

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ»**

Кафедра физики
В.Д. Козлов, С.М. Новиков, А.Н. Разумовский

ФИЗИКА

ПОСОБИЕ
по выполнению лабораторной работы КМ-3
«Атом водорода»

*для студентов II курса
всех специальностей
всех форм обучения*

Москва-2011

ББК 53

К 59

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.К. Камзолов

Козлов В.Д., Новиков С.М., Разумовский А.Н.

К 59 Физика: Пособие по выполнению лабораторной работы КМ-3 «Атом водорода». - М.: МГТУ ГА, 2011. – 16 с.

Данное пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины ЕН.Ф.03 «Физика» для студентов 2 курса всех специальностей всех форм обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 29.03.10 г. и методического совета 20.04.10 г.

Редактор Е.А. Колотушкина

Подписано в печать 15.09.2010 г.

Печать офсетная

Формат 60x84/16

0,72 уч.-изд. л.

0,93 усл.печ.л.

Заказ № 1129/909

Тираж 100 экз.

Московский государственный технический университет ГА

125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д.20

Редакционно-издательский отдел

125493 Москва, ул. Пулковская, д.6а

© Московский государственный
технический университет ГА, 2011

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА КМ – 3 АТОМ ВОДОРОДА

1. Цель работы

Изучение квантовых закономерностей строения атома водорода, экспериментальное определение постоянной Ридберга, компьютерный расчет вероятности обнаружения электрона в заданной области атома водорода.

2. Подготовка к работе

Изучите теоретический материал по лекциям или учебнику [1, 2]: закономерности в спектре атома водорода, пси-функция и ее физический смысл, стационарное уравнение Шрёдингера для атома водорода, квантование энергии, квантовые числа, переходы между состояниями, правило отбора. Прочитайте также разделы 3 и 4 данного пособия. Ознакомьтесь с конструкцией лабораторного стенда, порядком проведения измерений и обработки их результатов по методическому описанию. Подготовьте проект отчета по лабораторной работе. Потренируйтесь отвечать на вопросы из раздела 7 данного описания.

3. Краткая теория

3.1. Закономерности спектра излучения атома водорода

Любой атом состоит из массивной положительно заряженной частицы, называемой ядром атома, и электронов, число которых таково, что их общий заряд по модулю равен заряду ядра. Поэтому атом является электронейтральным объектом. Для любого атома суммарная масса электронов в тысячи раз меньше массы его ядра, и поэтому с большой точностью можно сказать, что электроны движутся вокруг неподвижного ядра. Поведение любых атомов описывается законами квантовой механики, в первую очередь решением уравнения Шрёдингера для микрообъекта, находящегося в конкретных внешних условиях. Решением указанного уравнения для движения электрона в электрическом поле ядра, которым является протон, является волновая функция электрона $\Psi(\vec{r}, t)$, где \vec{r} – радиус-вектор электрона, t – время. Квадрат модуля волновой функции $|\Psi(\vec{r}, t)|^2$ определяет плотность вероятности обнаружения электрона в данный момент времени в данной точке пространства.

Решение уравнения Шрёдингера обнаруживает, что волновая функция электрона атома, помимо зависимости от \vec{r} и t , определяется также тремя целочисленными параметрами n, l, m , значения которых соподчинены следующим образом: $n = 1, 2, 3, \dots, \infty$, $l = 0, 1, 2, \dots, n-1$, $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$. Эти параметры называются *квантовыми числами*.

Это означает, что электрон в атоме может находиться только во вполне определенных состояниях, характеризующихся конкретными наборами указанных чисел для волновой функции: $\Psi_{n,l,m}(\vec{r}, t)$. Более того, анализ этой функции выявляет, что квадрат ее модуля не зависит от времени, то есть плотность веро-

ятности обнаружения электрона в каждой точке пространства постоянна (стационарна). Именно в этом смысле говорят, что электрон в атоме обладает дискретным (прерывным) набором возможных **стационарных квантовых состояний**. То есть он наблюдается (существует) только в каком-либо из этих состояний.

Квантовые числа электрона имеют вполне определенный физический смысл: они характеризуют возможные значения физических параметров, определяющих поведение электрона в атоме, следующим образом:

- n – **главное** квантовое число определяет энергию электрона в соответствии с формулой:

$$E_n = -\frac{k^2 m e^4}{2\hbar^2} \frac{1}{n^2},$$

где $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, ϵ_0 – электрическая постоянная, m – масса электрона, e –

заряд электрона, \hbar – постоянная Планка.

- l – **орбитальное** квантовое число определяет модуль момента импульса электрона в соответствии с формулой:

$$M = \hbar \sqrt{l(l+1)}.$$

- m – **магнитное** квантовое число определяет проекцию момента импульса электрона на физически выделенное направление z :

$$M_z = m\hbar.$$

Замечание: из экспериментальных фактов следует, что у электрона имеется собственный момент импульса – **спин**, проекция которого на физически выделенную ось M_{sz} определяется

формулой $M_{sz} = m_s \hbar$, где $m_s = \pm s$, $s = \frac{1}{2}$ – спиновое квантовое число. Поэтому состояние

электрона в атоме водорода характеризуется четырьмя квантовыми числами n , l , m , m_s .

В атомной физике принята система условных обозначений состояния электрона в атоме с различными значениями n и l : если $l = 0$, то состояние называется s-состоянием, если $l = 1$, то p-состоянием, если $l = 2$, то d-состоянием, если $l = 3$, то f-состоянием, если $l = 4$, то g-состоянием, и далее по алфавиту. Значение главного квантового числа n указывается цифрой перед обозначением числа l . Например, состояние электрона с $n = 4$ и $l = 2$ обозначается как 4d.

Сказанное удобно иллюстрирует приведенная на рис. 1 схема уровней энергии электрона атома водорода и значений l , соответствующих этим уровням.

Из выражения для возможных значений энергии электрона и непосредственно из рис. 1 видно, что наименьшее значение её соответствует числу $n = 1$. Квантовое состояние электрона с $n = 1$, и, соответственно с $l = 0$ и $m = 0$ называется **основным**, или **невозбужденным**. Чтобы электрон оказался в любом другом квантовом состоянии со значением $n_i > 1$, он должен получить энергию, величина которой равна разности энергий состояний с $n = 1$ и n_i . Эта энергия

называется **энергией возбуждения**, а квантовое состояние электрона со значением $n_i > 1$ называется **возбужденным**. Точно также обстоит дело с переходами из данного возбужденного состояния с n_i в более высокое возбужденное состояние с $n_j > n_i$.

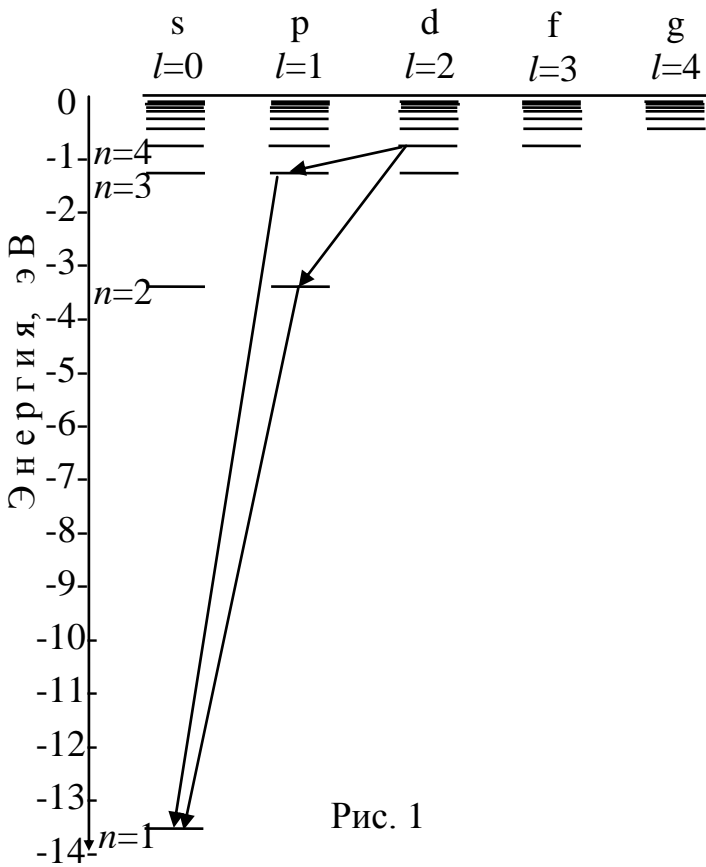


Рис. 1

Возбуждение электрона может происходить разными путями: при столкновениях атомов друг с другом, при облучении атома потоком микрочастиц, при длительном взаимодействии атома с другими частицами, с которыми он связан (в молекулах, жидкостях и твердых телах), при взаимодействии с электромагнитным излучением.

В последнем случае, как обнаруживает опыт, возбуждение электрона происходит единственным образом – поглощением только одного кванта электромагнитного поля, такого, энергия которого равна разности энергий электрона в состояниях с n_i и с $n_j > n_i$.

Как известно, энергия кванта электромагнитного поля (фотона) определяется формулой Планка $\varepsilon_\phi = h\nu$, где $h = 2\pi\hbar$ – постоянная Планка, ν – частота электромагнитного поля, а так как $\nu \cdot \lambda = c$, где λ – длина волны, c – скорость света, то $\varepsilon_\phi = \frac{hc}{\lambda}$.

Поэтому, используя выражение для энергии электрона, в соответствии с законом сохранения энергии акт возбуждения электрона можно записать так

$$-\frac{k^2 m e^4}{2\hbar^2} \cdot \frac{1}{n_i^2} + \varepsilon_\phi = -\frac{k^2 m e^4}{2\hbar^2} \cdot \frac{1}{n_j^2},$$

$$\varepsilon_\phi = \frac{hc}{\lambda_{ij}} = \frac{k^2 m e^4}{2\hbar^2} \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_j^2} \right).$$

Здесь λ_{ij} – длина волны фотона, соответствующая данной энергии возбуждения. Из предыдущей формулы следует, что

$$\frac{1}{\lambda_{ij}} = \frac{k^2 m e^4}{4\pi\hbar^3 c} \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_j^2} \right).$$

Комбинация констант $\frac{k^2 m e^4}{4\pi\hbar^3 c}$ называется постоянной Ридберга и обозначается буквой R :

$$R = \frac{k^2 m e^4}{4\pi\hbar^3 c}.$$

Используя это, получаем следующее выражение

$$\frac{1}{\lambda_{ij}} = R \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_j^2} \right). \quad (1)$$

Именно так, на основе квантовых представлений об электромагнитном поле и поведении электрона в атоме водорода количественно объясняется дискретный набор поглощаемых электроном длин волн (линейчатый спектр поглощения).

В основном состоянии ($n = 1$) электрон атома существует неограниченно долго. В возбужденных же состояниях, как показывает квантовая теория, электрон находится ограниченное время (для атома водорода $\sim 10^{-8}$ с), после чего самопроизвольно (спонтанно) теряет энергию возбуждения частично или полностью, переходя на более низкий уровень энергии. Каждый такой переход происходит точно так же, как и возбуждение электрона – с испусканием только одного фотона с энергией, равной разности энергий исходного и конечного состояний электрона. То есть спектр испускания фотонов возбужденным электроном совпадает со спектром поглощения фотонов и определяется формулой (1).

Все возможные переходы электрона из возбужденных состояний классифицируются с помощью формулы (1) следующим образом:

1) Переходы в основное состояние ($n_i = 1$)

$$\frac{1}{\lambda_{1j}} = R \left(\frac{1}{1} - \frac{1}{n_j^2} \right), \text{ где } n_j = 2, 3, 4, \dots$$

Этой группе переходов соответствует серия линий в спектре излучения водорода, называемая *серией Лаймана*. Она находится в ультрафиолетовой части спектра волн.

2) Переходы в состояние ($n_i = 2$)

$$\frac{1}{\lambda_{2j}} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n_j^2} \right), \text{ где } n_j = 3, 4, 5, \dots$$

Эта группа переходов образует *серию Бальмера*. Она лежит в видимой части спектра длин волн.

3) Переходы в состояние ($n_i = 3$)

$$\frac{1}{\lambda_{3j}} = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n_j^2} \right), \text{ где } n_j = 4, 5, 6 \dots$$

Эта группа переходов называется *серией Пашена*. Она лежит в инфракрасной части спектра волн.

Далее следуют серии Брэкетта ($n_i = 4$) и Пфунда ($n_i = 5$). То, что описано, можно проиллюстрировать качественно рисунком 2.

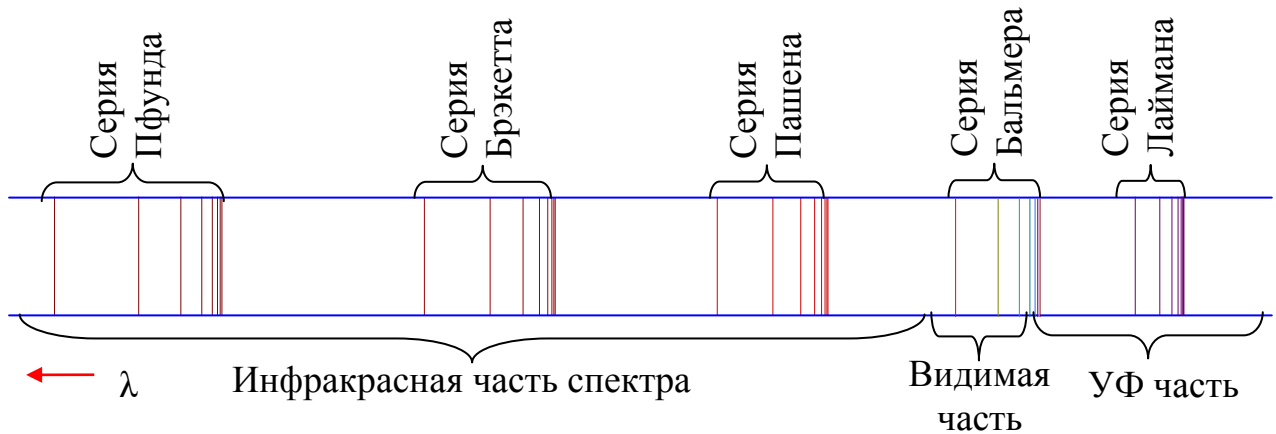


Рис. 2

Всё рассмотренное выше относится к излучению газообразного атомарного водорода, то есть к случаю, когда возбужденные атомы водорода не взаимодействуют друг с другом.

Поскольку фотон обладает собственным моментом импульса, то при анализе возможности перехода электрона в более низкое по энергии состояние следует, кроме закона сохранения энергии, учитывать и закон сохранения момента импульса, так как движущийся электрон обладает моментом импульса. Результат учета закона сохранения момента импульса выражается так называемым *правилом отбора*: возможны только те переходы, для которых выполняется условие $\Delta l = \pm 1$, где Δl – изменение орбитального квантового числа. На рис. 1 в качестве примера указаны возможные переходы из состояния 4d в состояние 1s: $4d \rightarrow 3p$, $3p \rightarrow 1s$ или $4d \rightarrow 2p$, $2p \rightarrow 1s$. Непосредственный переход из 4d сразу в 1s запрещен правилом отбора.

3.2. Пространственное распределение плотности вероятности нахождения электрона в атоме водорода

Вид пси-функции электрона в атоме водорода $\psi_{n,l,m}(r,\theta,\varphi)$ сложно зависит от координат, и только для s – состояний она имеет сферическую симметрию, т.е. не зависит от координат θ и φ . Например, для 1s, 2s и 3s состояний:

$$\begin{aligned}\psi_{1,0,0} &= A_{1,0,0} \cdot e^{-\frac{r}{a}}, \\ \psi_{2,0,0} &= A_{2,0,0} \cdot \left(1 - \frac{r}{2a}\right) e^{-\frac{r}{2a}}, \\ \psi_{3,0,0} &= A_{3,0,0} \cdot \left(1 - \frac{2r}{3a} + \frac{2r^2}{27a^2}\right) e^{-\frac{r}{3a}}.\end{aligned}\quad (2)$$

Входящий в эти формулы параметр $a = \frac{\hbar^2}{kme^2} \approx 0,5 \cdot 10^{-10}$ м совпадает с величиной радиуса первой орбиты электрона в теории Бора – Резерфорда. Постоянные $A_{n,0,0}$ определяются из условия нормировки функции плотности вероятности обнаружения электрона:

$$\int_V \psi_{n,l,m}^2 dV = 1,$$

где интегрирование ведется по всему объему V существования электрона. При условии сферической симметрии пси-функции s – состояний эту формулу удобно представить в виде

$$\int_0^\infty \psi_{n,0,0}^2 4\pi r^2 dr = 1.$$

В этой формуле подынтегральная функция имеет смысл плотности вероятности обнаружения электрона на расстоянии r от ядра $\phi(r) = \psi_{n,0,0}^2 4\pi r^2$.

Для упрощения расчета этого интеграла полезно сделать замену переменной в формулах (2). Для этого введем переменную, имеющую смысл относительного расстояния от ядра $\rho = \frac{r}{a}$. Тогда условие нормировки примет вид

$$\int_0^\infty \psi_{n,0,0}^2(\rho) 4\pi a^3 \rho^2 d\rho = 1 \quad \text{или} \quad \int_0^\infty w(\rho) d\rho = 1, \quad (3)$$

$$\text{где } w(\rho) = \psi_{n,0,0}^2(\rho) 4\pi a^3 \rho^2 \quad (4)$$

– плотность вероятности обнаружения электрона на относительном расстоянии ρ от ядра.

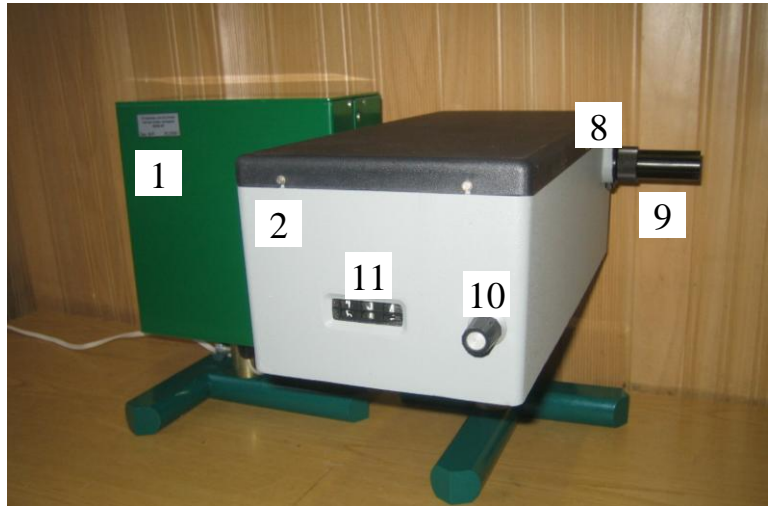
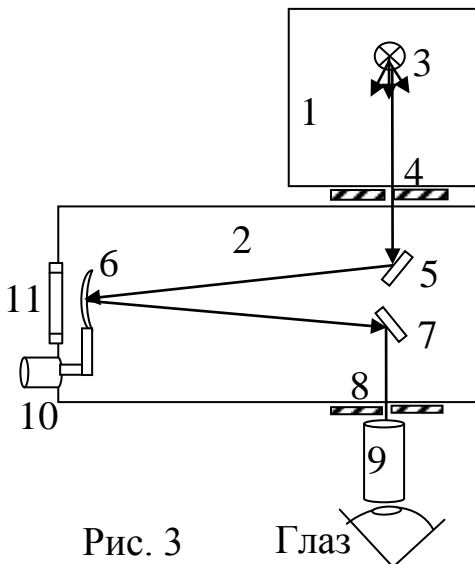
Расчет вероятности обнаружения электрона в сферическом слое с внутренним относительным радиусом ρ_1 и внешним относительным радиусом ρ_2 сводится к аналогичному интегрированию, но по другим пределам

$$W = \int_{\rho_1}^{\rho_2} w(\rho) d\rho. \quad (5)$$

4. Методика проведения эксперимента и описание установки

4.1. Описание лабораторного стенда

Устройство лабораторного стенда показано на рис. 3 и 4. Он состоит из излучателя 1 и измерительного устройства 2 (монокроматора). Излучение от водородной лампы 3 через входную щель 4 падает в виде узкого луча на зеркало 5 и после отражения попадает на вогнутую дифракционную решетку 6, которая выполняет роль фокусирующего и дифрагирующего элемента. Дифрагированное решеткой излучение отражается от зеркала 7, проходит через выходную щель 8 и наблюдается в виде узких светящихся линий с помощью окуляра 9. Сканирование спектра осуществляется поворотом решетки при вращении ручки измерения длин волн 10. Для измерения длины волны необходимо установить соответствующую линию спектра в центре поля наблюдения окуляра 9 монокроматора и по шкале 11 сделать отсчет (в нм).



4.2. Исследование пространственного распределения плотности вероятности нахождения электрона в атоме водорода

В работе изучение пространственного распределения электрона в атоме водорода в состояниях $2s$ или $3s$ осуществляется с помощью математической программы MathCAD 14. С ее помощью определяется нормирующий множитель $A_{n,0,0}$ в формулах (2). Для этого в формулу (3) подставляется квадрат пси-функции, соответствующей варианту задания, а постоянный множитель $4\pi a^3 A_{n,0,0}^2$ выносится за знак интеграла. Вычисление полученного интеграла без постоянного множителя в программе MathCAD дает ответ в виде цифры. Например, для состояния $1s$ эта цифра равна 0,25. Тогда

$$A_{1,0,0} = \frac{1}{\sqrt{4\pi a^3 \cdot 0,25}} = \frac{1}{\sqrt{\pi a^3}}. \quad (6)$$

Это значение подставляется в формулу (4) для плотности вероятности обнаружения электрона $w(\rho)$ на относительном расстоянии ρ от ядра. При этом πa^3 сокращается. Например, для состояния 1s получится

$$w(\rho) = A_{1,0,0}^2 e^{-2\rho} 4\pi a^3 \rho^2 = 4e^{-2\rho} \rho^2. \quad (7)$$

Для визуального анализа строится график этой функции и рассчитывается вероятность обнаружения электрона в заданной области.

5. Порядок выполнения работы

5.1. Определение постоянной Ридберга

5.1.1. **Внимание!** В схеме установки имеется опасное для жизни напряжение до 1000 В, поэтому при эксплуатации необходимо строго соблюдать соответствующие меры предосторожности. Подключение установки к электрической сети и регулировку элементов спектроскопа осуществляет лаборант непосредственно перед началом измерений. После включения дайте прогреться установке 1-2 мин. Водородная лампа имеет малый ресурс работы. Поэтому ее необходимо выключить сразу после окончания эксперимента.

5.1.2. С помощью ручки измерения длин волн 10 (рис. 3 и 4) установите начальное показание шкалы 11 в 700 нм. Вращая ручку в сторону уменьшения показаний шкалы, добейтесь совмещения с центром поля наблюдения спектральной линии серии Бальмера, соответствующей значению квантового числа $n_2 = 3$ (красная линия). Измеренное по шкале 11 значение длины волны этой линии λ_1 запишите в таблицу 1.

Таблица 1

	$\lambda_{i, \text{теор}},$ нм	$\lambda_i,$ нм	$\lambda'_i,$ нм	$\lambda_{\text{иср}},$ нм	$x_i = \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n_i^2}$	$y_i = \frac{1}{\lambda_i}$
$n_2 = 3$						
$n_2 = 4$						
$n_2 = 5$						
$n_2 = 6$						

5.1.3. Продолжая вращать ручку 10 в сторону уменьшения показаний шкалы, произведите аналогичные замеры для других видимых линий серии Бальмера ($n_2 = 4$ и $n_2 = 5$). Вращение ручки 10 нужно прекратить при показании шкалы в 400 нм. Измеренные значения длин волн спектральных линий λ_i запишите в таблицу 1.

5.1.4. Вращая ручку в обратную сторону от 400 нм до 700 нм, проведите дублирующие измерения длин волн спектральных линий. Полученные по шкале значения λ'_i запишите в таблицу 1.

5.1.5. **Внимание!** После окончания измерений **немедленно выключите водородную лампу** с помощью выключателя на передней поверхности излучателя.

5.2. Исследование пространственного распределения плотности вероятности нахождения электрона в атоме водорода

5.2.1. Выберите по таблице 2 вариант задания вашей бригады. Запишите в правой графе первой строки таблицы 3 лабораторного журнала одну из формул (2) для $\psi_{n,0,0}$, соответствующую заданию вашей бригады.

Таблица 2

Номера бригад	Исследуемое состояние	Диапазон относительного расстояния ρ от ядра для определения вероятности обнаружения электрона
1 и 5	2s	От 2 до 10
2 и 6	3s	От 7 до 20
3 и 7	2s	От 0 до 2
4 и 8	3s	От 2 до 7

Таблица 3

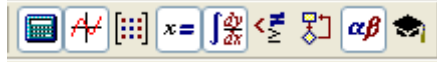
$\psi_{n,0,0}$	
$\int_0^{\infty} \psi_{n,0,0}^2(\rho) 4\pi a^3 \rho^2 d\rho = 1$	
$A_{n,0,0}$	
$w(\rho) = \psi_{n,0,0}^2(\rho) 4\pi a^3 \rho^2$	
W	

5.2.2. Запишите в правой графе второй строки таблицы 3 формулу (3), с учетом формулы (2) вашего варианта задания для $\psi_{n,0,0}(\rho)$. Произведите в ней замену

переменной $\rho = \frac{r}{a}$. Постоянную $4\pi a^3 A_{n,0,0}^2$ вынесите за знак интеграла.

5.2.3. Включите компьютер, откройте папку «Обработка результатов ЛР», расположенную на рабочем столе лабораторного компьютера, и запустите файл

«ЛР КМ - 3.xmcd» На экране появится пример расчета для состояния 1s (приложение 1). Выведите на экран панель с кнопками палитр математических знаков (если они отсутствуют): **Вид, Панели инструментов, Математика** (View, Toolbars, Math). Активируйте пять кнопок: арифметических операторов, построения графиков, операторов отношения, операций высшей математики и греческие буквы (светлые кнопки на приведенной ниже панели).



5.2.4. Для заданного по таблице вариантов состояния рассчитайте нормирующий множитель $A_{n,0,0}$. Предварительно рассчитайте полученный в п. 5.2.2 интеграл (без постоянного множителя). Для этого замените подынтегральную функцию в приведенном примере на функцию своего варианта. Появится результат интегрирования в виде числа. Если обозначить его как b , то выражение для нормирующего множителя принимает вид

$$A_{n,0,0} = \frac{1}{\sqrt{4\pi a^3 b}}.$$

Запишите этот результат и формулу для плотности вероятности $w(\rho)$ в таблицу 3 (аналогично формуле (7), но не забудьте сократить πa^3).

5.2.5. Рассчитайте вероятность W обнаружения электрона в заданной по таблице 2 сферической области. Для этого замените функцию в выражении для $w(\rho)$ на полученную в п. 5.2.4. Запишите полученное значение в таблицу 3.

5.2.6. Срисуйте с экрана монитора график функции плотности вероятности $w(\rho)$. Обратите особое внимание на положение максимумов и минимумов. Сравните их с заданными пределами интегрирования.

Замечание: координаты максимумов легко определить, если щелкнуть правой клавишей мышки по области графика, в появившейся панели инструментов выбрать «Trace» (трассировка), появится окно «X-Y trace», в котором нужно пометить галочкой кнопку «track data points». После щелчка левой кнопкой мышки по выбранной точке на линии графика в окнах X-Value и Y-Value появляются координаты этой точки графика.

5.2.7. **Внимание!** Закрывая файл, откажитесь от его сохранения.

6. Обработка результатов измерений и оформление отчёта

6.1. В условиях эксперимента водород в лампе находится в атомарном и частично в молекулярном виде. Поэтому в процессе измерений длин волн возможно наблюдение кроме спектральных линий атомарного водорода линий молекулярного спектра водорода с незначительной яркостью. Для их исключения из рассмотрения рассчитайте по формуле (1) для серии Бальмера теоретические значения длин волн первых четырех линий $\lambda_{i, \text{теор}}$. Запишите их в таблицу 1. Сравните полученные в эксперименте значения с теоретическими. При необходимости исключите из рассмотрения линии молекулярного спектра водорода.

6.2. По данным таблицы 1 рассчитайте средние значения длины волны $\lambda_{\text{иср}}$ по каждой паре измерений. Данные запишите в таблицу 1.

6.3. Формулу (1) для серии Бальмера можно записать в виде уравнения прямой линии $y = ax$, где $y_i = \frac{1}{\lambda_i}$, $a = R$, $x_i = \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n_i^2}$. Поэтому, для последующей об-

работки результатов рассчитайте величины $y_i = \frac{1}{\lambda_i}$ и $x_i = \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n_i^2}$. Результаты расчетов запишите в таблицу 1.

6.4. По экспериментальным точкам постройте график зависимости $y_i = \frac{1}{\lambda_i}$ от

$x_i = \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n_i^2}$. Определите по угловому коэффициенту полученной прямой по-

стоянную Ридберга $R_{\text{гр}} = a = \frac{\Delta y}{\Delta x}$. Результат запишите в таблицу 4.

Таблица 4

Графический метод	Метод наименьших квадратов	Табличное значение постоянной Ридберга
$R_{\text{гр}} = \dots \text{ м}^{-1}$	$R = \dots \pm \dots \text{ м}^{-1}$	$R_{\text{табл}} = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$

6.5. Рассчитайте результаты эксперимента методом наименьших квадратов на компьютере, используя программу Microsoft Excel. Для этого необходимо открыть папку «Обработка результатов ЛР», расположенную на рабочем столе лабораторного компьютера, и открыть файл «Расчет $y = ax$ МНК.xls». Затем руководствуйтесь приведенными в файле пояснениями.

6.6. Запишите результат расчетов в таблицу 4 в стандартной форме $R \pm \Delta R$. Так как $R = a$, то $\sigma_R = \sigma_a$. В качестве погрешности определения величины R примите $\Delta R = 2\sigma_a$. Сравните график на экране компьютера с построенным в п. 6.4.

6.7. По полученным результатам работы сделайте выводы. Сравните экспериментальное и табличное значение постоянной Ридберга, опишите график функции плотности вероятности обнаружения электрона $w(\rho)$ для своего варианта.

Вопросы для самоконтроля

1. Каков принцип работы монохроматора?
2. Какое физическое явление используется в работе для разложения излучения лампы в спектр?
3. С помощью рис. 1 поясните образование спектральных серий в излучении атома водорода.
4. Как описывается состояние электрона в квантовой теории атома водорода?
5. Каков физический смысл пси-функции?
6. Какую физическую величину определяет главное квантовое число?
7. Какую физическую величину определяет орбитальное квантовое число?
8. Какую физическую величину определяет магнитное квантовое число?
9. Поясните правило отбора.
10. Приведите примеры разрешенных и запрещенных переходов (по рис. 1).

Литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Кн. I. - М.: Наука (или другие издательства), 2009 (и раньше).
2. Трофимова Т.И. Курс физики. - М.: Высшая школа (или другие издательства), 2008 (и раньше).

Приложение 1

ЛР КМ-3, часть 2

Исследование пространственного
распределения электрона в атоме водорода

$$\Psi_{1,0,0} := A_{1,0,0} e^{-\rho}$$

$$\Psi_{2,0,0} := A_{2,0,0} \left(1 - \frac{\rho}{2}\right) \cdot e^{-\frac{\rho}{2}}$$

$$\Psi_{3,0,0} := A_{3,0,0} \left(1 - 2\frac{\rho}{3} + 2\frac{\rho^2}{27}\right) \cdot e^{-\frac{\rho}{3}}$$

$$w(\rho) = \Psi_{n,0,0}^2(\rho) 4\pi a^3 \rho^2$$

Ниже приведен пример расчета для состояния 1s. Для расчета задания своего варианта замените формулы вычислений на формулы и пределы интегрирования своего варианта. Для этого скопируйте скобку с экспонентой из вышеприведенной формулы своего варианта и замените ей экспоненту в подынтегральной функции приведенного примера. Не забудьте возвести их в квадрат и дополнить необходимыми коэффициентами. Аналогично замените функцию в выражении для $w(\rho)$. В интеграле для расчета вероятности замените только пределы интегрирования.

(закрывая файл, откажитесь от сохранения)

Для состояния 1s

$$A_{1,0,0} = \frac{1}{\sqrt{4\pi a^3 \int_0^{\infty} \rho^2 e^{-2\rho} d\rho}}$$

$$\int_0^{\infty} e^{-2\rho} \rho^2 d\rho = 0.25$$

Замечание: оператор присваивания := вводится своим первым символом – двоеточием (:).

$$w(\rho) := e^{-2\rho} 4\rho^2 \quad \int_{0.5}^{1.5} w(\rho) d\rho = 0.497$$

