \cdot AP}{AM \cdot PQ} = \frac{MN}{PQ} \quad (37)$$

$$\sin \beta = \frac{PQ}{AP} \quad (38)$$

10) Определить скорость света в стекле, если скорость света в воздухе $3 \cdot 10^8$ м/с.

9 Вопросы для защиты лабораторной работы № 3

- 1 Какие световые явления подтверждают волновую природу света?
- 2 Как распространяется свет в однородной среде?
- 3 В каких пределах находится длина волн видимого света?
- 4 Какова природа света?
- 5 От чего зависит цветность света?
- 6 Изменяются ли свойства света с изменением длины волны?
- 7 Где происходят электрические колебания, в результате которого возникает свет?
- 8 Что является главным источником света на Земле?
- 9 Как зависит скорость распространения света в данной среде от оптических свойств этой среды?
- 10 Чему равна скорость света в вакууме?
- 11 Покажите на рисунке угол падения и угол преломления светового луча.
- 12 В каких случаях угол падения светового луча на поверхность раздела сред больше угла преломления?
- 13 В каких случаях угол преломления светового луча больше угла падения?
- 14 Напишите формулу для определения скорости распространения света в среде с известным показателем преломления.
- 15 Напишите формулу второго закона преломления света.
- 16 Одинаков ли показатель преломления данной среды для лучей разного цвета? Для каких лучей он больше?
- 17 Находятся ли небесные светила там, где она кажутся нам? Дайте объяснение.
- 18 Чему равен угол отражения, если луч падает перпендикулярно к поверхности?

19 Чему равен угол преломления, если луч света падает перпендикулярно на границу раздела двух сред?

20 По какой формуле можно определить предельный угол полного отражения?

21 Может ли произойти полное внутреннее отражение при переходе светового луча из воды в воздух?

22 Как можно объяснить возникновение миражей в пустынях?

10 Теоретическая часть работы № 4

10.1 Определение и виды линз

Линзами называют прозрачные тела, ограниченные с одной или двух сторон преломляющими сферическими или цилиндрическими поверхностями,

Рассмотрим свойства тонких сферических линз, т. е. линз, толщина которых мала, а преломляющая поверхность (одна или обе) — сферические.

Сечения сферических линз показаны на рисунке 38 Двояковыпуклые, плосковыпуклые и вогнуто-выпуклые линзы, а двояковогнутые, плоско-вогнутые и выпукло-вогнутые.

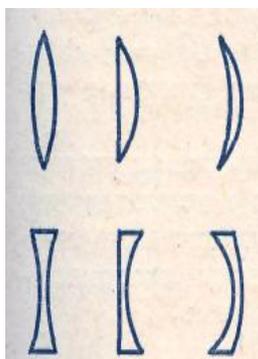


Рисунок 38 - Виды линз

Допустим, что преломляющие поверхности тонкой линзы образованы сферами с радиусами R_1 и R_2 (рисунок 39). Центры сфер O_1 и O_2 . Тогда O_1O_2 — главная оптическая ось линзы.

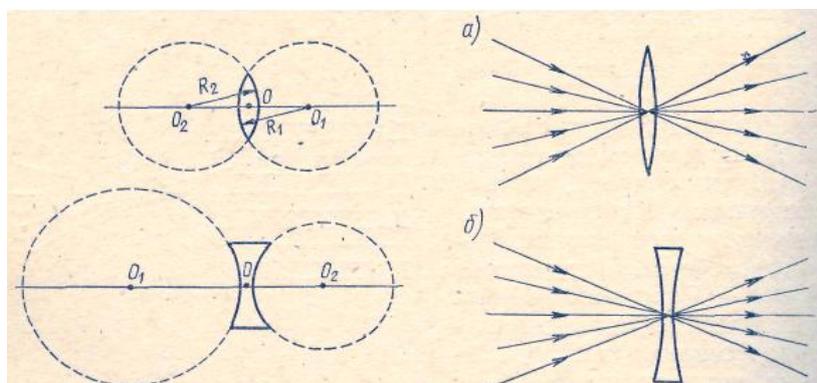


Рисунок 39 - Оптические параметры линз

Точку O , расположенную в центре линзы на ее главной оптической оси, называют оптическим центром линзы, а любую другую прямую, проходящую через оптический центр, — побочной оптической осью (рисунок 39, а, б). Луч, идущий по какой-либо из оптических осей, проходя через тонкую линзу, не меняет своего направления.

Луч, падающий на линзу не вдоль любой из ее оптических осей, а по какому-либо другому направлению, отклоняется от первоначального направления (рисунок 40).

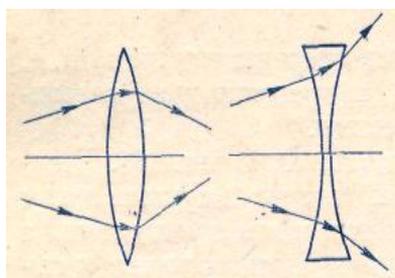


Рисунок 40 - Ход лучей после преломления в линзе.

10.2 Фокус фокальной плоскости линзы

Если параллельно главной оптической (побочной) оси линзы направить пучок солнечного света, то он соберется в одной точке, которая называется главным (побочным) фокусом (рисунок 41, а). Так как побочных осей может быть сколько угодно, то и побочных фокусов также может быть сколько угодно. Однако все они лежат в одной плоскости с главным фокусом. Эта плоскость называется фокальной (рисунок 41, б).

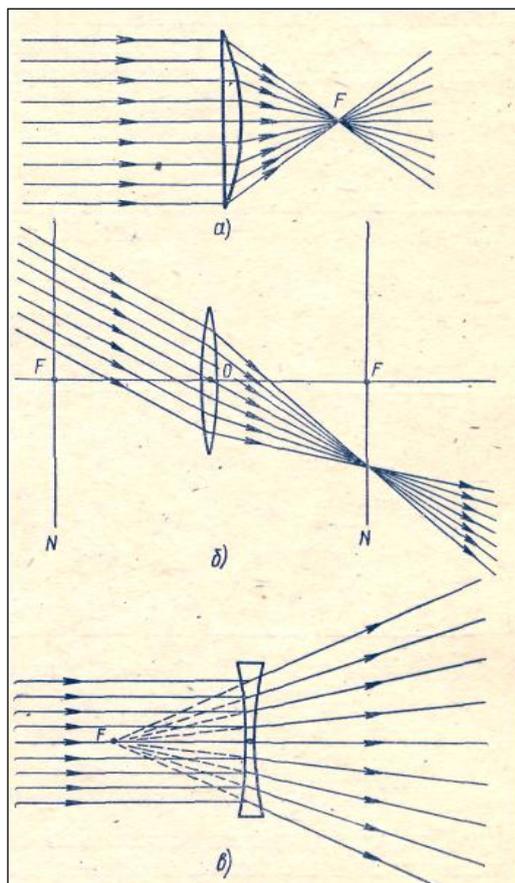


Рисунок 41 - Фокальные плоскости линз

Расстояние $OF = F$ называют главным фокусным расстоянием. Расчеты показывают, что главное фокусное расстояние F тонкой двояковыпуклой линзы связано с относительным показателем преломления n вещества, из которого изготовлена линза, и радиусами R_1 и R_2 кривизны преломляющих поверхностей следующим соотношением:

$$\frac{1}{F} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (39)$$

где F - главное фокусное расстояние линзы, м;

n - относительный показатель преломления вещества, из которого изготовлена линза;

R_1, R_2 - радиусы кривизны преломляющих поверхностей, м.

Если пучок световых лучей направить на рассеивающую линзу параллельно ее главной оптической оси, то линза рассеивает лучи так, что их продолжения собираются в одной точке, называемой мнимым фокусом (рисунок 41, в). Расстояние от оптического центра линзы до мнимого фокуса называют фокусным расстоянием. Для отрицательной линзы его величина отрицательная.

Мы будем рассматривать наиболее простой случай, когда толщина линзы $l = |AB|$ пренебрежимо мала по сравнению с радиусами R_1 и R_2 поверхностей линзы (рисунок 42) и расстоянием предмета от линзы. Такую линзу называют тонкой линзой. В дальнейшем, говоря о линзе, мы всегда будем подразумевать тонкую линзу. Точки A и B — вершины сферических сегментов — в тонкой линзе расположены столь близко друг от друга, что их можно принять за одну точку, которую называют оптическим центром линзы и обозначают буквой O . Луч света, который проходит через оптический центр линзы, практически не преломляется.



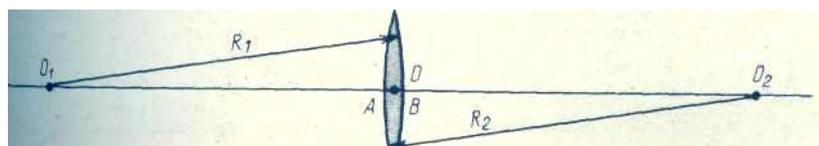


Рисунок 42 - Тонкая линза

Прямую O_1O_2 , проходящую через центры сферических поверхностей, которые ограничивают линзу, называют ее главной оптической осью. Главная оптическая ось тонкой линзы проходит через оптический центр. Любую другую прямую, проходящую через оптический центр, называют побочной оптической осью (рисунок 42)

Вогнутые линзы являются рассеивающими. Укрепив линзу на диске, направляем на нее лучи, параллельные главной оптической оси. Преломленные лучи будут расходящимися (рисунок 43), а их продолжения пересекаются в главном фокусе рассеивающей линзы. В этом случае главный фокус является мнимым (рисунок 43, а) и расположен на расстоянии F от линзы. Второй мнимый главный фокус находится по другую сторону линзы на таком же расстоянии, если среда по обе стороны линзы одна и та же (рисунок 43, б).

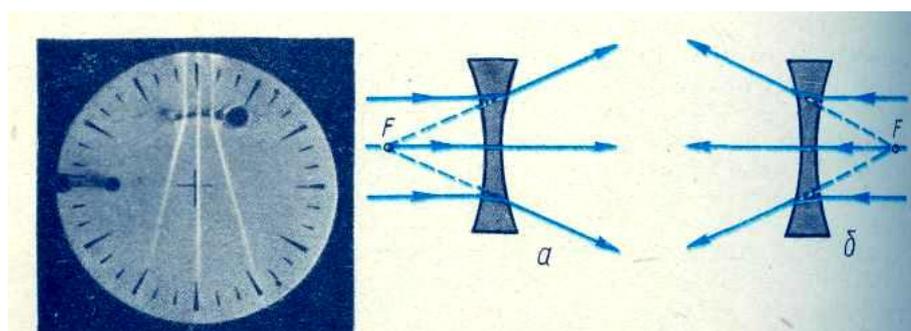


Рисунок 43 - Рассеивающая линза

10.3 Оптическая сила линзы и единица ее измерения

Положение главного фокуса оказывает существенное влияние на размеры и вид изображений, полученных с помощью линзы. Величину D , которая характеризует оптические свойства линзы, определяемые положением ее главного фокуса на оптической оси, называют оптической силой линзы.

Оптическая сила линзы измеряется числом обратным главному фокусному расстоянию этой линзы F :

$$D = \frac{1}{F}, \quad (40)$$

где D – оптическая сила линзы, дптр;

F – главное фокусное расстояние, м.

Единица измерения оптической силы из формулы (40):

$$D = \frac{1}{1\text{м}} = 1\text{м}^{-1} = 1\text{D (диоптрия)} \quad (40a)$$

В системе СИ за единицу измерения оптической силы принимается диоптрия – оптическая сила такой линзы, главное фокусное расстояние которой равно одному метру. Оптическую силу собирающих линз (как и фокусное расстояние F) условились считать положительной, а рассеивающих - отрицательной.

10.4 Опыт получения изображений при помощи собирающей тонкой линзы

Подобно плоскому зеркалу линза создает изображения источников света. Это означает, что свет, исходящий из какой-либо точки предмета (источника), после преломления в линзе, снова собирается в одну точку (изображение), независимо от того, через какую часть линзы прошли лучи. Если по выходе из линзы лучи сходят-

ся, они образуют действительное изображение. В случае же, когда прошедшие через линзу лучи являются расходящимися, пересекаются в одной точке не сами эти лучи, а лишь их продолжения. Изображение тогда мнимое. Его можно наблюдать глазом непосредственно или с помощью оптических приборов. Это можно наблюдать на следующем опыте:

В темной комнате будем передвигать зажженную свечу вдоль главной оптической оси линзы. При некотором положении свечи мы увидим на экране ее действительное, увеличенное и обратное изображение (рисунок 44, а).

Отодвинем свечу от линзы. Ее изображение на экране исчезнет. Передвигая экран, можно обнаружить изображение: оно приблизилось к линзе, стало меньше и ярче, но осталось действительным, обратным и увеличенным.

При дальнейшем движении свечи от линзы ее изображение будет уменьшаться и, наконец, сначала станет равным свече, а затем меньше нее (рисунок 44, б).

Приблизим свечу на столько близко к линзе, чтобы её изображение на экране пропало. Однако сквозь линзу мы увидим прямое увеличенное, но мнимое изображение свечи (рисунок 44, в).

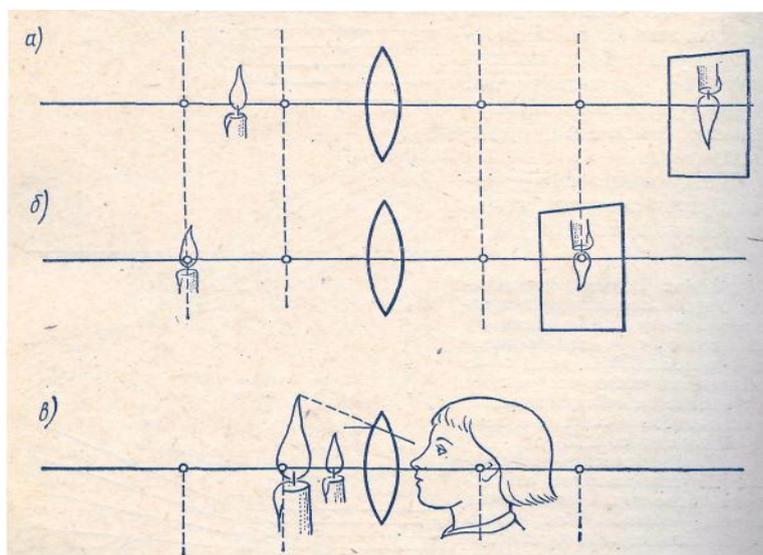


Рисунок 44 - Опыт получения изображений при помощи собирающей тонкой линзы

Таким образом, мы убедились в том, что при помощи собирающей линзы можно получить как увеличенные, так и уменьшенные изображения. При этом все действительные изображения — обратные, а все мнимые — прямые.

10.5 Построение изображений в линзах

Свойства тонкой линзы определяются главным образом расположением ее фокусов. Это означает, что, зная расстояние от источника до линзы и фокусное расстояние (положение фокусов), можно определить расстояние до изображения, не прибегая к рассмотрению хода лучей внутри линзы. В связи с этим отпадает необходимость изображать на чертеже точный вид сферических поверхностей линзы. Собирающую линзу представляют символом, показанным на рисунке 45, а) рассеивающую — символом, показанным на рисунке 45,б).

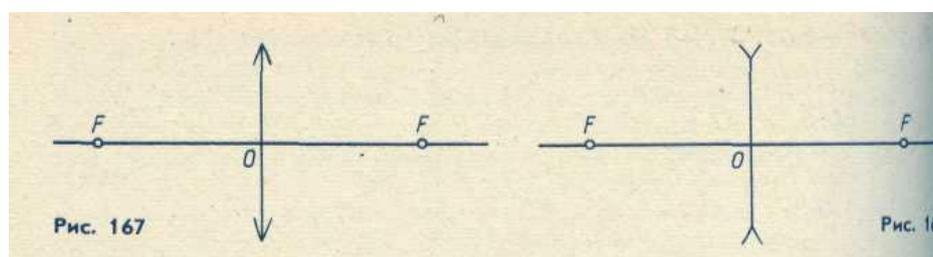


Рисунок 45 - Условное обозначение собирающих и рассеивающих линз

Нам уже известно, что все лучи, вышедшие из какой-либо точки предмета, пройдя сквозь линзу, пересекаются также в одной точке. Именно благодаря этому свойству тонкая линза дает изображение любой точки предмета, а следовательно, и всего предмета в целом.

Для построения изображений, получаемых с помощью собирающей линзы, фокусы и оптический центр которой заданы, мы преимущественно будем пользоваться тремя видами «удобных» лучей. Как было выяснено в предыдущем параграфе, лучи, параллельные главной оптической оси, преломившись в линзе, проходят

через ее фокус. Из обратимости хода лучей следует, что лучи, идущие к линзе через ее фокус, после преломления пойдут параллельно главной оптической оси. Наконец, лучи, проходящие через оптический центр линзы, не меняют своего направления. Они лишь испытывают параллельное смещение, которое в случае тонкой линзы невелико, и им можно пренебречь.

Построим изображение предмета АВ (рисунок 46). Чтобы найти изображение точки А, направим луч АС параллельно главной оптической оси. После преломления он пойдет через фокус линзы. Другой луч — АД — можно направить через фокус. После преломления он пойдет параллельно главной оптической оси. В точке пересечения этих двух преломленных лучей будет находиться изображение A_1 точки А. Так же можно построить и все остальные точки изображения. Не следует только думать, что изображение создается двумя или, тремя лучами; оно создается всем бесчисленным множеством лучей, вышедших из точки А и собравшихся в точке A_1 . В частности, в точку А попадает луч АОА₁, прошедший через оптический центр О линзы. Таким образом, для построения изображения точки можно использовать любые два из трех «удобных» лучей, ход которых через линзу известен:

- 1) луч, проходящий через оптический центр,
- 2) луч, падающий на линзу параллельно главной оптической оси,
- 3) луч, проходящий через фокус.

Рассмотрим еще случай, когда необходимо построить изображение точки, расположенной на главной оптической оси. Трудность заключается в том, что все три «удобных» луча сливаются в один луч SF, совпадающий с главной оптической осью. Поэтому возникает необходимость определить ход произвольного луча SB (рисунок 46), попавшего на линзу в точке В. Для построения преломленного луча проведем побочную оптическую ось PQ, параллельную лучу SB. Затем построим фокальную плоскость и найдем точку С пересечения фокальной плоскости с побочной оптической осью. Через эту точку пройдет преломленный луч ВС. Таким образом, построен ход двух лучей, выходящих из точки S. После преломления в линзе

эти лучи расходятся. Изображение S_1 точки S будет мнимым, так как источник расположен между фокусом и линзой.

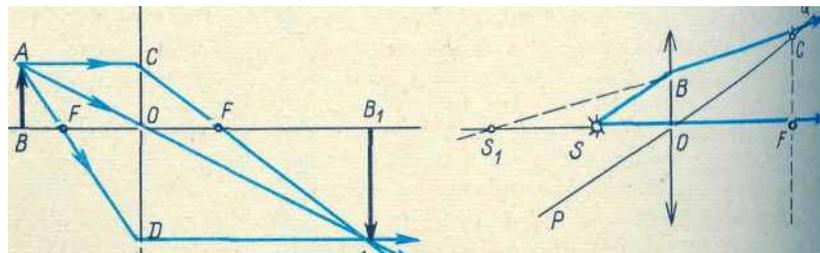


Рисунок 46 - Построение изображения предмета в собирающей линзе

Законы преломления волн позволяют графически определить место, размеры и вид изображения, получаемого в собирающей линзе. Допустим, что на расстоянии d от собирающей линзы находится небольшой предмет AB , Надо найти его изображение, даваемое линзой. Вспомним, что от каждой точки светящегося предмета отходят электромагнитные волны, которые можно задать лучами.

Для построения изображения в линзе любой точки S объекта, также как и при построении изображения в зеркале, достаточно найти точку пересечения каких-либо двух лучей, исходящих из точки S . Наиболее простое построение выполняется при помощи следующих трех лучей: луч, проходящий через оптический центр линзы не преломляется; луч, падающий на линзу параллельно главной оптической оси, после прохождения через линзу, идет через ее главный фокус; луч, проходящий через фокус, после прохождения через линзу идет параллельно ее главной оптической оси.

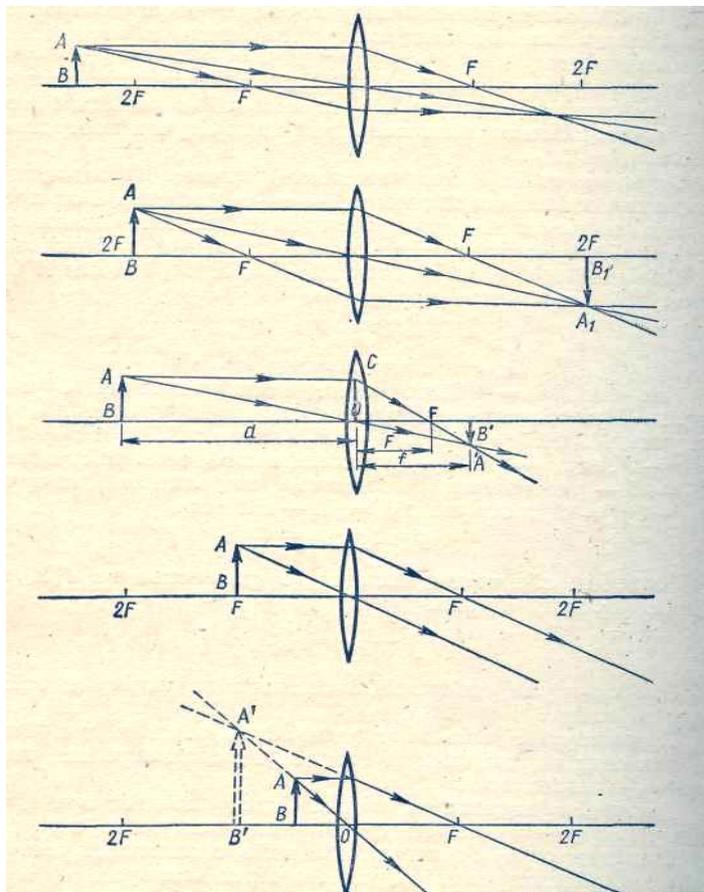


Рисунок 47 - Все возможные случаи построения изображений

10.6 Формулы тонкой линзы

Выведем формулу, связывающую три величины: расстояние d от предмета до линзы, расстояние f от изображения до линзы и фокусное расстояние F .

Из подобия треугольников AOB и A_1B_1O (рисунок 44) следует соотношение

$$\frac{|BO|}{|OB_1|} = \frac{|AB|}{|A_1B_1|}.$$

Из подобия треугольников COF и FA_1B_1 имеем:

$$\frac{|CO|}{|A_1B_1|} = \frac{|OF|}{|FB_1|}$$

Так как $|AB| = |CO|$, то

$$\frac{|AB|}{|A_1B_1|} = \frac{|OF|}{|FB_1|}$$

Отсюда

$$\frac{|BO|}{|OB_1|} = \frac{|OF|}{|FB_1|}$$

или

$$\frac{d}{f} = \frac{F}{f - F}$$

После простых преобразований имеем:

$$fF + Fd = fd$$

Поделив все члены полученного равенства на произведение Ffd , получим:

$$\boxed{\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}} \quad (41)$$

или

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = D \quad (42)$$

Соотношения (41) или (42) принято называть формулой тонкой линзы. Величины d , f и F могут быть как положительными, так и отрицательными. Отметим (без доказательства), что, применяя формулу линзы, нужно ставить знаки перед членами по следующему правилу. Если линза собирающая, то ее фокус действительный и перед членом $\frac{1}{|F|}$ ставится знак «плюс». В случае рассеивающей линзы $F < 0$ и в правой части формулы (41) будет стоять отрицательная величина $-\frac{1}{|F|}$. Перед членом $\frac{1}{f}$ ставится знак «плюс», если изображение действительное, и знак «минус» в случае мнимого изображения. Наконец, перед членом $\frac{1}{d}$ ставят знак «плюс» в случае действительной светящейся точки и «минус», если она мнимая (т. е. на линзу падает сходящийся пучок лучей, продолжения которых пересекаются в одной точке).

В том случае, когда F , f или d неизвестны, перед соответствующими членами $\frac{1}{F}$, $\frac{1}{f}$ или $\frac{1}{d}$ ставится знак «плюс». Но если в результате вычислений фокусного расстояния или расстояния от линзы до изображения или до источника получается отрицательная величина, то это означает, что фокус, изображение или источник являются мнимыми.

10.7 Коэффициент увеличения линзы

Изображение, даваемое линзой, обычно отличается своими размерами от предмета. Различие размеров предмета и изображения характеризуют увеличением.

Линейным увеличением называют отношение линейного размера изображения к линейному размеру предмета.

Для нахождения линейного увеличения обратимся снова к рисунку 46. Если высота предмета AB равна h , а высота изображения A_1B_1 равна H , то Γ — есть линейное увеличение.

$$\Gamma = \frac{H}{h} \quad (43)$$

где Γ — коэффициент линейного увеличения линзы;

H — высота изображения предмета, м;

h — высота предмета, м.

Из подобия треугольников OAB и OA_1B_1 вытекает, что

$$\frac{H}{h} = \frac{|f|}{|d|} \quad (44)$$

где f — расстояние от изображения до линзы, м;

d — расстояние от предмета до линзы, м.

Следовательно, увеличение линзы Γ равно отношению расстояния от изображения до линзы к расстоянию от линзы до предмета:

11 Практическая часть работы № 4

Цель работы: научиться определять фокусное расстояние линзы, получать четкое изображение предмета.

Оборудование: комплект лабораторных приборов, линзы, экран.

Порядок выполнения работы:

- 1) Расположить последовательно: источник света, линзу и экран на одной прямой линии.
- 2) Перемещая линзу и экран добиться отчетливого увеличенного изображения буквы Г на экране.
- 3) Измерить расстояние от предмета до линзы d ; от линзы до экрана f .
- 4) По формуле (3) вычислить главное фокусное расстояние линзы.
- 5) Аналогичные измерения и вычисления провести для уменьшенного изображения и для изображения в натуральную величину.
- 6) Точно также как указано в пунктах 1-5 определить фокусное расстояние линзы №2.
- 7) Результаты занести в таблицу 2:

Таблица 2 - Результаты опытных замеров и расчетов фокусного расстояния

	Увеличенное изображение			Уменьшенное изображение			В натуральную величину			F_{cp}
	d	f	F	D	f	F	d	f	F	
Линза № 1										
Линза № 2										

- 8) Сделать выводы по работе.

12 Контрольные вопросы к лабораторной работе № 4

1 Что такое линзы?

2 Какие виды линз вы знаете?

3 Что называется оптическим центром линзы?

4 Что такое главная оптическая ось?

5 Что такое побочная оптическая ось?

6 Дайте определение главного фокусного расстояния линзы.

7 Что такое побочный фокус линзы?

8 Дайте определение фокальной плоскости линзы.

9 Какое изображение дают рассеивающие линзы, мнимое или действительное?

10 Какое изображение дают собирающие линзы, мнимое или действительное?

11 Могут ли собирающие линзы давать мнимое изображение. Если да, то в каких случаях?

12 Если поместить предмет перед собирающей линзой на расстоянии меньше фокусного, то:

а) изображение предмета действительное, перевёрнутое, уменьшенное, между 1 и 2 фокусным расстоянием.

б) изображение предмета действительное, перевёрнутое, увеличенное, за 2 фокусным расстоянием.

в) изображение мнимое, прямое, всегда увеличенное, на расстоянии больше фокусного.

г) независимо от расстояния до предмета изображение всегда будет мнимым, прямым, на расстоянии меньше фокусного.

13 Если поместить предмет перед собирающей линзой между первым и вторым фокусным расстоянием, то:

а) изображение предмета действительное, перевёрнутое, уменьшенное, между 1 и 2 фокусным расстоянием.

б) изображение предмета действительное, перевёрнутое, увеличенное, за 2 фокусным расстоянием.

в) изображение мнимое, прямое, всегда увеличенное, на расстоянии больше фокусного.

г) независимо от расстояния до предмета изображение всегда будет мнимым, прямым, на расстоянии меньше фокусного.

14 Если поместить предмет перед собирающей линзой за вторым фокусным расстоянием, то:

а) изображение предмета действительное, перевёрнутое, уменьшенное, между 1 и 2 фокусным расстоянием.

б) изображение предмета действительное, перевёрнутое, увеличенное, за 2 фокусным расстоянием.

в) изображение мнимое, прямое, всегда увеличенное, на расстоянии больше фокусного.

г) независимо от расстояния до предмета изображение всегда будет мнимым, прямым, на расстоянии меньше фокусного.

15 Если поместить предмет перед рассеивающей линзой то:

а) изображение предмета действительное, перевёрнутое, уменьшенное, между 1 и 2 фокусным расстоянием.

б) изображение предмета действительное, перевёрнутое, увеличенное, за 2 фокусным расстоянием.

в) изображение мнимое, прямое, всегда увеличенное, на расстоянии больше фокусного.

г) независимо от расстояния до предмета изображение всегда будет мнимым, прямым, на расстоянии меньше фокусного.

16 Дайте определение коэффициента увеличения линзы.

17 Где применяются линзы?

13 Теоретическая часть к лабораторной работе № 5

13.1 Интерференция волн

Представим себе, что на поверхности воды распространяются, полны, идущие из двух различных точек. Эти волны будут накладываться друг на друга в тех местах, где они встречаются и пересекаются. Однако каждая из волн, пройдя место встречи с другой волной, продолжает распространяться дальше так, как будто этой встречи не было. Это означает, что распространение в пространстве волн от одного источника не мешает распространению в нем других волн. Если волны от разных источников вызывают в каждой точке колебания, происходящие по одной прямой, то при наложении таких волн смещение каждой точки равно алгебраической сумме смещений, создаваемых каждой волной в отдельности. Описанное свойство волн называют суперпозицией.

Когда в среде распространяются волны с разной частотой колебаний, колебание каждой точки оказывается негармоническим. В каждой точке среды разность фаз двух колебаний непрерывно меняется во времени, и устойчивых результирующих колебаний не получается.

Иная картина возникает при распространении волн с одинаковыми частотами колебаний. Источники волн, колеблющиеся с одинаковой частотой, в течение всего времени колебаний сохраняющие (постоянную разность фаз, называют когерентными. Волны, создаваемые этими источниками в какой-либо среде, называют когерентными. В каждой точке среды разность фаз колебаний, вызванных когерентными волнами, все время остается постоянной.

При наложении когерентных волн, распространяющихся в какой-либо среде, получается устойчивая картина колебаний точек среды, на которой видно, что одни точки колеблются с большой амплитудой, а другие — с маленькой. Явление взаимного усиления и ослабления колебаний в разных точках среды в результате наложения когерентных волн называют интерференцией. Примером интерференционной

картины колебаний точек среды являются стоячие волны на шнуре, так как прямые и отраженные волны когерентны.

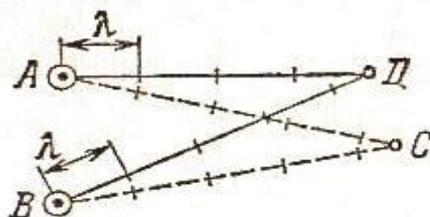


Рисунок 48 - Интерференция когерентных волн на поверхности воды. Два когерентных источника A и B

Заметим, что для наблюдения интерференции удобнее всего пользоваться когерентными источниками, которые создают гармонические колебания точек среды. В этом случае результирующие колебания точек, получающиеся вследствие наложения волн, будут гармоническими.

В частности, при наложении таких волн в какой-либо точке среды с противоположными фазами амплитуда ее колебания равна разности амплитуд накладывающихся колебаний, а в случае наложения волн с одинаковыми фазами амплитуда колебания точки будет равна сумме амплитуд накладывающихся колебаний. Если накладываются колебания с одинаковой амплитудой, то в первом случае точка будет сохранять состояние покоя, а во втором — колебаться с удвоенной амплитудой. Примером таких точек являются узлы и пучности в стоячей волне. Интерференция когерентных волн на поверхности воды показана на рисунке 48, где видны линии, на которых точки не колеблются.

На рисунке 48 изображены два когерентных источника A и B, которые имеют одинаковые фазы и создают в среде волны длиной λ . В случае однородной среды расстояние от выбранной точки, например от точки D, до источника колеба-

ний называют волновым путем. Отметим, что для однородной среды волновой путь совпадает с геометрическим путем, пройденным фронтом волны от источника волн до выбранной точки.

Чтобы установить, в каких точках среды при интерференции волн получится наибольшая (или наименьшая), амплитуда колебаний, пользуются следующим приемом. Находят разность волновых путей от источников волн до выбранной точки, т. е. $(BD—AD)$, и определяют, сколько длин волн укладывается в этой разности. Если в ней уложится нечетное число полуволн, т. е. волны от источников в точку D приходят в противофазе, то в выбранной точке произойдет максимальное ослабление колебаний. Если разность волновых путей равна четному числу полуволн (или нулю), то в выбранной точке произойдет максимальное усиление колебаний.

Для точки D в разности волновых путей укладывается $\lambda/2$, поэтому в ней получается максимальное ослабление колебаний. Для точки C разность волновых путей $(BC—AC)$ равна нулю. Это означает что колебания в ней наложатся одинаковыми фазами, т.е. произойдет максимальное усиление колебаний. Наличие интерференции в каком-либо явлении служит верным признаком его волнового характера.

Интерференция радиоволн, может происходить за счет взаимодействия прямой волны с отраженной от поверхности Земли или от ионосферы; волн, прошедших разные пути в тропосфере, или волн, отраженных разными участками ионосферы, и др.

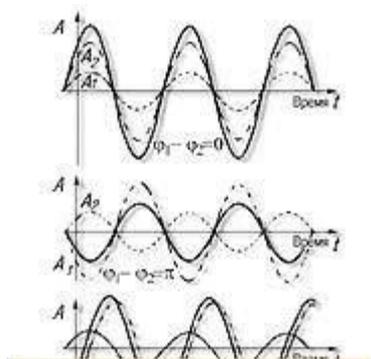


Рисунок 49 - Изменение амплитуды колебаний при интерференции

Когерентность (от лат. *cohaerens* — находящийся в связи), согласованное протекание во времени нескольких колебательных или волновых процессов. На рисунке 49 показано, как меняется амплитуда колебаний если разность фаз двух колебаний остается постоянной во времени или меняется по строго определенному закону, то есть колебания являются когерентными. Колебания, у которых разность фаз изменяется беспорядочно и быстро по сравнению с их периодом, называются некогерентными.

13.2 Интерференция света. Бипризма Френеля

При изучении явлений дифракции и интерференции света Френель установил волновую природу света и показал, что световое излучение является поперечными волнами. Поскольку интерферировать могут только волны от когерентных источников, Френель в первую очередь разработал методы получения когерентных источников света. Опыт показал, что когерентными могут быть лучи, созданные одним и тем же источником света. Для получения интерференции света нужно лучи, идущие от одного источника света по разным направлениям, наложить друг на друга с помощью какого-либо оптического устройства. Френель использовал для этого зеркала и призмы, смотри рисунок 50.

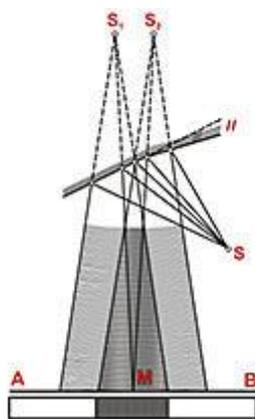


Рисунок 50 - Интерференция световых волн от двух мнимых источников света

Интерференция света, пространственное перераспределение энергии светового излучения при наложении двух или нескольких световых волн; частный случай интерференции волн. Интерференция света наблюдается на экране или иной поверхности в виде характерного чередования светлых и темных полос или пятен (для монохроматического света) или окрашенных участков — для белого света.

Кольца Ньютона, чередующиеся светлые и темные кольца, наблюдающиеся при освещении монохроматическим светом, вокруг точки соприкосновения сферических поверхностей двух линз или выпуклой сферической линзы с плоской пластинкой. Возникают вследствие интерференции света в тонком воздушном промежутке. Впервые наблюдались И. Ньютоном в 1675 году.

13.3 Дифракция света

Дифракция волн (от латинского *diffRACTUS* — разломанный), огибание волнами различных препятствий. Дифракция волн свойственна всякому волновому движению; имеет место, если размеры препятствия порядка длины волны или больше. Например, дифракция света наблюдается при распространении света вблизи краев непрозрачных тел, сквозь узкие отверстия, щели и т. д.; дифракционная картина (чередование световых максимумов и минимумов) — результат интерференции световых волн.

Свет, в узком смысле — электромагнитные волны в интервале частот, воспринимаемых человеческим глазом ($4,0 \cdot 10^{14}$ — $7,5 \cdot 10^{14}$ Гц). Длина волн от 760 нм (красный) до 380 нм (фиолетовый). В широком смысле — то же, что и оптическое излучение.

Препятствия нарушают прямолинейность перемещения фронта волны. Чем меньше размеры препятствия или отверстия по сравнению с длиной волны, тем заметнее явление дифракции. Когда размеры препятствия (отверстия) соизмеримы с длиной волны, дифракция обнаруживается в непосредственной близости от препятствия. Поскольку длины волн светового излучения очень малы, дифракцию света

можно наблюдать только на значительном расстоянии от препятствия или отверстия.

13.4 Дифракционная решетка

Дифракционная решетка, оптический прибор; совокупность большого количества параллельных щелей в непрозрачном экране или отражающих зеркальных полосок (штрихов), равноотстоящих друг от друга, на которых происходит дифракция света. Дифракционная решетка разлагает падающий на нее пучок света в спектр, что используется в спектральных приборах, рисунок 51.

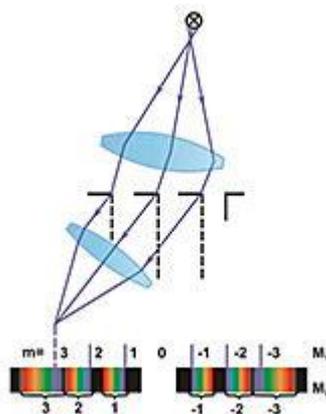


Рисунок 51 - Свет, падающий на дифракционную решетку

Спектр (от лат. spectrum — представление, образ) в физике, совокупность всех значений какой-либо физической величины, характеризующей систему или процесс. Чаще всего пользуются понятиями частотного спектра колебаний (в частности, электромагнитных и акустических), спектра энергий, импульсов и масс частиц. Спектр может быть непрерывным и дискретным.

Дифракционные решетки делают либо из прозрачного твердого вещества, либо из металлического зеркала. В обоих случаях на поверхности алмазным резцом наносят штрихи, параллельные друг другу. Промежутки между штрихами остаются прозрачными для света. В настоящее время изготавливают решетки, в которых на одном миллиметре нанесено более тысячи штрихов. Важной характеристикой ре-

шетки является постоянная решетки, или ее период d - сумма ширины прозрачной (щели) и непрозрачной (штриха) для света полос.

Каждую из цветных линий на экране, где расположен спектр, называют максимумом, а соответствующее значение k – его порядком. Итак, против центра решетки на экране виден самый яркий максимум нулевого порядка, по обе стороны от него на равных расстояниях видны менее яркие максимумы первого порядка, затем еще менее яркие максимумы второго порядка и так далее.

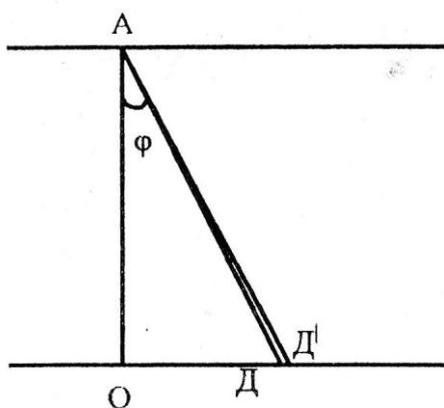
14 Практическая часть лабораторной работы № 5

Цель работы: Знакомство с одним из методов определения длины световой волны.

Оборудование: Прибор для определения длины световой волны.

Порядок выполнения работы:

- 1) Направить лучи света на дифракционную решётку.
- 2) Измерить расстояние от дифракционной решётки до экрана AO (рисунок 50)
- 3) Измерить расстояние от нулевого максимума до первого OD (т.е. расстояние от нуля до начала полосы любого цвета спектра).



$$\sin \varphi = \frac{OD}{AD}$$

$$AD \approx AO$$

$$\sin \varphi = \frac{OD}{AO}$$

Рисунок 52 - Лучи, распространяющиеся от дифракционной решетки до экрана

4) Вычислить $\sin \varphi$ для $k = 1$ (первый, ближайший к нулю спектр).

5) Вычислить длину световой волны по формуле дифракционной решётки:

$$d \cdot \sin \varphi = K \cdot \lambda, \quad (45)$$

где $d=10^{-5}$ м – постоянная дифракционной решётки.

6) Повторить пункты 3 – 5, вычисляя длину остальных четырёх цветов спектра.

7) Вычислить среднее значение длины световой волны.

8) Результаты измерений и вычислений внести в таблицу:

Таблица 3 - Результаты опытных замеров и расчетов длины световой волны

Цвет	АО	ОД	$\sin \varphi$	λ	λ_{cp}
Фиолетовый					
Голубой					
Зелёный					
Жёлтый					
Красный					

15 Контрольные вопросы к лабораторной работе № 5

1 Какие световые явления подтверждают волновую природу света?

2 Что называется интерференцией волн?

3 Как распространяется свет в однородной среде?

4 Какие два световых луча называют когерентными?

- 5 Каким методом получают когерентные световые волны?
- 6 При какой разности хода когерентных световых волн в результате интерференции возникает максимум света? Минимум света?
- 7 Где вы наблюдали явление интерференции световых волн?
- 8 Какое условие должно быть обеспечено, чтобы можно было получить дифракцию света?
- 9 Где вы наблюдали дифракцию света? Приведите пример дифракции света.
- 10 В каких пределах находится длина волн видимого света?
- 11 Какова природа света?
- 12 От чего зависит цветность света?
- 13 Изменяются ли свойства света с изменением длины волны?
- 14 Где происходят электрические колебания, в результате которых возникает свет?

16 Теоретическая часть к лабораторной работе № 6

16.1 Понятие о дисперсии света

Возьмем трехгранную стеклянную призму и поместим ее между источником света, имеющим вид щели, и экраном.



Рисунок 53 - Красный и синий световые лучи, проходящие через призму

Если через щель сначала направить на призму красный свет (рисунок 53 а), а затем синий (рисунок 53 б), то будет видно, что синий цвет, проходя через призму, отклоняется от первоначального направления сильнее, чем красный. Это означает, что абсолютный показатель преломления стекла для красных лучей n_k меньше, чем для синих лучей n_c . Поскольку $n_c = c/v_c$ и $n_k = c/v_k$, то имеем $c/v_c > c/v_k$, т.е. $v_k > v_c$.

Итак, красные лучи распространяются в стекле быстрее, чем синие. Скорость распространения световых лучей в стекле тем меньше, чем больше частота колебаний в них, или чем меньше их длина волны.

Зависимость скорости распространения волн в среде от их длины (частоты) называют дисперсией. На практике дисперсию вещества выражают в виде зависимости показателя преломления от частоты или длины волны для этого вещества. Оказывается, что в подавляющем большинстве случаев с увеличением длины волны показатель преломления уменьшается. Дисперсию такого рода называют нормальной.

16.2 Разложение белого света призмой. Сплошной спектр

С помощью стеклянной трехгранной призмы в 1666г. И.Ньютон впервые установил, что белый свет имеет сплошной спектр. Спектр белого света замечателен тем, что в нем монохроматические лучи непрерывно следует друг за другом. Поэтому такой спектр называют сплошным или непрерывным.

Ньютон условно разделил сплошной спектр белого света на семь участков различных цветов: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый, которые после призмы располагаются в порядке убывания длин волн. Вспомним, что спектр белого света можно получить еще и с помощью дифракционной решетки. Последний спектр называют дифракционным или нормальным.

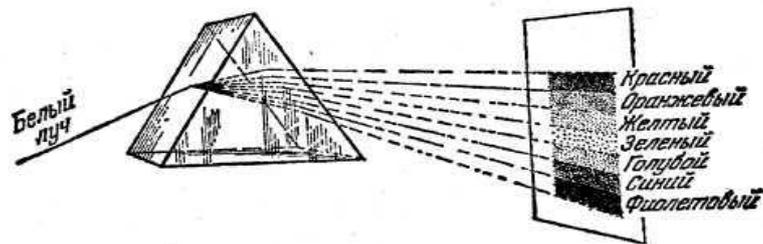


Рисунок 54- Белый свет, падающий на трехгранную призму

На кривой дисперсии для стекла (рисунок 55) видно, что показатель преломления стекла в области коротких волн при изменении длины волны излучения изменяется быстро, а в области длинных волн – медленно. Поэтому дисперсионный (призматический) спектр белого света сжат в красной части и растянут в фиолетовой. Нормальный спектр белого света отличается от призматического тем, что, во-первых, в нем цвета располагаются в порядке возрастания длин волн и, во-вторых, он равномерно растянут во всех своих областях.

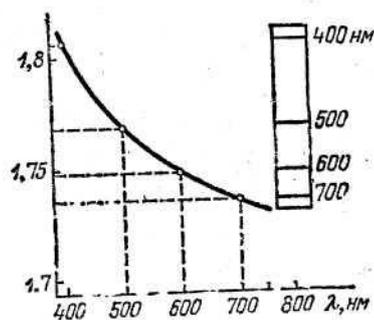


Рисунок 55 - График зависимости показателя преломления от длины волны

Дисперсией света объясняется появление радуги. Радуга бывает, видна, когда наблюдатель смотрит по направлению от солнца и в воздухе есть водяные капли. При определенном угле падения происходит полное отражение внутри капли. На границе воздуха – вода происходит преломление лучей, и, поскольку фиолетовые

лучи преломляются сильнее красных, после выхода из капли они расходятся: красные лучи составляют с падающим лучом угол около 43° , а фиолетовые – около 41° .

Солнечные лучи можно считать параллельными. Поэтому получается, что от множества капель, находящихся на поверхности конуса с углом при вершине $\alpha_k=43^{\circ}$, в глаз наблюдателя попадают красные лучи, а от капель с поверхности конуса с углом при вершине $\alpha_{\phi}=41^{\circ}$ – фиолетовые лучи. Остальные цвета радуги располагаются между ними.

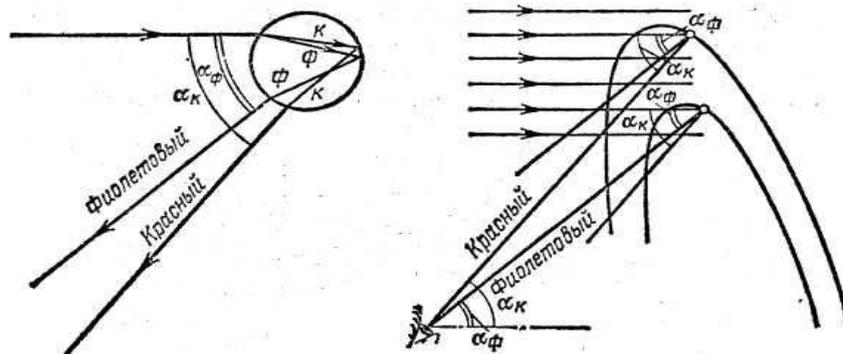


Рисунок 56 - Дисперсия солнечного света в капельках воды

16.3 Сложение спектральных цветов. Дополнительные цвета

Если цветные лучи, из которых состоит спектр белого света, объединить в один луч, то получается снова белый свет.



Рисунок 57 - Круг Ньютона

Такого рода смешение цветных лучей можно осуществить с помощью круга Ньютона, сектора которого покрашены в семь цветов радуги. Когда при вращении диска человек смотрит на него, то в его глаза поочередно попадают лучи всех семи цветов, которые отражаются от окрашенных секторов диска. Так как глаза удерживают зрительное ощущение около 0,1 с, то при быстром вращении диска он кажется человеку серым. Это отличие от белого цвета объясняется отсутствием промежуточных цветов и несовершенством красок.

Цвета, соответствующие монохроматическому излучению, иногда называют спектральными. Смешение двух монохроматических лучей обычно дает окрашенный свет. Например, смесь красного и зеленого света дает желтый свет, а зеленого и фиолетового – синий. Это означает, что каждому монохроматическому лучу соответствует определенный цвет, но не обязательно каждому цвету соответствует монохроматический луч.

Опыт показывает, что, смешивая в различной пропорции излучения трех основных цветов (красного, зеленого и фиолетового), можно получить любую окраску лучей. Интересно отметить, что смешение лучей двух цветов в некоторых случаях дает белый свет. Такие цвета называют дополнительными. Примером дополнительных цветов являются желтые и синие лучи. Ясно, что при смешивании излучения

двух цветов, в состав которых вместе входят все цвета радуги, будет получаться белый свет. Следовательно, такие цвета всегда являются дополнительными.

16.4 Цвета тел

Цвет тела, являющегося самостоятельным источником света, определяется его составом, строением, внешними условиями и процессами, протекающими в этом теле.

Поскольку цвет такого тела связан с составом распространяющегося от него излучения, то, изучив особенности его спектра, можно получить много важных сведений о нем. Цвет вторичных источников света зависит еще и от состава падающего на них излучения.

Вспомним, что цвет прозрачного тела определяется составом того света, который проходит сквозь это тело. Освещая белым светом различные прозрачные тела, можно заметить, что в проходящем свете одни из них остаются бесцветными, а другие имеют окраску. Если с помощью призмы получить спектр того излучения, которое проходит сквозь тело, то будет видно, что в спектре бесцветного тела имеются лучи всех цветов радуги, а спектры окрашенных тел состоят из более или менее широких окрашенных полос нескольких цветов, а иногда и из узкой полосы почти одного цвета. Последнее получается у некоторых светофильтров – цветных стекол, пропускающих лучи одного цвета. Это означает, что многие прозрачные тела неодинаково поглощают излучения различных цветов. Например, красный светофильтр сильно поглощает излучение всех цветов, кроме красного, а желтый – поглощает только красные и фиолетовые лучи.

Каждое вещество имеет свой спектр поглощения. Если прозрачное вещество равномерно поглощает лучи всех цветов, то в проходящем свете при освещении белым светом оно бесцветно, а при цветном освещении оно имеет цвет 3 лучей, которым оно освещено. При очень сильном поглощении лучей всех цветов тело кажется нам черным. Когда тело обладает избирательным поглощением, то при освещении

лучами одного из тех цветов, которое оно пропускает, тело окрашено в тот же цвет. Если же это тело освещают такими лучами, которые он поглощает, то оно становится черным, т.е. непрозрачным.

Цвет непрозрачного тела в отраженном свете определяется смесью лучей тех цветов, которое оно отражает. Если тело равномерно отражает лучи всех цветов радуги, то при освещении белым светом оно кажется падающих на него лучей.

Многие непрозрачные тела преимущественно поглощают определенную часть видимого излучения. Поэтому при освещении белым светом оно кажутся окрашенными. Если эти тела освещать теми лучами, которые оно поглощают, то в отраженном свете они кажутся черными. Часто цвет телу придает окраска его поверхности. Смешение красок создает цвет, отличный от цвета, получающегося при смешении лучей тех же цветов. Напомним, что смешение желтого и синего лучей дает белый свет, а смешение желтой и синей краски окрашивает поверхность в зеленый цвет. Объясняется это тем, что желтая краска отражает только желтые и зеленые лучи, а синяя краска отражает синие и зеленые лучи. Таким образом, обе эти краски вместе отразят только зеленые лучи.

Оказывается, что с помощью смешивания трех красок (желтой, синей и пурпурной) можно окрасить поверхность в любой цвет. Поэтому для цветной печати основными являются желтая, синяя и пурпурная краски.

Из изложенного выше следует, что цвет прозрачного тела в проходящем и в отраженном свете может быть различным. Поскольку окраска тел сильно зависит от состава падающего на них излучения, приобретать окрашенные вещи, например ткани, надо при дневном свете.

16.5 Ультрафиолетовая и инфракрасная части спектра

Яркость спектра можно увеличить с помощью линз. На рисунке 56 левая линза собирает лучи от источника света, спектр которого исследуют, а правая линза собирает все лучи одного цвета в определенную точку экрана.

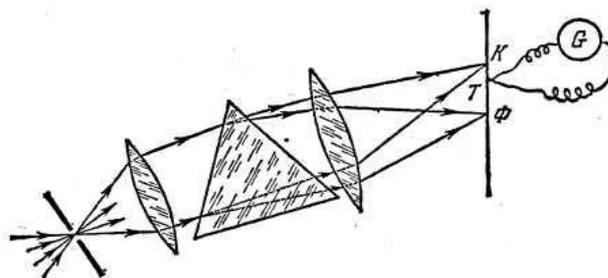


Рисунок 58 - Исследования спектра белого света с помощью термопары

Чтобы установить, какие лучи приносят на экран больше энергии, а какие меньше, пользуются термопарой Т со спаем, покрытым сажой. Спай поглощает падающее на него излучение и нагревается. Возникающую при этом э.д.с. измеряют гальванометром. Чем больше энергии приносит излучение, тем большая э.д.с. возникает в термопаре.

Исследования спектра белого света показали, что за красной частью спектра спай термопары нагревается. Стекло довольно сильно поглощает крайние красные лучи, поэтому при исследовании длинноволновой части спектра применяют линзы и призмы из каменной соли, прозрачной для красных лучей. В этом случае спай термопары сильно нагревается, даже когда он находится далеко за красной частью видимого спектра, там, где глаз ничего не видит. Это означает, что в спектре белого света за красными лучами находятся невидимые лучи, длина волны которых больше, чем у красных лучей.

Невидимые лучи, которые в спектре располагаются за красными лучами, называют инфракрасными. Они обладают ярко выраженным тепловым действием, поэтому их часто называют еще тепловыми.

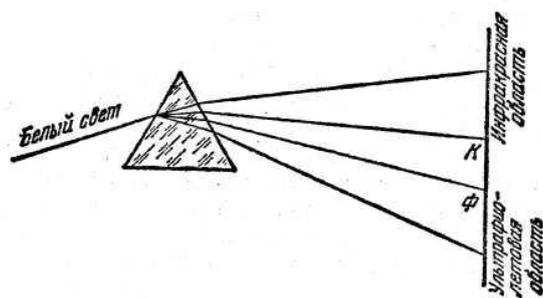


Рисунок 59 - Инфракрасная и ультрафиолетовая части спектра

Опыты показали, что стекло сильно поглощает и коротковолновую часть спектра. Поэтому при ее исследовании стали применять кварцевые линзы и призмы, прозрачные для такого излучения. При этом было выяснено, что короткие волны обладают ярко выраженным химическим действием, например, вызывают почернение светочувствительной бумаги. Оказалось, что эта бумага чернеет и тогда, когда она расположена за крайними фиолетовыми лучами спектра, там где глаз ничего не видит. Невидимые лучи, расположенные за крайней фиолетовой частью спектра, называют ультрафиолетовыми. Они преломляются сильнее фиолетовых лучей, имеют более короткую длину волны и обладают ярко выраженным химическим действием. Ультрафиолетовые лучи имеют длины волн от 0,4 до 0,005 мкм.

16.6 Роль ультрафиолетовых и инфракрасных лучей в природе. Их применение в технике

Инфракрасные лучи испускают все тела в природе, так как их возникновение обусловлено хаотическим движением молекул и атомов в любом веществе. При повышении температуры энергия инфракрасного излучения тела быстро возрастает.

Когда какие-либо тела находятся недалеко друг от друга, то каждое из них создает свое излучение и одновременно поглощает излучение других тел. То тело, у

которого самая высокая температура, получает меньше энергии, чем уносит его излучение, поэтому температура такого тела понижается. Наоборот, тело с наименьшей температурой, поглощая излучение, получает больше энергии, чем уносит его собственное излучение, поэтому оно нагревается. Таким образом, между всеми телами в природе происходит обмен энергией, способствующий выравниванию их температур.

С помощью излучения Земля получает энергию от Солнца. Опыт показал, что излучение Солнца содержит много инфракрасных и ультрафиолетовых лучей. За счет энергии солнечного излучения между различными точками земной поверхности создаются разности температур.

Инфракрасное излучение Земли уносит энергию в мировое пространство, что способствует охлаждению поверхности Земли. Именно поэтому в пустынях, где атмосфера прозрачна, ночью становится холодно, хотя днем бывает очень жарко. Если есть облака, инфракрасное излучение с поверхности Земли отражается от них и потери энергии в мировое пространство уменьшаются. Поэтому зимой при густой облачности на поверхности Земли становится теплее.

Ультрафиолетовые лучи, которые имеются в солнечном излучении, довольно сильно поглощаются атмосферой, и у поверхности Земли их сравнительно немного. Высоко в горах ультрафиолетовых лучей в солнечном излучении значительно больше. Ультрафиолетовые лучи убивают бактерии, т. е. являются хорошим дезинфектором. В небольших дозах они приносят пользу человеку, вызывают загар.

В технике инфракрасные лучи используют для сушки материалов, например пищевых продуктов, для сигнализации при плохой видимости, для фотографирования в темноте и т.д. В военном деле эти лучи используют для наведения на цель снарядов и ракет, для обнаружения замаскированного противника и т. д. В науке инфракрасные лучи позволяют определить различие температур отдельных участков поверхности планет, например Марса, особенности строения молекул вещества и пр.

Ультрафиолетовые лучи используются в фотографии, для обнаружения скрытых надписей или стертых текстов, так как многие вещества при поглощении ультрафиолетовых лучей начинают испускать видимый свет. Это же явление используется в лампах дневного света и во многих других случаях. Ультрафиолетовые лучи используются для изучения строения наружных электронных оболочек атомов. В медицине их применяют при лечении некоторых заболеваний.

16.7 Приборы для получения и исследования спектров

Для наблюдения спектров пользуются спектроскопом. Наиболее распространенный призматический спектроскоп состоит из двух труб, между которыми помещают трехгранную призму. В трубе А, называемой коллиматором, имеется узкая щель, ширину которой можно регулировать поворотом винта. Перед щелью помещается источник света, спектр которого необходимо исследовать. Щель располагается в фокальной плоскости линзы коллиматора; и поэтому световые лучи из коллиматора выходят в виде параллельного пучка. Прейдя через призму, световые лучи направляются в трубу В, через которую наблюдают спектр.

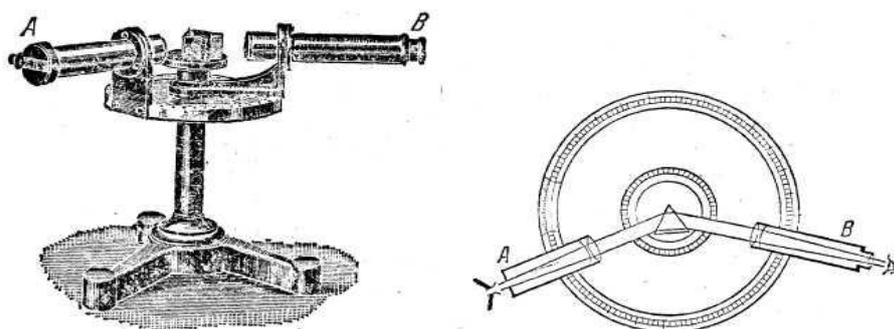


Рисунок 60 - Внешний вид и схема спектроскопа

Если спектроскоп предназначен для измерений, то на изображение спектра с помощью специального устройства накладывается изображение шкалы с делениями, что позволяет точно установить положение цветных линий в спектре.

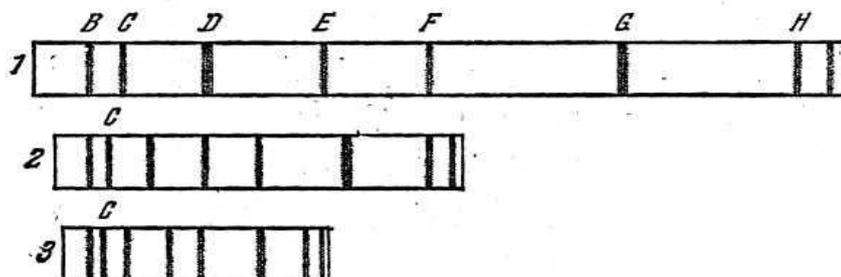


Рисунок 61 - Спектры, полученные в спектроскопе

Материалом для призмы должно служить вещество с большой дисперсией, т. е. вещество, дающее широкий спектр. На рисунке 61 показаны спектры, полученные с помощью воды (3), обыкновенного стекла (легкий крон) (2) и стекла, содержащего свинец (тяжелый флинт) (1). Из рисунка видно, что для получения видимого спектра наиболее подходящий материал—тяжелый флинт.

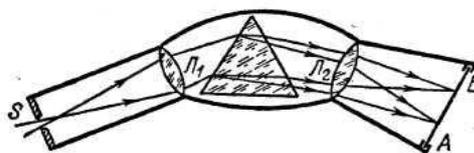


Рисунок 62 - Схема спектрографа

При исследовании спектра часто бывает целесообразнее сфотографировать его, а затем изучать с помощью микроскопа. Прибор для фотографирования спектров называется спектрографом. Схема спектрографа показана на рисунке 62.

Спектр излучения с помощью линзы L_2 фокусируется на матовое стекло АВ, которое при фотографировании заменяют фотопластинкой.

16.8 Виды спектров

Спектры, полученные от самосветящихся тел, называются спектрами испускания. Непосредственные наблюдения и фотографии спектров показывают, что спектры испускания бывают трех типов: сплошные, линейчатые и полосатые.

Сплошные спектры - получаются от светящихся твердых и жидких тел в результате их нагревания.

Линейчатые спектры - состоят из узких линий различных цветов, разделенных темными промежутками. Такие спектры часто получаются от светящихся газов или паров. Свечение газа можно вызвать, пропуская через него, электрический ток. Помещая стеклянную трубку с исследуемым газом перед щелью спектроскопа и пропуская через газ электрический ток, исследуют спектр испускания газа.

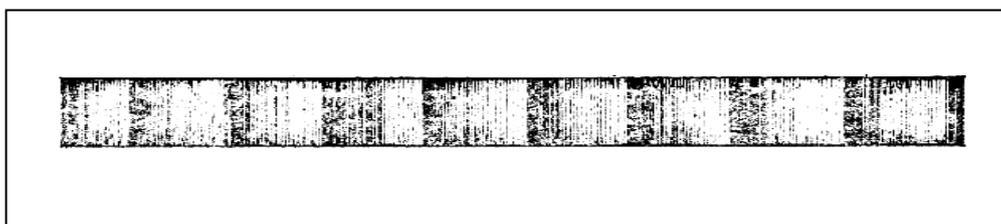


Рисунок 63 - Полосатый спектр

Линейчатые спектры паров и газов можно получить и при их нагревании, например, в пламени горелки. Таким же путем можно получить линейчатые спектры веществ, которые в обычных условиях находятся в твердом или жидком состоянии. Для этого крупинки твердых веществ или смоченный жидкостью асбест вводят в пламя газовой горелки. Испаряющиеся в пламени горелки вещества дают линейча-

тый спектр. Иногда такие вещества помещают в электрическую дугу и, закрывая раскаленные угольные электроды диафрагмой, наблюдают в спектроскопе яркие линии на фоне более слабого сплошного спектра самой дуги. Заметим, что светящиеся спектральные линии часто называют эмиссионными линиями.

Изучение линейчатых спектров различных веществ показало, что каждый химический элемент дает свой линейчатый спектр, не совпадающий со спектрами других элементов. Линейчатые спектры химических элементов отличаются цветом, положением и числом отдельных светящихся линий. Характерные для каждого химического элемента линии получаются не только в видимой, но также в инфракрасной и в ультрафиолетовой частях спектра. Исследование линейчатых спектров впервые было выполнено в 1854—1859 гг. немецкими учеными Г. Кирхгофом и Р. Бунзеном.

Линейчатые спектры создаются излучением отдельных атомов химических элементов, не связанных в молекулы. Это излучение связано с процессами, происходящими внутри атомов. Исследование линейчатых спектров позволило установить строение электронных оболочек атомов различных химических элементов.

Полосатые спектры состоят из ряда светлых полос, разделенных темными промежутками. Полосатые спектры создаются излучением молекул (рисунок 63). При рассмотрении в спектроскоп с большой разрешающей способностью полосы разделяются на ряд линий.

16.9 Спектры поглощения газов. Опыты Кирхгофа

Выше говорилось, что прозрачные вещества поглощают часть падающего на них излучения и в спектре, полученном после прохождения белого света через такие вещества, часть цветов исчезает, т. е. появляются темные линии или полосы поглощения. Такой спектр называется спектром поглощения.

Большой интерес представляет изучение спектров поглощения одноатомных газов, имеющих линейчатые спектры испускания. Какие лучи будет поглощать такой газ, если через него пропускать белый свет?

Впервые исследования такого рода в 1854 г. выполнил Г. Кирхгоф. Он вводил в пламя газовой горелки источник паров натрия (металлический натрий в маленьком тигле) или асбест, смоченный раствором поваренной соли. Пламя горелки при этом приобретало характерную желтую окраску, соответствующую излучению паров натрия, а в спектре этого излучения были видны две близко расположенные светлые желтые линии (рисунок 64 а). Затем перед горелкой, помещали дуговую лампу таким образом, чтобы свет от дуги мог попасть в щель спектроскопа, только пройдя сквозь пламя горелки. В спектре белого света от электрической дуги при этом получались две темные линии (рисунок 64 б) как раз в том месте, где находились желтые линии спектра испускания паров натрия.

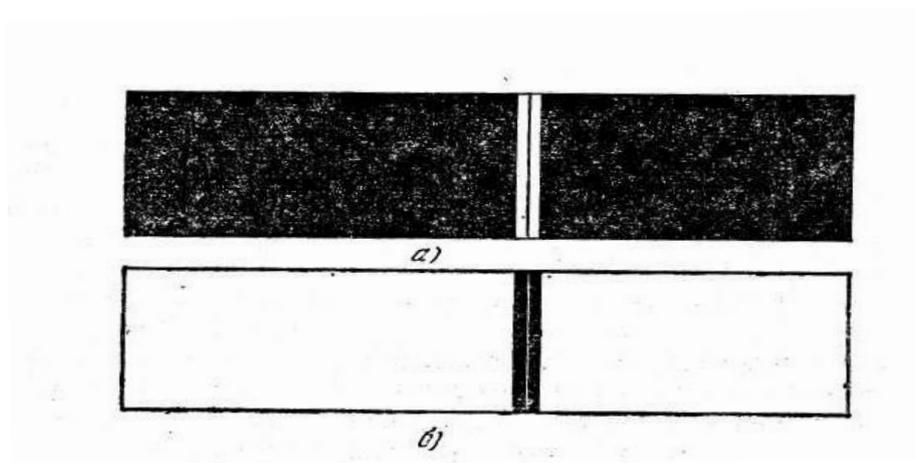


Рисунок 64 - Все возможные случаи построения изображений

Возникновение этих линий объясняется тем, что атомы натрия из всех проходящих лучей поглощают те, которые сами способны излучать. Поглощая желтые лучи из света дуги, пары натрия продолжают, конечно, сами испускать желтый свет. Однако температура дуги значительно выше, чем температура пламени горелки, и дуга дает более яркий спектр, на фоне которого желтые линии паров натрия кажутся темными. Таким образом, желтый свет по-прежнему есть в таком спектре: если погасить электрическую дугу, на экране будет ясно виден спектр паров натрия в том месте, где были видны темные линии.

Такое явление обращения спектральных линий наблюдается в спектрах испускания и поглощения газов и паров многих других элементов и выражается законом Кирхгофа: всякое вещество поглощает преимущественно те лучи, которые само может испускать.

16.10 Спектральный анализ

Каждый химический элемент имеет свой характерный спектр излучения, поэтому по линейчатому спектру паров какого-либо вещества можно установить, какие химические элементы входят в его состав. Такой метод определения химического состава вещества называется качественным спектральным анализом.

Спектральный анализ широко используется в науке и технике. Это один из самых быстрых и простых способов определения состава различных химических соединений. Он обладает крайне высокой, чувствительностью и позволяет обнаружить присутствие очень малых количеств химических элементов, причем само количество исследуемого вещества, необходимое для проведения спектрального анализа, также очень невелико (часто достаточно 10^{-8} - 10^{-9} г).

Спектральный анализ позволяет определить состав паров и газов, находящихся на произвольно большом расстоянии, лишь бы лучи от них попадали в спектральный прибор. Поэтому этот метод широко используют в астрономии для определения химического состава Солнца и звезд, их температуры, движения в пространстве и т.д.

Первым замечательным достижением спектрального анализа было открытие новых химических элементов. Основатели спектрального анализа Р. Бунзен и Г. Кирхгоф открыли с помощью его новые щелочные металлы - рубидий и цезий. В дальнейшем были открыты и некоторые другие элементы, например индий и таллий. Особенно интересна история открытия гелия. Первоначально гелий был обнаружен при анализе спектра солнечного протуберанца в 1868 г., откуда и произошло название этого элемента (от греч. «гелиос» - Солнце). Линии гелия были обнаруже-

ны в 1881г. в спектре газов Везувия, затем в некоторых минералах и в очень малых количествах - в земной атмосфере. Только в 1905 г. удалось получить небольшое количество гелия.

В соответствии с законом Кирхгофа спектральный анализ газов - и паров можно проводить и по спектрам поглощения. Так, в результате исследования положения фраунгоферовых линий в спектре Солнца было установлено, что Солнце состоит из тех же элементов, что и Земля.

При проведении спектрального анализа пользуются специальными таблицами или атласами спектральных линий, в которых приводится точное расположение линий спектра каждого химического элемента или соответствующие им длины волн. В некоторых случаях спектральный анализ проводится путем сравнения спектров исследуемого материала и эталонного спектра образца с известным содержанием химических элементов.

В настоящее время разработаны методы количественного спектрального анализа, позволяющие по интенсивности свечения спектральных линий химического элемента определить его процентное содержание в исследуемом образце.

Основные достоинства спектрального анализа - очень высокая чувствительность, простота и быстрота проведения анализа - делают его весьма удобным для использования в металлургии и в машиностроении, химии и геологии, медицине и биологии и многих других областях науки и техники.

16.11 Рентгеновские лучи и их практическое применение

В 1895 г. немецкий физик В. Рентген обнаружил, что из трубки, которой создаются катодные лучи, испускаются еще и неизвестные лучи, проникающие через стекло, воздух, а также многие тела, "прозрачные для обычного света. Эти лучи в дальнейшем были названы рентгеновскими.

Сами рентгеновские лучи невидимы, но вызывают свечение многих веществ и сильно действуют на фоточувствительные материалы. Поэтому для их исследования

применяют специальные экраны, светящиеся под действием рентгеновских лучей. Благодаря этому свойству они и были обнаружены Рентгеном.

Рентгеновские лучи получаются при торможении быстро летящих электронов. Вокруг летящих электронов существует магнитное поле, поскольку движение электрона представляет собой электрический ток. При резком торможении электрона в момент удара о препятствие магнитное поле электрона быстро изменяется и в пространство излучается электромагнитная волна, длина которой тем меньше, чем больше скорость электрона до удара о препятствие. Рентгеновские лучи получают с помощью специальных двухэлектродных ламп, на которые подается высокое напряжение, порядка 50 - 200 кВ (рисунок 65). Электроны, испускаемые накалившимся катодом рентгеновской трубки, ускоряются сильным электрическим полем в пространстве между анодом и катодом и с большой скоростью ударяются об анод. При этом с поверхности анода испускаются рентгеновские лучи, выходящие сквозь стекло трубки наружу. Тормозное излучение рентгеновской трубки имеет сплошной спектр.

Рентгеновские трубки с накалившимся катодом сами являются выпрямителями, и их можно питать переменным током.

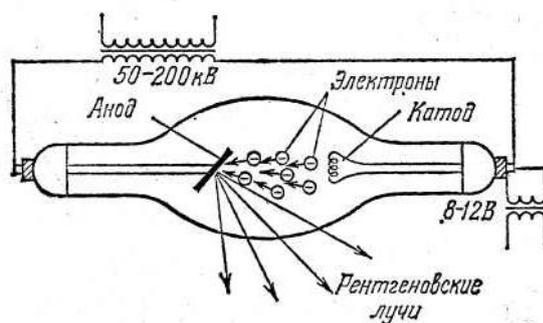


Рисунок 65 - Схема установки для получения рентгеновских лучей

Если электроны в ускоряющем поле приобретают достаточно высокую скорость, чтобы проникнуть внутрь атома анода и выбить один из электронов его внут-

ренного слоя, то на его место переходит в электрон из более удаленного слоя с излучением кванта большой энергии. Такое рентгеновское излучение имеет строго определенные длины волн характерные только для данного химического элемента, поэтому это называется характеристическим.

Характеристическое излучение имеет линейчатый спектр, накладывающийся на сплошной спектр тормозного излучения. При увеличении порядкового номера элемента в таблице Менделеева рентгеновский спектр излучения его атомов сдвигается в сторону коротких длин волн. Легкие элементы (например, алюминий) вообще не дают характеристического рентгеновского излучения.

Рентгеновские лучи принято различать по их жесткости: чем короче длина волны рентгеновских лучей, тем они считаются более жесткими. Наиболее жесткие рентгеновские лучи испускаются тяжелыми атомами.

Важной особенностью рентгеновских лучей является их высокая проникающая способность по отношению ко многим веществам, непрозрачным для видимого света. Чем жестче рентгеновские лучи, тем слабее они поглощаются и тем выше их проникающая способность. Поглощение рентгеновских лучей в веществе зависит еще от его атомного состава: сильно поглощают рентгеновские лучи атомы тяжелых элементов, в состав каких бы химических веществ они ни входили.

Как и любые электромагнитные волны, рентгеновские лучи не отклоняются в электрическом и магнитном полях. Показатель преломления рентгеновских лучей очень мало отличается от единицы, и они почти не испытывают преломления при переходе из одной среды в другую. Это свойство рентгеновских лучей в сочетании с их высокой проникающей способностью используется в ряде практических применений.

Если поместить между источником рентгеновских лучей и экраном, светящимся под их действием, какое-либо тело, то на экране появится его темное изображение. Если внутри однородного тела имеется полость, то на экране соответствующее место будет более светлым. Это явление используется для выявления внутренних дефектов изделий (дефектоскопия). При просвечивании неоднородного

по молекулярному составу тела различные его части будут неодинаково поглощать рентгеновские лучи, и на экране мы увидим очертания этих частей. Так, просвечивая руку, мы ясно видим на светящемся экране темное изображение костей, (рисунок 66).

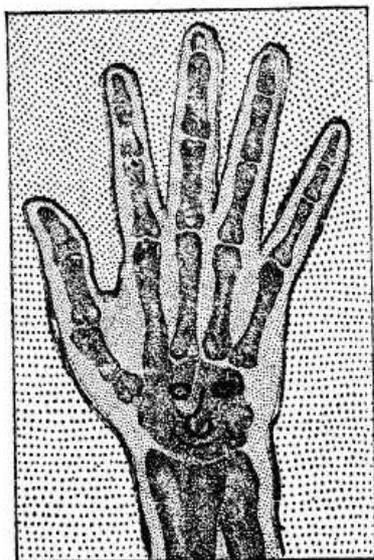


Рисунок 66 - Рентгеновский снимок кисти руки

Часто оказывается удобнее вместо того, чтобы использовать светящийся экран, делать рентгеновские снимки. Для этого исследуемое тело помещается между рентгеновской трубкой и закрытой кассетой с фотопленкой, и через него в течение короткого промежутка времени пропускаются рентгеновские лучи. После съемки фотопленка проявляется обычным способом. Рентгеновские лучи широко применяются в медицине: в диагностике различных заболеваний (туберкулез и др.), при определении характера перелома костей, для обнаружения в теле инородных предметов (например, застрявшей пули) и т. д. Рентгеновские лучи вредно действуют на развитие, клеток. Это используется в лечении злокачественных опухолей. Опыты показали, что узкий пучок рентгеновских лучей, пройдя через кристалл, дает на экран сложную дифракционную картину в виде группы пятен.

Изучение дифракционной картины, полученной при использовании кристалла каменной соли, позволило определить длину волны рентгеновских лучей, так как

расстояние между узлами этой кристаллической решетки было известно. Оказалось, что длина волны рентгеновских лучей, использованных в этом опыте, составляет несколько десятых долей нанометра. Дальнейшие исследования показали, что рентгеновские лучи имеют длину волны от 10 до 0,01 нм.

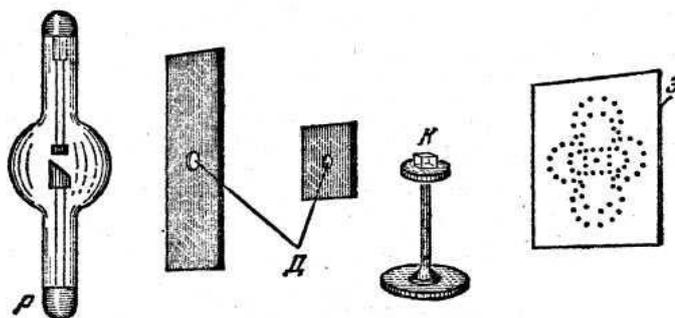


Рисунок 67 - Рентгеновские лучи пропускаются через исследуемый кристалл

Таким образом, даже мягкие рентгеновские лучи имеют длины волн, в десятки и сотни раз более короткие, чем у видимого света. Отсюда ясно, почему нельзя было использовать дифракционные решетки: длины волн рентгеновских лучей слишком малы для них, и дифракция не возникает. Расстояние же между узлами решетки в естественных кристаллах соизмеримо с длинами волн рентгеновских лучей, т. е. кристаллы, могут служить для них «готовыми» дифракционными решетками.

Опыты Лауэ показали, что рентгеновские лучи представляют собой электромагнитные волны. Дифракция рентгеновских лучей используется для определения их длин волн и, наоборот, пропуская рентгеновские лучи известной длины волны через исследуемый кристалл, по дифракционной картине можно установить взаимное расположение атомов и расстояние между ними в кристаллической решетке.

16.12 Шкала электромагнитных волн

Д. Максвелл разработал теорию электромагнитных явлений и показал, что в природе должны существовали электромагнитные волны, а Г. Герц получил и исследовал их экспериментально.

Работы Герца, Попова, Лебедева и других ученых подтвердили теорию Максвелла и показали, что с помощью колебательного контура можно получать электромагнитное излучение с длиной волны от нескольких километров до 6 мм. Из теории Максвелла следовало, что световое излучение представляет собой очень короткие электромагнитные волны, создаваемые естественными вибраторами - атомами и молекулами.

Таким образом, к концу прошлого столетия было известно электромагнитное излучение с длинами волн от нескольких километров до 6 мм и от 0,3 мм (инфракрасное излучение) до 0,01 мкм (ультрафиолетовое излучение). Затем были открыты рентгеновские лучи, оказавшиеся (что было установлено позднее) очень короткими электромагнитными волнами.

Изучение радиоактивных явлений позволило обнаружить электромагнитное излучение, длины волн которого еще короче, чем рентгеновских лучей. Это излучение было названо гамма - излучением.

Позднее были экспериментально получены электромагнитные волны, заполнившие имевшиеся вначале пробелы в спектре электромагнитных волн.

Шкала известных электромагнитных волн изображена на рис. Распределение электромагнитных волн по типам сделано в соответствии со способами их возбуждения. Те участки шкалы, где диапазоны волн разных типов перекрывают друг друга, показывают, что волны таких длин можно получить двумя способами. Так, например, волны длиной ~ 1 мм можно получить с помощью искусственного вибратора и при тепловом излучении. Разумеется, физические свойства этих волн совершенно одинаковы, так как они определяются длиной волны, а не методом их возбуждения.

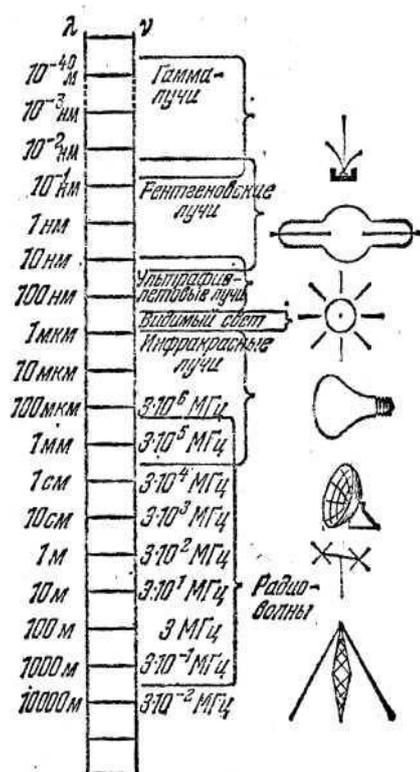


Рисунок 68 - Шкала электромагнитных волн

Из рисунка 68 видно, что диапазон видимого света составляет очень малую часть спектра электромагнитных волн.

Исследования электромагнитного излучения имеют огромное значение для уточнения наших представлений о строении вещества. Так, исследования инфракрасного, видимого и ультрафиолетового излучения помогли выяснить строение молекул и внешних электронных оболочек атомов; изучение рентгеновского излучения позволило установить строение внутренних электронных оболочек атомов и структуру кристаллов, а изучение гамма-лучей дает много ценных сведений о строении атомных ядер.

17 Практическая часть к лабораторной работе № 6

Цель работы: Изучение с помощью спектроскопов спектров излучения и поглощения газов и паров некоторых веществ.

Оборудование: Спектроскоп 2-х трубный, светофильтр, источники дневного света, набор спектральных трубок.

Порядок выполнения работы:

- 1) Пронаблюдать и описать спектр дневного света.
- 2) Пронаблюдать и описать спектр поглощения светофильтра.
- 3) Пронаблюдать и описать спектр лампы дневного света.
- 4) Пронаблюдать и описать линейчатые спектры газов.
- 5) Сделать вывод.

18 Контрольные вопросы к лабораторной работе № 6

- 1 Какой свет называется монохроматическим светом?
- 2 Можно ли монохроматический луч света разложить на составляющие?
- 3 Почему белый свет можно разложить на цветные лучи?
- 4 Какие лучи света имеют меньшую скорость распространения в стеклах: красные или фиолетовые?
- 5 Как изменяются показатели преломления данного вещества для лучей света, начиная с красных и кончая фиолетовыми?
- 6 Что является причиной дисперсии света?
- 7 Дайте объяснение причине возникновения радуги.
- 8 Какое тело называют черным телом? Белым телом?
- 9 Какие лучи отражает красное тело, освещаемое белым светом?
- 10 Какие лучи поглощает зеленое стекло?
- 11 Почему зеленую бумагу, освещаемую белым светом, видят зеленой?
- 12 Почему белую бумагу, освещаемую зеленым светом, видят зеленой?
- 13 Какой спектр называют спектром испускания? Поглощения?
- 14 Какими бывают спектры испускания? Каковы причины их возникновения?
- 15 Какой спектр дает раскаленные газы?

- 16 Каким является спектр Солнца?
- 17 Какие лучи поглощает данное тело?
- 18 Каковы свойства инфракрасных лучей?
- 19 Каковы свойства ультрафиолетовых лучей?
- 20 Где применяются ультрафиолетовые лучи?
- 21 Где применяются инфракрасные лучи?
- 22 Какова природа рентгеновских лучей?
- 23 Какими свойствами обладают рентгеновские лучи?
- 24 Где и как возникают рентгеновские лучи?
- 25 Где применяются рентгеновские лучи?
- 26 Обладает ли свет энергией?
- 27 Перечислите названия участков общего спектра электромагнитных волн.

Список использованных источников

- 1 Дмитриева, В.Ф. Физика: учебник для студ. образоват. учреждений сред. проф. образования /В.Ф.Дмитриева. -М.: Издательский центр «Академия», 2004.-464с.
- 2 Волков, В.А. Поурочные разработки по физике / В.А.Волков. -М.: ВАКО, 2006.-454с.
- 3 Касьянов, В.А. Физика. Профильный уровень: учебник для общеобразовательных учреждений /В.А.Касьянов. 8-е изд. – М.: Дрофа, 2005.-431с.
- 4 Перельман, Я.И. Знаете ли вы физику? /Я.И.Перельман. - М.: АСТ: Астрель: ХРАНИТЕЛЬ, 2007. -381с.
- 5 Перельман, Я.И. Физика на каждом шагу /Я. И. Перельман. -М.: АСТ: Астрель: Полиграфиздат, 2010. -250с.
- 6 Павленко, Ю.Г. Физика. Избранные задачи /Ю.Г. Павленко. - М.: Экзамен, 2008.- 542 с.
- 7 Кабардин, О.Ф. Тесты по физике. В помощь преподавателю /О.Ф.Кабардин. – М.: ООО Оникс: ООО Мир и образование, 2008. – 224с.
- 8 Семке, А.И. Нестандартные задачи по физике /А.И. Семке. -Ярославль: Академия развития, 2007. -320 с.
- 9 Балаева, С.А. Физика в вопросах и ответах: учеб. пособие. /С.А. Балаева, А.Н.Угова. -М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2003. -176с.
- 10 Козел, С.М. Открытая физика. Полный интерактивный курс физики [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф., зв. дан. и прикладная прогр. (550 Мб). – М. : ООО «ФИЗИКОН», 2006. – 2 электрон. опт. диска (CD-ROM) - (ЗАО "Новый диск").
- 11 Физическая энциклопедия [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф., зв. дан. и прикладная прогр. (550 Мб). – М. : Большая Рос. энцикл., 2003. – 2 электрон. опт. диска (CD-ROM) - (РМГ Мультимедиа).