

Казанский государственный
энергетический университет

Утверждено
учебным управлением КГЭУ

ФИЗИКА

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ С КОМПЬЮТЕРНЫМИ МОДЕЛЯМИ

(Оптика)

для студентов всех специальностей
всех форм обучения

УДК 535
ББК 22.343

Физика: Лабораторные работы с компьютерными моделями (Оптика) / Сост. Ю.А. Сахратов. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2006.

В настоящем пособии даны описания компьютерных лабораторных работ по физике, раздел “Оптика”. Используемые компьютерные модели являются наглядным представлением численных экспериментов, дополняют реальные физические эксперименты и помогают студентам более глубоко усвоить суть физических процессов.

При составлении пособия использовались оригинальные пособия “Лабораторные работы по курсу физики с компьютерными моделями” проф. Московского государственного технического университета гражданской авиации (МГТУГА) Ю.В. Тихомирова и “Приложение №1 к Виртуальному практикуму по физике для ВУЗов” доцента кафедры общей физики Чувашского государственного университета (ЧувГУ) Б.К. Лаптенкова.

Программное обеспечение к лабораторным работам разработано ООО “Физикон” (Московская обл., г. Долгопрудный).

Учебное пособие предназначено для студентов высших технических учебных заведений дневной, вечерней и заочной (дистанционной) форм обучения.

РЕЦЕНЗЕНТ

Д-р физ.-мат. наук проф., зав. каф. физики КГЭУ В.Л. Матухин

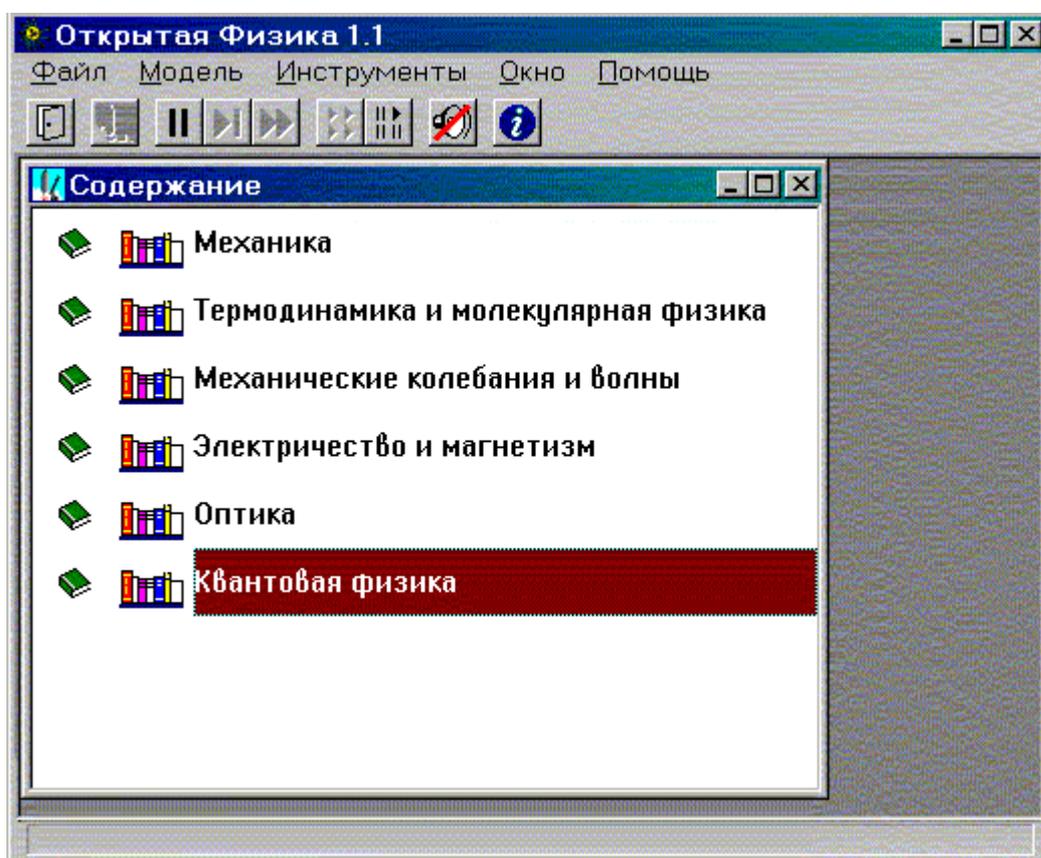
СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ДОПУСК К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ	5
ОФОРМЛЕНИЕ КОНСПЕКТА ДЛЯ ДОПУСКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ	6
ОФОРМЛЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ К ЗАЧЕТУ	7
1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСА КРИВИЗНЫ ЛИНЗЫ С ПОМОЩЬЮ КОЛЕЦ НЬЮТОНА	9
2. ИЗУЧЕНИЕ ДИФРАКЦИИ ФРАУНГОФЕРА ОТ ОДНОЙ ЩЕЛИ.....	13
3. ВНЕШНИЙ ФОТОЭФФЕКТ	17
4. ЭФФЕКТ КОМПТОНА.....	21
5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДА КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЁТКИ МЕТОДОМ ДИФРАКЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ	25
6. СПЕКТР ИЗЛУЧЕНИЯ АТОМАРНОГО ВОДОРОДА	30
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	35
НЕКОТОРЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ СВЕДЕНИЯ	35

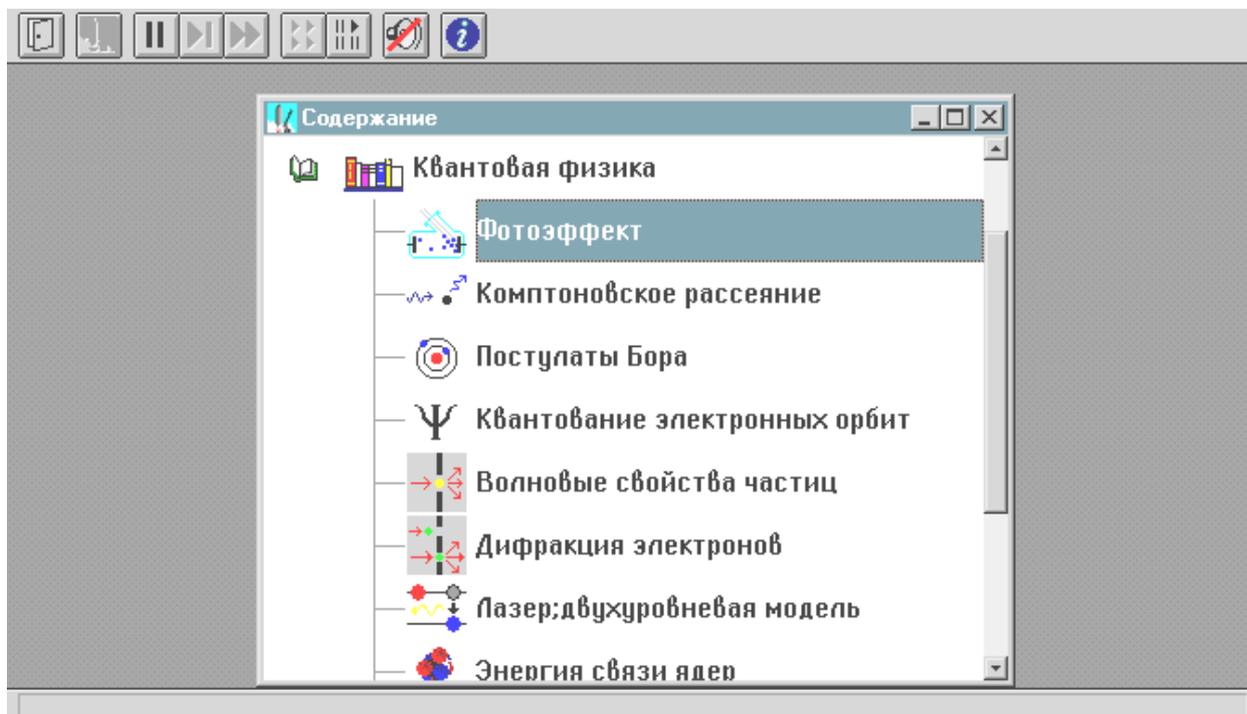
ВВЕДЕНИЕ

Данный сборник содержит описания к лабораторным работам, в которых используются компьютерные модели, разработанные фирмой «Физикон».

Для начала работы необходимо дважды щелкнуть левой кнопкой мыши, когда ее маркер расположен над эмблемой сборника компьютерных моделей. После этого появится начальная картинка, имеющая вид



После этого необходимо дважды щелкнуть левой кнопкой мыши, установив ее маркер над названием раздела, в котором расположена данная модель. Для квантовой физики вы увидите следующую картинку



Чтобы увидеть дальнейшие пункты содержания данного раздела надо щелкнуть левой кнопкой мыши, установив ее маркер на кнопку со стрелкой вниз, расположенную в правом нижнем углу внутреннего окна.

Кнопки вверху картинки являются служебными. Предназначение каждой проявляется когда маркер мыши располагается над ней в течение 1-2 секунд (без нажатия кнопок мыши). Очень важной является кнопка с двумя вертикальными чертами «||», которая служит для остановки эксперимента, а рядом расположенные кнопки – для шага «▶|» и продолжения «▶▶» работы.

Прочитав надписи во внутреннем окне установите маркер мыши над надписью требуемой компьютерной модели и дважды коротко нажмите левую кнопку мыши.

Рассмотрите рисунок на странице 11. В появившемся внутреннем окне сверху также расположены служебные кнопки. Кнопка с изображением страницы служит для вызова теоретических сведений. Перемещать окна можно, зацепив мышью заголовок окна (имеющий синий фон). Для закрытия окна надо нажать мышью кнопку с крестом в верхнем правом углу данного окна.

ДОПУСК К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Проводится преподавателем побригадно с персональным опросом каждого студента. Для допуска:

- Каждый студент предварительно оформляет свой персональный конспект данной ЛР (см. соответствующие требования).
- Преподаватель индивидуально проверяет оформление конспекта и задает вопросы по теории, методике измерений, установке и обработке ре-

зультатов.

- Студент отвечает на заданные вопросы (письменно в черновике конспекта или устно).
- Преподаватель допускает студента к работе и ставит свою подпись в конспекте студента (графа ДОПУСК в табличке на обложке).

ОФОРМЛЕНИЕ КОНСПЕКТА ДЛЯ ДОПУСКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Конспект для допуска к ЛР готовится заранее на двойных листах из школьной тетради в клетку (4-5 двойных листов в зависимости от почерка).

Первая страница (обложка):

Допуск	Измерения	Установка	Зачет

Лабораторная работа №__
Название:

Выполнил:
студент группы _____
ФИО _____
Дата выполнения: _____
Дата сдачи: _____

Следующие страницы:

<p>ЧЕРНОВИК</p> <p>(здесь и далее на этой стороне должны быть представлены все расчеты, включая расчетные формулы и подстановку числовых значений)</p>	<p><u>Цель работы:</u> (переписать полностью из описания).</p> <p><u>Краткая теория</u> (выписать основные формулы и пояснить каждый символ, входящий в формулу).</p> <p><u>Экспериментальная установка</u> (нарисовать чертеж и написать наименование деталей).</p> <p><u>Таблицы</u> (состав таблиц и их количество определить самостоятельно в соответствии с методикой измерений и обработкой их результатов).</p> <p><u>Оформление отчета</u> (переписать полностью из описания). Этот раздел в описании может иметь и другое название, например, “Обработка результатов и оформление отчета”.</p>
---	---

ОФОРМЛЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ К ЗАЧЕТУ

Полностью оформленная и подготовленная к зачету работа должна соответствовать следующим требованиям:

1. Выполнение всех **пунктов** раздела описания “Оформление отчета” (в черновике представлены все расчеты требуемых величин, заполнены чернилами все таблицы, построены все графики).
2. **Графики** должны удовлетворять всем требованиям, приведенным ниже.
3. Для всех величин в таблицах должна быть записана соответствующая единица измерения.
4. Записаны **выводы** по каждому графику (см. ниже шаблон)
5. Выписан **ответ** по установленной форме (см. ниже шаблон).
6. Записаны **выводы** по ответу (см. ниже шаблон).

Г Р А Ф И К (требования):

- на миллиметровке или листе в клетку, размер не менее 1/2 тетрадного листа,
- на графике: оси декартовой системы, на концах осей - стрелки, индексы величин, единицы измерения, 10^N ,
- на каждой оси - **РАВНОМЕРНЫЙ МАСШТАБ** (риски через равные промежутки, числа через равное количество рисок),
- под графиком - полное название графика **СЛОВАМИ**,
- на графике - экспериментальные и теоретические точки ярко,
- форма графика соответствует теоретической зависимости (не ломаная).

ВЫВОД по ГРАФИКУ (шаблон):

Полученный экспериментально график зависимости _____
название функции словами
от _____ имеет вид прямой (проходящей через начало координат,
название аргумента
параболы, гиперболы, плавной кривой) и качественно совпадает с теоретической зависимостью данных характеристик, имеющей вид _____.
формула

ОТВЕТ: По результатам измерений и расчетов получено значение _____,
название физической характеристики
равное _____ = (_____ \pm _____) 10 — _____
символ среднее ошибка степень един.измер

ВЫВОД по ОТВЕТУ (шаблон):

Полученное экспериментально значение величины _____,
полное название словами
равное _____, с точностью до ошибки измерений,
число, единица измерения
составляющей _____, совпадает (не совпадает) с табличным
число, единица измерения
(теоретическим) значением данной величины, равным _____.
число, единица измерения

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСА КРИВИЗНЫ ЛИНЗЫ С ПОМОЩЬЮ КОЛЕЦ НЬЮТОНА

Ознакомьтесь с теорией в конспекте и в учебниках: 1. Трофимова Т.И. Курс физики. Гл. 22, §174; 2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. Гл. 31, § 31.3. Запустите программу «Открытая физика 1.1». Выберите «Оптика» и «Кольца Ньютона». Нажмите вверху внутреннего окна кнопку с изображением страницы. Прочитайте краткие теоретические сведения. Необходимое запишите в свой конспект. (Если вы забыли, как работать с системой компьютерного моделирования, прочитайте ВВЕДЕНИЕ стр.5 еще раз).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- Знакомство с моделированием явления интерференции света в тонких плёнках.
- Изучение интерференции полос равной толщины в схеме колец Ньютона.
- Определение радиуса кривизны линзы.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ:

Классическим примером полос равной толщины являются кольца Ньютона. Они наблюдаются при отражении света от воздушного зазора, образованного плоскопараллельной пластинкой и соприкасающейся с ней плоско-выпуклой линзой с большим радиусом кривизны (рис. 1.1).

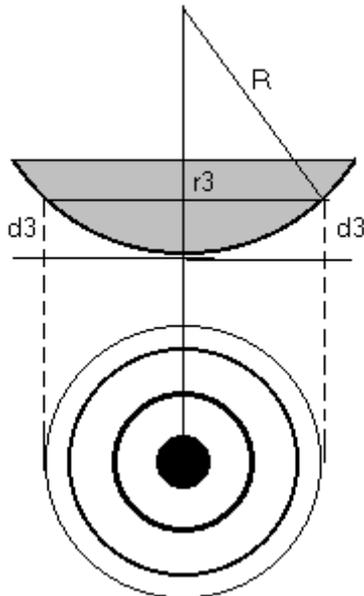


Рис. 1.1.

Если на линзу падает пучок монохроматического света, то световые волны, отражённые от верхней и нижней поверхностей воздушной прослойки, будут интерферировать между собой. При этом образуются интерференционные полосы, имеющие форму концентрических светлых и тёмных колец, убывающей ширины.

В отражённом свете оптическая разность хода с учётом потери полуволны будет равна

$$\Delta = 2d + \frac{\lambda}{2}, \quad (1.1)$$

где d - толщина воздушного зазора. Из рис. 1.1 следует, что

$$r^2 = R^2 - (R - d)^2 = 2Rd - d^2. \quad (1.2)$$

Учитывая, что d^2 является величиной второго порядка малости, то из (1.2) получим

$$d = \frac{r^2}{2R}. \quad (1.3)$$

Следовательно,

$$\Delta = \frac{r^2}{R} + \frac{\lambda}{2}. \quad (1.4)$$

В точках, для которых оптическая разность хода равна

$$\Delta = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}, \quad (1.5)$$

возникают тёмные кольца. Из формул (1.4) и (1.5) радиус k -ого тёмного кольца будет равен

$$r_k^2 = kR\lambda \quad (1.6)$$

Формула (1.6) позволяет определить радиус кривизны линзы

$$R = \frac{r^2}{k\lambda}.$$

Вследствие деформации стекла, а также наличия на стекле пылинок невозможно добиться плотного примыкания линзы и пластины в одной точке. Поэтому при определении радиуса кривизны линзы пользуются другой формулой, в которую входит комбинация из двух значений радиусов интерференционных колец r_m и r_n , что позволяет исключить возможный зазор в точке контакта линзы и стеклянной пластины:

$$R = \frac{r_m^2 - r_n^2}{(m - n)\lambda}. \quad (1.7)$$

МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

1. Внимательно рассмотрите окно опыта, показанное на рисунке 1.2, и зарисуйте необходимое в свой конспект лабораторной работы.

2. Зацепите мышью движок регулятора длины волны монохроматического света и установите первое значение длины волны из таблицы 1.1 для

вашей бригады. Аналогичным образом установите первое значение радиуса кривизны линзы R .

ВНИМАНИЕ! Цель работы - проверить соответствие установочного значения радиуса кривизны линзы и рассчитанного по формуле (7).

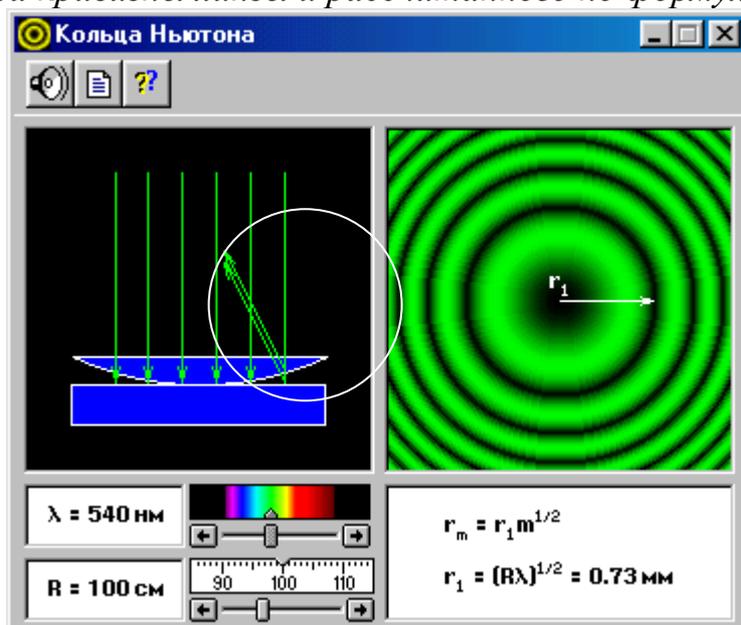


Рис. 1.2

3. По формуле $r_m = r_1 m^{1/2}$ и указанному значению r_1 в правом нижнем прямоугольнике окна опыта рассчитайте значения радиусов 3, 4, 5 и 6-ого тёмных колец Ньютона и запишите эти значения в таблицу 1.2.

4. По формуле (7) для $m_1 = 3$ и $n_1 = 5$ и $m_2 = 4$ и $n_2 = 6$ рассчитайте радиусы кривизны линзы R^*_1 и R^*_2 и запишите эти значения в таблицу 1.2 .

5. Установите мышью вторые значения радиуса кривизны линзы и длины волны из таблицы 1.1 и выполните измерения пп. 3 и 4.

6. Проанализируйте полученные результаты и оцените погрешность проведённых измерений.

Таблица 1.1. Значения длины волны и радиуса кривизны линзы

Бригады	λ_1 , нм	λ_2 , нм	R_1 , см	R_2 , см
1,5	400	640	50	180
2,6	460	680	70	160
3,7	520	730	90	140
4,8	560	760	110	120

Таблица 1.2. Результаты измерений и расчетов

$\lambda_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ $R_1 = \underline{\hspace{2cm}}$				$\lambda_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ $R_2 = \underline{\hspace{2cm}}$			
r_3	r_5	r_4	r_6	r_3	r_5	r_4	r_6
$R_1^* =$		$R_2^* =$		$R_3^* =$		$R_4^* =$	

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что такое полосы равной толщины и равного наклона? Где они локализованы?
2. Проведите расчёт интерференционной картины в тонкой плёнке.
3. Что называется временем когерентности некогерентной волны?
4. Что называется длиной когерентности?
5. Почему для некогерентного света число видимых интерференционных колец будет ограниченным? От чего будет зависеть это число?
6. Объясните, почему расстояние между кольцами изменяется с изменением радиуса кривизны линзы при неизменной длине волны?
7. Как изменится картина колец Ньютона, если воздушный зазор между линзой и пластиной заполнить водой?
8. Почему в отражённом свете в центре наблюдается тёмное кольцо?
9. Как изменится картина колец Ньютона, если наблюдение проводить в проходящем свете?
10. Почему масляное пятно на поверхности жидкости имеет радужную окраску?
11. Объясните, как явление интерференции света в тонких плёнках используется для просветления оптики?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИЗУЧЕНИЕ ДИФРАКЦИИ ФРАУНГОФЕРА ОТ ОДНОЙ ЩЕЛИ

Ознакомьтесь с теорией в конспекте лекций и в учебниках: 1. Трофимова Т.И. Курс физики. § 179; 2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. Гл. 32, § 32.3.

Запустите программы: «Оптика» и «Дифракция света». Нажмите вверху внутреннего окна кнопку с изображением страницы. Прочитайте и запишите краткие теоретические сведения в свой конспект.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- Знакомство со схемой дифракции Фраунгофера от одной щели в когерентном свете.
- Определение углов дифракции в параллельных лучах.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ:

Дифракция Фраунгофера наблюдается в том случае, когда источник света и точка наблюдения бесконечно удалены от препятствия, вызвавшего дифракцию. Схема наблюдения дифракции Фраунгофера от одной щели показана на рис. 2.1.

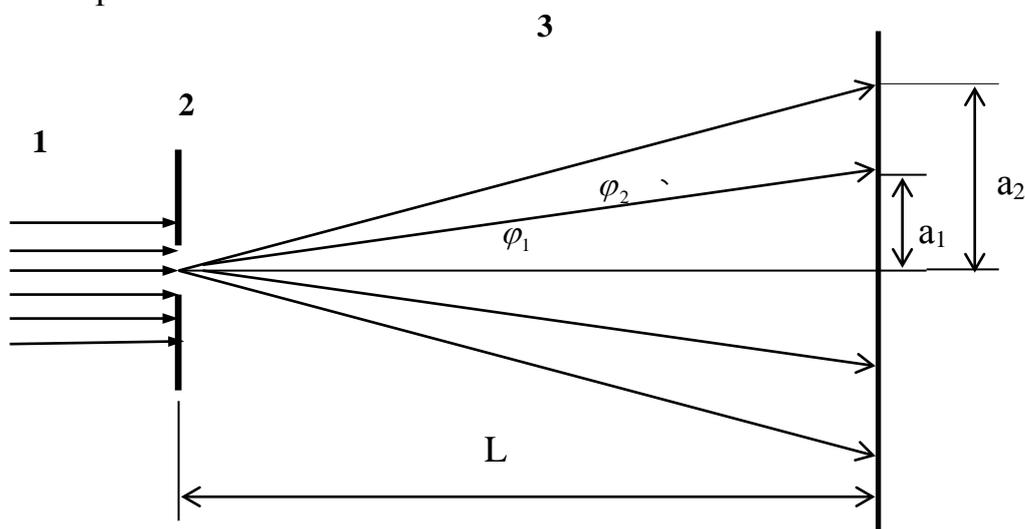


Рис. 2.1.

Параллельный монохроматический пучок света 1 падает нормально на щель 2, длина которой много больше её ширины d . Согласно принципу Гюйгенса, каждая точка плоскости щели, до которой дошло световое колебание, становится источником вторичных волн, распространяющихся во все стороны под углами дифракции $\varphi_1, \varphi_2, \dots$, т.е. свет дифрагирует при прохождении через

щель. Дифрагированные пучки являются когерентными и могут интерферировать при наложении. Результат интерференции в виде полос с периодическим распределением интенсивности наблюдается на экране 3, находящемся на расстоянии L . Условие дифракционного максимума на основе метода зон Френеля определяется формулой

$$d \sin \varphi = \pm (2m + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (m = 1, 2, \dots).$$

Более точный расчёт интерференционной картины от одной щели даёт следующие формулы, определяющие углы дифракции, соответствующие дифракционным максимумам:

$$\begin{aligned} \text{первого порядка} \quad d \sin \varphi_1 &= \pm 1,43\lambda; \\ \text{второго порядка} \quad d \sin \varphi_2 &= \pm 2,46\lambda; \\ \text{третьего порядка} \quad d \sin \varphi_3 &= \pm 3,47\lambda. \end{aligned} \quad (2.1)$$

Из этих формул, зная ширину щели d и длину волны света λ , можно теоретически рассчитать направления на точки экрана, в которых амплитуда, а, следовательно, и интенсивность света максимальна. Аналогичные расчеты можно сделать из экспериментальных данных по измеренным на опыте значениям a_1 , a_2 , и a_3 и заданному расстоянию между щелью и экраном L : (для малых углов допускаем: $\sin \alpha \approx \text{tg } \alpha$). Тогда:

$$\sin \varphi_1 \approx \frac{a_1}{L}; \quad \sin \varphi_2 \approx \frac{a_2}{L}; \quad \sin \varphi_3 \approx \frac{a_3}{L}. \quad (2.2)$$

МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Закройте окно теории. Внимательно рассмотрите рис.2.2, найдите все регуляторы и другие элементы эксперимента и зарисуйте их в конспект. Получите у преподавателя допуск для выполнения лабораторной работы.

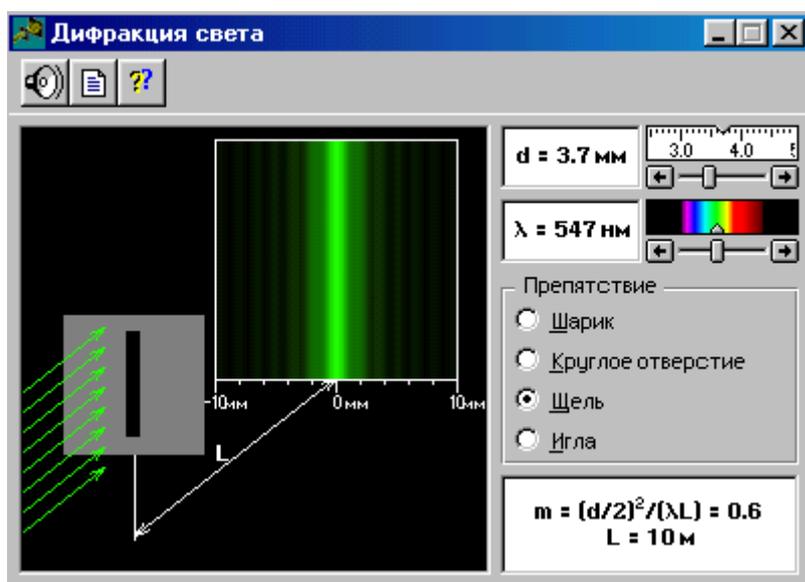


Рис. 2.2.

ИЗМЕРЕНИЯ:

1. Подведите маркер мыши к движку регулятора вблизи картинке спектра, нажмите левую кнопку мыши и, удерживая её в нажатом состоянии, двигайте движок до установки значения длины волны λ_1 , взятого из таблицы 2.1 для вашей бригады.

2. Аналогичным образом, зацепив мышью движок регулятора расстояния между щелями, установите минимальное расстояние $d = 2$ мм. Измерьте, используя шкалу на экране, расстояние a_1 между нулевым и первым максимумами, a_2 – между нулевым и вторым максимумами и т. д., до четвёртого максимума. Запишите эти значения в таблицу 2.2. Увеличивая d на 0,5 мм, проведите эти измерения ещё 4 раза.

3. Согласно таблице 2.1, устанавливая новые числовые значения длины волны λ для вашей бригады, повторите измерения по п.2, записывая результаты измерения в таблицы 2.3, 2.4, 2.5.

ТАБЛИЦА 2.1. Значения длины волны λ (в нм)

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
λ_1	400	405	410	415	420	425	430	435
λ_2	500	505	510	515	520	525	530	540
λ_3	580	585	590	595	600	605	610	615
λ_4	630	635	640	645	650	655	660	665

ТАБЛИЦЫ 2.2-2.5. Результаты измерений при $\lambda = \underline{\hspace{2cm}}$ нм

d , мм	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
a_1 , мм					
a_2 , мм					
a_3 , мм					
a_4 , мм					
$\sin \varphi_1 \times 10^3$					
$\sin \varphi_2 \times 10^3$					
$\sin \varphi_3 \times 10^3$					
$\sin \varphi_4 \times 10^3$					

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЁТА:

1. Измерьте по шкале экрана и внесите в таблицы значения a_1 , a_2 , a_3 , a_4 .
2. Рассчитайте по формулам (2.2) и внесите в таблицы значения синусов углов дифракции.
3. Сравните полученные результаты с теоретическими, рассчитанными по формулам (2.1).
4. Оцените абсолютную ошибку измерений углов дифракции.
5. Проведите качественные наблюдения изменения дифракционной картины при увеличении размера щели от минимального до его максимального значения при неизменной длине волны и запишите результаты этих наблюдений в свой отчёт.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что называется дифракцией Фраунгофера?
2. Что называется дифракцией Френеля?
3. Что такое световая волна?
4. Что такое зона Френеля?
5. Что такое пятно Пуассона и почему оно возникает?
6. Запишите условия максимумов и минимумов при дифракции Френеля и дифракции Фраунгофера.
7. Решите задачу, предложенную в работе под знаком вопроса в верхней части экрана.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ВНЕШНИЙ ФОТОЭФФЕКТ

Ознакомьтесь с конспектом лекций и учебником (Савельев, т.3, §9). Запустите программу. Выберите «Квантовая физика» и «Фотоэффект». Нажмите вверху внутреннего окна кнопку с изображением страницы. Прочитайте краткие теоретические сведения. Необходимое запишите в свой конспект. (Если вы забыли, как работать с системой компьютерного моделирования, прочитайте ВВЕДЕНИЕ стр.5 еще раз).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- Знакомство с квантовой моделью внешнего фотоэффекта.
- Экспериментальное подтверждение закономерностей внешнего фотоэффекта.
- Экспериментальное определение красной границы фотоэффекта, работы выхода фотокатода и постоянной Планка.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ:

ФОТОНЫ это частицы (кванты), поток которых является одной из моделей электромагнитного излучения (ЭМИ).

ЭНЕРГИЯ ФОТОНА $E_{\phi} = h\nu$,

ν - частота излучения, h - постоянная Планка, $h = 6.62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с).

ЭНЕРГИЯ часто измеряется во внесистемных единицах «электрон-вольтах».

1 эВ = $1.6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

МАССА ФОТОНА связана с его энергией соотношением Эйнштейна

$$E_{\phi} = m_{\phi}c^2, \text{ отсюда } m_{\phi} = \frac{h\nu}{c^2}.$$

ИМПУЛЬС ФОТОНА $p = m_{\phi} c = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} = \frac{E_{\phi}}{c}$, где λ - длина волны

ЭМИ.

ВНЕШНИЙ ФОТОЭФФЕКТ есть явление вылета электронов из вещества (металла, фотокатода) при его облучении электромагнитным излучением (ЭМИ), например, светом. Вылетевшие электроны называются ФОТОЭЛЕКТРОНАМИ. Далее для краткости указанное явление будем называть просто фотоэффектом.

Кинетическая энергия электрона внутри вещества увеличивается на $h\nu$, но при вылете фотоэлектрона из вещества им совершается работа $A_{\text{ВЫХ}}$ (работа выхода) против сил электростатического притяжения к металлу. У фотоэлектрона сообщенная ему фотоном порция энергии уменьшается на величину, равную работе выхода из металла (фотокатода), а оставшаяся часть имеет вид кинетической энергии фотоэлектрона вне металла (фотокатода):

$$E_{к.эл}^{ВНЕ} = h\nu - A_{ВЫХ} .$$

Это соотношение называют формулой (законом) ЭЙНШТЕЙНА ДЛЯ ФОТОЭФФЕКТА.

КРАСНАЯ ГРАНИЦА фотоэффекта есть минимальная частота ЭМИ, при которой еще наблюдается фотоэффект, т.е. для которой энергия фотона равна работе выхода $h\nu_{кр} = A_{ВЫХ}$.

ЗАПИРАЮЩИМ (ЗАДЕРЖИВАЮЩИМ) НАПРЯЖЕНИЕМ называется минимальное тормозящее напряжение между анодом вакуумной лампы (фотоэлемента) и фотокатодом, при котором отсутствует ток в цепи этой лампы, т.е. фотоэлектроны не долетают до анода. При таком напряжении кинетическая энергия электронов у катода равна потенциальной энергии электронов у анода, откуда следует выражение:

$$U_{зап} = \frac{E_{к.эл}^{ВНЕ}}{e} = \frac{h\nu - A_{ВЫХ}}{e} ,$$

где e - заряд электрона.

МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Внимательно рассмотрите рис.3.1 и зарисуйте необходимое в свой конспект лабораторной работы.

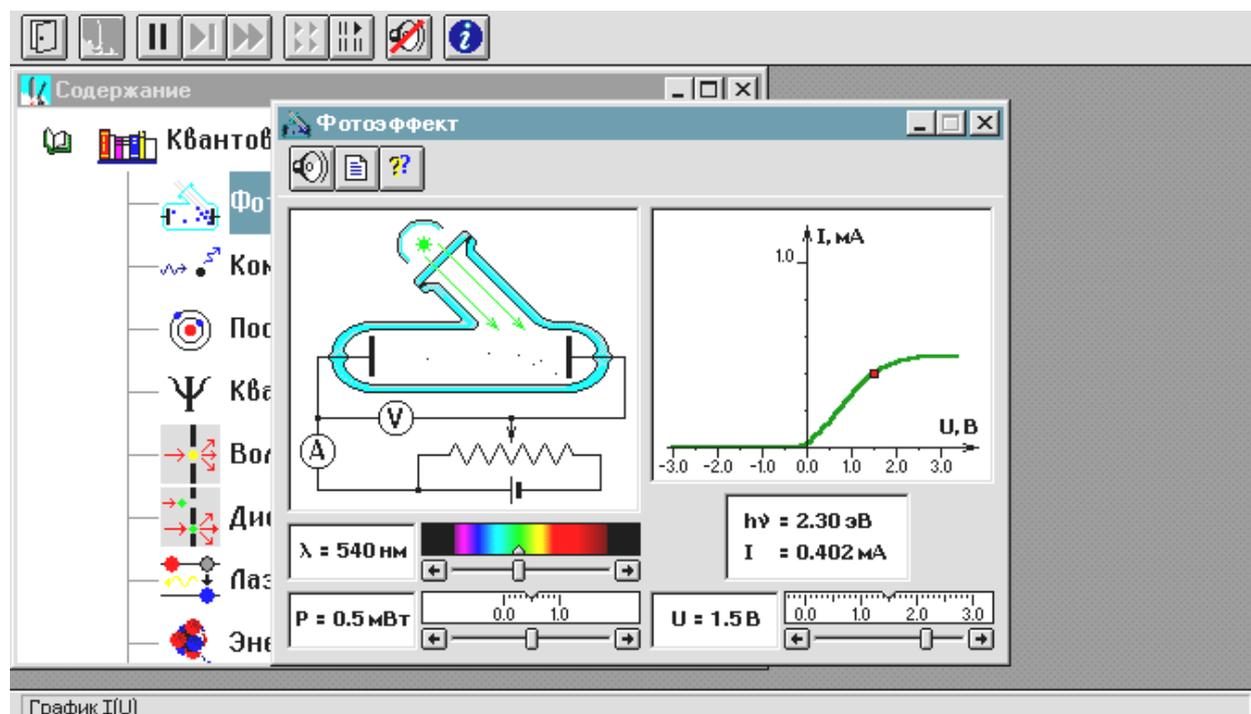


Рис. 3.1

Зацепите мышью движок реостата регулятора интенсивности (мощности) облучения фотокатода и установите его на максимум.

Аналогичным образом установите нулевое напряжение между анодом и фотокатодом и минимальную длину волны ЭМИ. Наблюдайте движение электронов в фотоэлементе, изменяя напряжение до запираения фототока.

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.
ИЗМЕРЕНИЯ

1. Зацепив мышью, перемещайте метку на спектре, постепенно увеличивая длину волны облучения фотокатода. Добейтесь полного отсутствия фототока. Зафиксируйте самую большую длину волны (она будет равна $\lambda_{кр}$), при которой фототок еще присутствует. Запишите в тетрадь значение длины волны красной границы фотоэффекта ($\lambda_{кр}$).

2. Для более точного определения связи запирающего напряжения с длиной волны падающего излучения

- Сначала установите значение запирающего напряжения в соответствии с таблицей 3.2.

- Перемещая мышью вертикальную метку на спектре, установите такое максимальное значение длины волны, при котором прекращается фототок (при визуальном наблюдении электронов вы видите, что практически все электроны долетают до анода и после этого движутся обратно к катоду).

- Значения λ и $U_{зап}$ занесите в таблицу 3.1.

ТАБЛИЦА 3.1. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

для $U_{зап} = \underline{\hspace{2cm}}$

$i =$	1	2	3	4
$U_{запi}, В$				
$\lambda_i, нм$				
$1/\lambda_i, 10^6 м^{-1}$				

ТАБЛИЦА 3.2. ЗНАЧЕНИЯ ЗАПИРАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

(не перерисовывать)

Бригады	$U_{зап1}$	$U_{зап2}$	$U_{зап3}$	$U_{зап4}$
1,5	-0,1	-0,3	-0,6	-0,8
2,6	-0,2	-0,4	-0,6	-0,9
3,7	-0,3	-0,5	-0,7	-1,0
4,8	-0,4	-0,7	-0,8	-1,1

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА:

1. Вычислите и запишите в таблицу обратные длины волн.
 2. Постройте график зависимости напряжения запираения ($U_{зап}$) от обратной длины волны ($1/\lambda$).

3. Определите постоянную Планка, используя график и формулу

$$h = \frac{e \Delta(U_{зап})}{c \Delta(\frac{1}{\lambda})}$$

4. Используя длину волны красной границы фотоэффекта, вычислите значение работы выхода материала фотокатода.

5. Запишите ответы и проанализируйте ответы и график.

ТАБЛИЦА 3.3. Значения работы выхода для некоторых материалов

Материал	калий	литий	платина	рубидий	серебро	цезий	цинк
$A_{вых}, эВ$	2,2	2,3	6,3	2,1	4,7	2,0	4,0

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что такое фотоны?
2. Назовите все модели электромагнитного излучения.
3. Напишите формулу энергии фотона.
4. Напишите формулу, связывающую энергию фотона и его массу.
5. Напишите выражение энергии фотона через его импульс.
6. Дайте формулировку явления внешнего фотоэффекта.
7. Опишите по шагам, что происходит с фотоном, падающим на границу металла.
8. Опишите по шагам, что происходит со свободным электроном металла, после его взаимодействия с фотоном.
9. Опишите, что происходит с электроном, входящим в состав атома металла, после его взаимодействия с фотоном.
10. Что такое работа выхода? Чья это характеристика?
11. Напишите формулу Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.
12. Дайте определение красной границы фотоэффекта.
13. Как устроен фотоэлемент?
14. Почему катод фотоэлемента называют фотокатодом?
15. Что такое запирающее напряжение для данного фотокатода.
16. Как движется фотоэлектрон в фотоэлементе при потенциале анода ниже потенциала фотокатода?
17. Как движется фотоэлектрон в фотоэлементе при потенциале анода выше потенциала фотокатода?
18. Как связана кинетическая энергия электрона у катода с его потенциальной энергией а анода и почему?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ЭФФЕКТ КОМПТОНА

Ознакомьтесь с теорией в конспекте и учебнике (Савельев, т.3, §12, §28). Запустите программу. Выберите «Квантовая физика», «Комптоновское рассеяние». Нажмите сверху внутреннего окна кнопку с изображением страницы. Прочитайте краткие теоретические сведения. Необходимое запишите в свой конспект. (Если вы забыли, как работать с системой компьютерного моделирования, прочитайте ВВЕДЕНИЕ стр.5 еще раз).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

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

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ:

МОДЕЛИ электромагнитного излучения (ЭМИ):

луч – линия распространения ЭМИ (геометрическая оптика);

волна – гармоническая волна, имеющая амплитуду и определенную длину волны или частоту (волновая оптика);

поток частиц (фотонов) используется в квантовой оптике и для объяснения многих эффектов, на которых основана квантовая теория строения вещества.

Характеристики всех моделей связаны друг с другом.

ЭФФЕКТОМ КОМПТОНА называется появление рассеянного излучения с большей длиной волны при облучении вещества монохроматическим рентгеновским излучением.

РЕНТГЕНОВСКИМ называется электромагнитное излучение, которое можно моделировать с помощью электромагнитной волны с длиной от 10^{-8} до 10^{-12} м, или с помощью потока фотонов с энергией от 100 эВ до 10^6 эВ.

Первая модель применяется для описания рентгеновского излучения, распространяющегося от источника до вещества. Оно представляется, как монохроматическая волна с длиной λ .

Волновая модель применяется и для описания рассеянного под углом ϑ рентгеновского излучения, идущего от вещества (КР) до регистрирующего устройства (рентгеновского спектрометра РС).

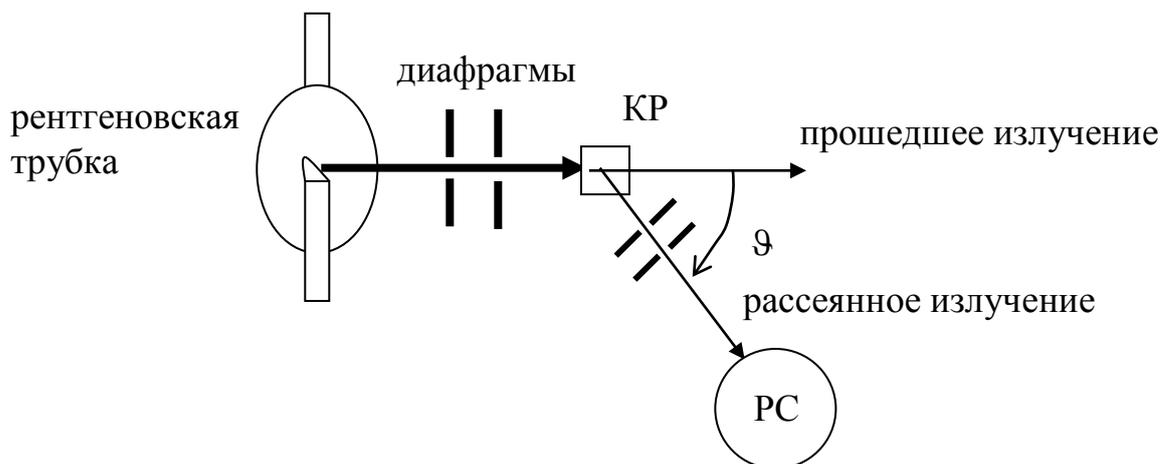


Рис. 4.1

Рассмотрим процесс столкновения падающего рентгеновского фотона (энергия $\hbar\omega$, импульс $\hbar\vec{k}$) с покоящимся электроном вещества. Энергия электрона до столкновения равна его энергии покоя mc^2 , где m – масса покоя электрона. Импульс электрона равен 0.

После столкновения электрон будет обладать импульсом \vec{p} и энергией, равной $c\sqrt{p^2 + m^2c^2}$. Энергия фотона станет равной $\hbar\omega'$, а импульс $\hbar\vec{k}'$.

Из закона сохранения импульса и энергии вытекают два равенства

$$\hbar\omega + mc^2 = \hbar\omega' + c\sqrt{p^2 + m^2c^2} \quad \text{и} \quad \hbar\vec{k} = \vec{p} + \hbar\vec{k}'.$$

Разделив первое равенство на второе, возведя в квадрат и проведя некоторые преобразования (см.учебник (3) стр.45), получим формулу Комптона

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \lambda_C (1 - \cos\vartheta), \quad \text{где комptonовская длина волны} \quad \lambda_C = \frac{h}{mc}. \quad \text{Для}$$

электрона $\lambda_C = 2.43 \cdot 10^{-12}$ м.

МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Внимательно рассмотрите рис. 4.2.

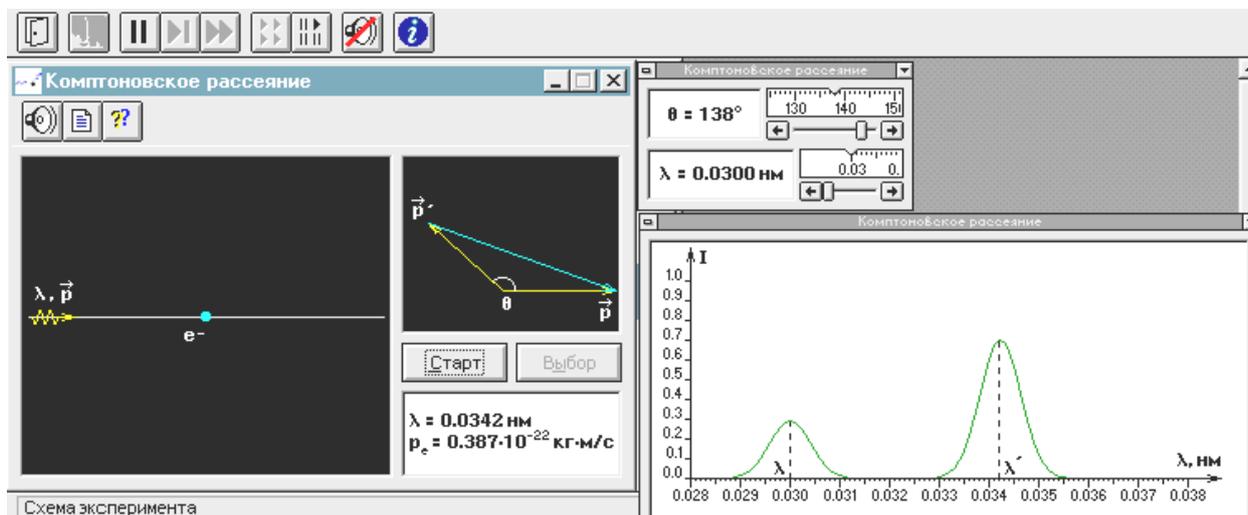


Рис. 4.2

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

ИЗМЕРЕНИЯ

1. Нажмите мышью кнопку «Старт» вверху экрана.
2. Подведите маркер мыши к движку регулятора длины волны падающего ЭМИ и установите первое значение длины волны из таблицы 4.2, соответствующее номеру вашей бригады.
3. Подведите маркер мыши к движку регулятора угла приема рассеянного ЭМИ и установите первое значение 60° из таблицы 4.1.
4. По картине измеренных значений определите длину волны λ' рассеянного ЭМИ и запишите в первую строку таблицы 4.1.
5. Изменяйте угол наблюдения с шагом 10° , а записывайте измеренные значения λ' в соответствующие строки таблицы 4.1.
6. Заполнив все строки таблицы 4.1, измените значение длины волны падающего ЭМИ в соответствии со следующим значением для вашей бригады из таблицы 4.2. Повторите измерения длины волны рассеянного ЭМИ, заполняя сначала таблицу 4.3, а затем и таблицу 4.4 (аналогичные таблице 4.1).

ТАБЛИЦА 4.1. Результаты измерений

Длина волны $\lambda = \underline{\hspace{2cm}}$ пм

Номер измер.	ϑ град	λ' , пм	$1 - \cos\vartheta$
1	60		
2	70		
.....			
11	160		

ТАБЛИЦА 4.2. Для выбора значений
(не переписывать)

Номер бригады	Длина волны падающего ЭМИ (пм)		
	3	5	7
1,5	3	5	7
2,6	3,5	5,5	8
3,7	4	6	9
4,8	4,5	6,5	10

Таблицы 4.3 и 4.4 аналогичны таблице 4.1.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА:

1. Вычислите и запишите в таблицы 4.1, 4.3 и 4.4 величины $1 - \cos\vartheta$.
2. Постройте график зависимости изменения длины волны ($\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$) от разности $(1 - \cos\vartheta)$ для каждой серии измерений.
3. Определите по наклону графика значение комптоновской длины волны электрона $\lambda_C = \frac{\Delta(\Delta\lambda)}{\Delta(1 - \cos\vartheta)}$.
4. Запишите ответ и проанализируйте ответ и графики.

Вопросы и задания для самоконтроля

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДА КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЁТКИ МЕТОДОМ ДИФРАКЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ

Ознакомьтесь с теорией в конспекте и учебниках: 1. Трофимова Т.И. Курс физики. Гл. 28, §213. 2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. Гл. 37, §37.1. Запустите программу «Квантовая физика». Выберите: «Дифракция электронов». Нажмите вверху внутреннего окна кнопку с изображением страницы. Прочитайте краткие теоретические сведения. Необходимое запишите в свой конспект. (Если вы забыли, как работать с системой компьютерного моделирования, прочитайте ВВЕДЕНИЕ стр.5 еще раз).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- Изучение волновых свойств электронов
- Знакомство с компьютерной моделью дифракции электронов при их рассеянии на одномерной монокристаллической решётке (электронография).
- Определение периода кристаллической решётки «плёнки металла».

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ:

ПЕРИОД КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЁТКИ - расстояние между атомами в элементарной ячейке кристалла.

ВОЛНЫ ДЕ БРОЙЛЯ - волны, связанные с любой свободно движущейся микрочастицей и отражающие её квантовую природу. Длина волны и частота волн де Бройля связаны соотношениями

$$\lambda = \frac{h}{mv}, \quad \nu = \frac{E}{h}. \quad (5.1)$$

КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОЙ ДУАЛИЗМ - лежащее в основе квантовой теории представление о том, что в поведении микрочастиц проявляются как корпускулярные, так и волновые свойства.

ДИФРАКЦИЯ ЭЛЕКТРОНОВ - рассеяние электронов веществом, при котором из начального пучка частиц возникают дополнительно отклонённые пучки этих частиц. Дифракция электронов может быть объяснена только на основе квантовомеханических представлений о микрочастице (электроне) как о волне. Основные геометрические закономерности дифракции электронов ничем не отличаются от закономерностей дифракции волн других диапазонов. Общим условием дифракции волн любой природы является соизмеримость длины падающей волны с расстоянием между рассеивающими центрами:

$$\lambda \leq d. \quad (5.2)$$

Образование дифракционной картины при рассеянии электронов веществом в квантовой физике интерпретируется как распределение вероятности

попадания электрона в различные точки экрана. Прошедший через кристалл электрон в результате взаимодействия с кристаллической решёткой образца отклоняется от первоначального направления движения и попадает в некоторую точку фотопластинки, установленной за кристаллом. При длительной экспозиции постепенно возникает упорядоченная картина дифракционных максимумов и минимумов в распределении электронов, прошедших через кристалл. Точно предсказать, в какое место фотопластинки попадёт данный электрон, нельзя, но можно указать вероятность его попадания после рассеяния в ту или иную точку пластинки. Эта вероятность определяется квадратом модуля волновой функции электрона $|\Psi(x, y, z, t)|^2$, а дифракционная картина на экране возникает как результат вероятностного процесса.

ЭЛЕКТРОНОГРАФИЯ – метод исследования структуры кристаллических веществ, основанный на дифракционном рассеянии ускоренных электрическим полем электронов. Он применяется для изучения атомной структуры кристаллов, аморфных тел и жидкостей, молекул газов и паров. При прохождении через вещество электроны, обладающие волновыми свойствами, взаимодействуют с атомами, в результате чего образуются дифрагированные пучки, интенсивность и расположение которых связаны с атомной структурой вещества и другими структурными параметрами. Рассеяние электронов определяется электростатическим потенциалом атомов, максимумы которого отвечают положениям атомных ядер.

Сильное взаимодействие электронов с веществом ограничивает толщину просвечиваемых образцов десятными долями мкм. Поэтому методами электронографии изучают атомную структуру мелкокристаллических веществ, структуру поверхностей твёрдых тел, например, при исследовании явлений коррозии металлов, адсорбции и катализа.

В основе расчёта элементов кристаллической ячейки и определения симметрии кристалла лежит измерение упорядоченного расположения дифракционных максимумов - точек или пятен («рефлексов») на электронограммах. С волновой точки зрения дифракция электронов полностью эквивалентна дифракции света на дифракционной решётке. Поэтому при рассеянии электронов на кристаллах положение главных максимумов определяется формулой дифракционной решётки:

$$d \sin \Theta = m\lambda . \quad (5.3)$$

При малых углах дифракции

$$\Theta \approx \frac{m\lambda}{d} . \quad (5.4)$$

Если на некотором расстоянии L от решётки поместить фотопластинку, то на ней будет зарегистрирована дифракционная картина в виде узких дифракционных полос – рефлексов, положения которых определяются при малых углах дифракции соотношением

$$x_m \approx L\Theta \approx \frac{mL\lambda}{d}, \quad (5.5)$$

откуда период кристаллической решётки (межплоскостное расстояние)

$$d \approx \frac{mL\lambda}{x_m}. \quad (5.6)$$

МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ:

Внимательно рассмотрите рис. 5.1 на экране монитора и зарисуйте необходимое в свой конспект лабораторной работы.

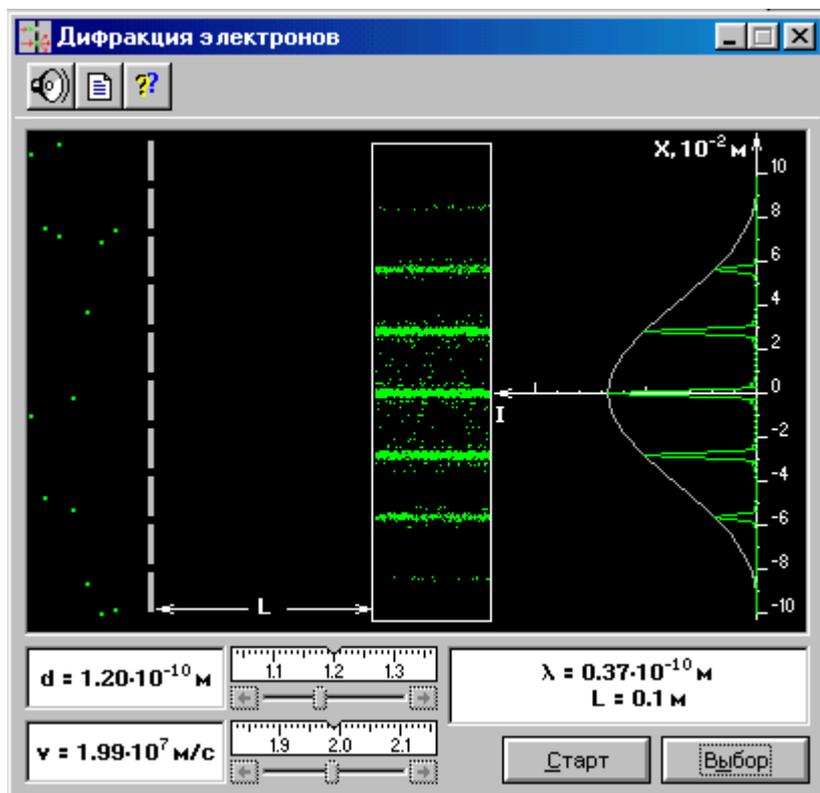


Рис. 5.1.

1. Нажмите мышью кнопку «Выбор» и, зацепив мышью движок регулятора периода решётки, установите значение $d = 1,5 \cdot 10^{-10}$ м.
2. Аналогичным образом установите первое значение скорости электронов, указанное в таблице 5.1 для вашей бригады.
3. Нажмите мышью кнопку «Старт» и наблюдайте движение электронов через одномерную модель дифракционной кристаллической решётки и их регистрацию на фотопластинке.
4. Определите по шкале, расположенной в правой части окна, координаты первых трёх максимумов интенсивности дифракционной картины и запишите эти значения в таблицу 5.2.
5. Установите второе значение скорости для вашей бригады и повторите эти измерения ещё раз.

Таблица 5.1. Значения скорости электронов

Номер бригады	1	2	3	4	5	6	7	8
$v \cdot 10^7$, м/с	1,50 2,00	1,55 2,05	1,60 2,10	1,65 2,15	1,70 2,20	1,80 2,25	1,85 2,30	1,90 2,35

Таблица 5.2. Результаты измерений и расчётов

$V_1 =$					$V_2 =$				
λ	X_{m1}	X_{m2}	X_{m3}	$d_{\text{э сред}}$	λ	X_{m1}	X_{m2}	X_{m3}	$d_{\text{э сред}}$
$d_{\text{э}}$					$d_{\text{э}}$				

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЁТА:

1. Рассчитайте для каждого значения x_m по формуле (5.6) период дифракционной решётки $d_{\text{э}}$, запишите эти данные в таблицу 5.2 и сравните полученное среднее значение с установочным.
2. Проведите оценку погрешности измерений.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Назовите основные отличия кристаллических тел от аморфных.
2. Что такое кристаллическая решётка?
3. Что такое узлы кристаллической решётки?
4. Чем отличаются монокристаллы от поликристаллов?
5. Как можно классифицировать кристаллы?
6. Что такое ионная связь?
7. Что такое ковалентная связь?
8. Какие типы кристаллографических систем Вы знаете?
9. Определите основные свойства волн де Бройля.
10. В чём заключается соотношение неопределённостей?
11. Что такое волновая функция и в чём заключается её статистический смысл?
12. Запишите уравнение Шрёдингера для стационарных состояний.
13. Что такое дифракция микрочастиц?
14. Каковы особенности дифракции на пространственной решётке?
15. Сформулируйте условие Брэгга-Вульфа. Что оно определяет?

16. Кем и когда впервые была доказана возможность дифракции электронов?
17. Какую информацию можно получить из анализа электронограммы?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

СПЕКТР ИЗЛУЧЕНИЯ АТОМАРНОГО ВОДОРОДА

Ознакомьтесь с теорией в конспекте и учебнике (Савельев, т.3, §§12, 28). Запустите программу. Выберите «Квантовая физика», «Постулаты Бора». Нажмите вверху внутреннего окна кнопку с изображением страницы. Прочитайте краткие теоретические сведения. Необходимое запишите в свой конспект. (Если вы забыли, как работать с системой компьютерного моделирования, прочитайте ВВЕДЕНИЕ стр.5 еще раз).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- Знакомство с планетарной и квантовой моделями атома при моделировании процесса испускания электромагнитного излучения возбужденными атомами водорода.
- Экспериментальное подтверждение закономерностей формирования линейчатого спектра излучения атомарного водорода при низких давлениях.
- Экспериментальное определение постоянной Ридберга.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ:

СПЕКТРОМ электромагнитного излучения (ЭМИ) называется совокупность электромагнитных волн, излучаемых или поглощаемых атомами (молекулами) данного вещества.

ЛИНЕЙЧАТЫЙ спектр состоит из отдельных компонент (линий), близких к гармоническим. Расстояние между линиями (по шкале длин волн или частот) много больше ширины линий. Такой спектр излучают атомарные газы.

Кроме линейчатого выделяют еще **ПОЛОСАТЫЙ** спектр, который излучают молекулярные газы и **СПЛОШНОЙ** спектр, излучаемый нагретыми твердыми телами.

ПЛАНЕТАРНАЯ МОДЕЛЬ атома: в центре атома расположено очень малое положительно заряженное ядро, вокруг которого по определенным (разрешенным) стационарным орбитам движутся электроны, масса которых во много раз меньше массы ядра. При движении по орбите электрон не испускает электромагнитного излучения (ЭМИ). При поглощении ЭМИ (фотона) электрон переходит на более «высокую» разрешенную орбиту, на которой его энергия становится больше на величину $\Delta E_{\text{эл}}$, равную энергии поглощенного фотона $E_{\text{ф}}$. При обратном переходе электрон испускает фотон с такой же энергией $E_{\text{ф}} = |\Delta E_{\text{эл}}|$.

КВАНТОВАЯ модель атома отличается от планетарной в первую очередь тем, что в ней электрон не имеет точно определенной координаты и скорости, поэтому бессмысленно говорить о траектории его движения. Можно определить (и нарисовать) только границы области его преимущественного движения (орбитали).

УРАВНЕНИЕ ШРЕДИНГЕРА для движения электрона в кулоновском поле ядра атома водорода используется для анализа квантовой модели атома. В результате решения этого уравнения получается ВОЛНОВАЯ ФУНКЦИЯ, которая зависит не только от координаты \vec{r} и времени t , но и от 4-х параметров, имеющих дискретный набор значений и называемых квантовыми числами. Они имеют названия: главное, азимутальное, магнитное и магнитное спиновое.

ГЛАВНОЕ квантовое число n может принимать целочисленные значения $1, 2, \dots$. Оно определяет величину энергии электрона в атоме

$$E_n = -\frac{E_i}{n^2}, \text{ где } E_i - \text{ энергия ионизации атома водорода (13.6 эВ).}$$

АЗИМУТАЛЬНОЕ (ОРБИТАЛЬНОЕ) квантовое число l определяет модуль момента импульса электрона при его орбитальном движении $|\vec{L}| = \hbar\sqrt{l(l+1)}$. Оно принимает целочисленные значения $l = 0, 1, 2, \dots, n-1$.

МАГНИТНОЕ квантовое число m_l определяет проекцию вектора момента импульса орбитального движения электрона L_z на направление внешнего магнитного поля \vec{B} . Оно принимает положительные и отрицательные целочисленные значения, по модулю меньшие или равные l . $L_z = \hbar m_l$, где $m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$.

МАГНИТНОЕ спиновое квантовое число m_s определяет проекцию вектора собственного момента импульса электрона (СПИНА \vec{S}) на направление внешнего магнитного поля \vec{B} :

$S_z = \hbar m_s$ и принимает только 2 значения: $m_s = +1/2, -1/2$. Для модуля спина $|\vec{S}| = \hbar\sqrt{s(s+1)}$, где s – спиновое квантовое число, которое у каждой частицы имеет только одно значение. Например, для электрона $s = \frac{1}{2}$ (аналогично, для протона и нейтрона). Для фотона $s = 1$.

ВЫРОЖДЕННЫМИ называются состояния электрона с одинаковой энергией.

КРАТНОСТЬ ВЫРОЖДЕНИЯ равна количеству состояний с одной и той же энергией.

КРАТКАЯ запись состояния электрона в атоме: ЦИФРА, равная главному квантовому числу, и БУКВА, определяющая азимутальное квантовое число:

Буква	s	p	d	e	f
Значение l	0	1	2	3	4

ПРАВИЛО ОТБОРА азимутального квантового числа $\Delta l = \pm 1$. Электрон в атоме может переходить только между состояниями, удовлетворяющему указанному правилу.

СПЕКТРАЛЬНОЙ СЕРИЕЙ называется совокупность линий излучения, соответствующих переходу электрона в атоме на один и тот же нижний уровень энергии:

Серия	Лаймана	Бальмера	Пашена	Брэкета
Переходы	$np \rightarrow 1s$	$ns \rightarrow 2p,$ $nd \rightarrow 2p$	$nf \rightarrow 3d,$ $np \rightarrow 3d$	$ng \rightarrow 4f,$ $nd \rightarrow 4f$

МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Внимательно рассмотрите рис. 6.1.

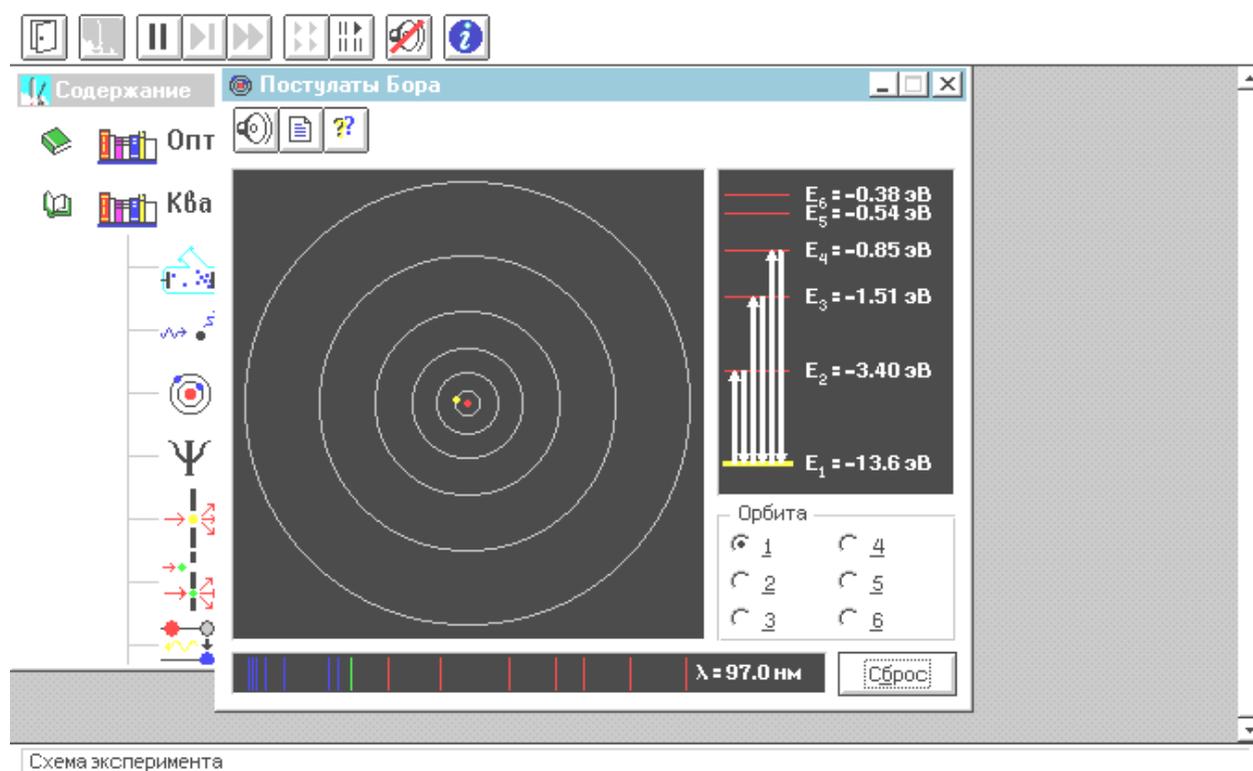


Рис. 6.1

Зарисуйте необходимое в свой конспект лабораторной работы.

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

ИЗМЕРЕНИЯ

1. Нажмите мышью кнопку «Старт» вверху экрана.
2. Подведите маркер мыши к уровню энергии электрона с номером n_0 , указанным в таблице 6.2 для вашей бригады и нажмите левую кнопку мыши.
3. Наблюдайте и зарисуйте мигающие стрелки на модели атома водорода (в левом верхнем поле), а также стрелки в правом поле и отметки в нижнем поле, соответствующие линиям в данной серии.
4. Запишите в таблицу 6.1 величину главного квантового числа n_0 для нижнего уровня энергии данной серии, название серии и длины волн от-

дельных линий.

ТАБЛИЦА 6.1. Результаты измерений

Серия _____ . $n_0 =$ _____

Номер линии $i =$	n	λ_i , мкм	$1/\lambda_i$, мкм ⁻¹
1			
2			
3			
4			

ТАБЛИЦА 6.2 для выбора начальных

условий (не перерисовывать)

Номер бригады	Гл. кв. число ниж. уровня n_0
1,5	1
2,6	2
3,7	3
4,8	4

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА:

1. Вычислите и запишите в таблицу 6.1 обратные длины волн.
2. Определите, переходу между какими квантовыми состояниями электрона в атоме водорода соответствует каждая линия излучения. Запишите в таблицу значения n .
3. Постройте график зависимости обратной длины волны ($1/\lambda$) от обратного квадрата главного квантового числа ($1/n^2$) для данной спектральной серии.
4. Определите по наклону графика значение постоянной Ридберга
5.
$$R = \frac{\Delta(1/\lambda)}{\Delta(1/n^2)}$$
6. Запишите ответ и проанализируйте ответ и графики.

ТАБЛИЧНОЕ ЗНАЧЕНИЕ: Постоянная Ридберга $R = 1.1 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что такое спектр электромагнитного излучения (ЭМИ)?
2. Что такое линейчатый спектр ЭМИ?
3. Что является источником линейчатого спектра ЭМИ?
4. Что такое полосатый спектр ЭМИ и что является его источником?
5. При каких условиях излучается сплошной спектр ЭМИ?
6. Опишите планетарную модель атома.
7. При каких условиях электроны в атоме излучают или поглощают ЭМИ?
8. Как связаны друг с другом характеристики фотона и электрона, который излучает данный фотон?
9. Какое уравнение используется для анализа квантовой модели

атома?

10. Что является решением этого уравнения?

11. Как описывается электрон и его движение в квантовой модели атома?

12. Что определяет квадрат модуля волновой функции?

13. Дайте определение орбитали электрона в атоме.

14. Что определяет главное квантовое число? Напишите формулу для его нахождения.

15. Что определяет азимутальное квантовое число? Напишите формулу для его нахождения.

16. Что определяет магнитное квантовое число? Напишите формулу для его нахождения.

17. Что такое спин электрона?

18. Что определяет спиновое квантовое число? Напишите формулу для его нахождения.

19. Что определяет магнитное спиновое квантовое число? Напишите формулу для его нахождения.

20. Что такое вырожденные состояния?

21. Как определить кратность вырождения состояния?

22. Расшифруйте краткую запись состояния электрона в атоме ($2s^2$, $2p^3$).

23. Может ли электрон иметь состояние $2d$ и почему?

24. Сформулируйте правило отбора.

25. Что такое спектральная серия?

26. Назовите названия спектральных серий излучения атомарного водорода. Запишите условия для их возникновения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.3. М.: «Наука», 1982.

НЕКОТОРЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ СВЕДЕНИЯ

ФИЗИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ

Название	Символ	Значение	Размерность
Гравитационная постоянная	γ или G	$6,67 \cdot 10^{-11}$	$\text{Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}$
Ускорение свободного падения на поверхности Земли	g_0	9,8	$\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$
Скорость света в вакууме	c	$3 \cdot 10^8$	$\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$
Постоянная Авогадро	N_A	$6,02 \cdot 10^{26}$	кмоль^{-1}
Универсальная газовая постоянная	R	$8,31 \cdot 10^3$	$\text{Дж} \cdot \text{кмоль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$
Постоянная Больцмана	k	$1,38 \cdot 10^{-23}$	$\text{Дж} \cdot \text{К}^{-1}$
Элементарный заряд	e	$1,6 \cdot 10^{-19}$	Кл
Масса электрона	m_e	$9,11 \cdot 10^{-31}$	кг
Постоянная Фарадея	F	$9,65 \cdot 10^4$	$\text{Кл} \cdot \text{моль}^{-1}$
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12}$	$\text{Ф} \cdot \text{м}^{-1}$
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$	$\text{Гн} \cdot \text{м}^{-1}$
Постоянная Планка	h	$6,62 \cdot 10^{-34}$	$\text{Дж} \cdot \text{с}$

ПРИСТАВКИ И МНОЖИТЕЛИ

для образования десятичных кратных и дольных единиц

Приставка	Символ	Множитель
дека-	да	10^1
гекто-	г	10^2
кило-	к	10^3
мега-	М	10^6
гига-	Г	10^9
тера-	Т	10^{12}

Приставка	Символ	Множитель
деци-	д	10^{-1}
санتي-	с	10^{-2}
милли-	м	10^{-3}
микро-	мк	10^{-6}
нано-	н	10^{-9}
пико-	п	10^{-12}