

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Техническая физика»

ИЗУЧЕНИЕ СЕРИАЛЬНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ

В СПЕКТРЕ АТОМА ВОДОРОДА

Методические указания к лабораторной работе
для студентов инженерно-технических специальностей

Минск ◊ БНТУ ◊ 2012

УДК 530.145.075.

Авторы:

Н.Н.Митькина

О.А.Роеенкова

Л.Е.Сандригайло

Рецензенты:

Ю.В.Развин, доцент кафедры «Теоретическая и экспериментальная физика»

кандидат физ.-мат. наук

В.С.Ермаченко, зав. отделом плазменных аэрокосмических технологий ИТМО

НАН Беларуси

В методических указаниях рассмотрены основные положения квантовой механики, приведены квантовомеханическая модель атома водорода, принцип Паули, правила отбора, сериальные закономерности в спектре водорода. Изложена методика экспериментального определения длин волн серии Бальмера в спектре атома водорода

Белорусский национальный технический университет

Пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь

Тел. (017) 292-77-52 факс (017) 292-91-37

Регистрационный № БНТУ/ФИТР47-75.2012

© БНТУ, 2012

© Митькина Н. Н., Роеенкова О.А., 2012

© Сандригайло Л.Е., 2012

Содержание

Введение.....	4
1. Атом водорода в квантовой механике.....	4
2. Квантовые числа. Принцип Паули.....	9
3. Спектр атома водорода.....	11
4. Экспериментальная часть.....	16
4.1. Принцип действия универсального монохроматора УМ-2	16
4.2 Порядок выполнения работы.....	18
4.3. Градуировка монохроматора.....	18
4.4. Измерение длин волн спектральных линий в спектре атома водорода.....	19
5. Вопросы к зачету.....	21
6. Литература.....	22

Введение

Бурное развитие инновационных технологий, имеющее место в настоящее время, в ряде случаев основано на знании свойств наноструктур, к числу которых относятся микрочастицы и их объединения. На их базе развиваются современные нанотехнологии, интерес к которым особенно велик.

Свойства микрочастиц изучает квантовая механика, законы которой позволяют выяснять строение атомов, атомных ядер, элементарных частиц и структур, из них состоящих, и тем самым определить понимание ряда макроскопических явлений.

Квантовая механика, например, позволила объяснить температурную зависимость теплоемкости газов и твердых тел, объяснить такие явления, как сверхпроводимость, сверхтекучесть, ферромагнетизм и др. Квантовые законы позволяют выяснить механизм протекания процессов в астрофизических объектах, лежат в основе работы ядерных реакторов, проявляются в ряде явлений в металлах и полупроводниках и составляют фундамент квантовой электроники.

Законы квантовой механики используются также при целенаправленном поиске и создании новых материалов.

Таким образом, квантовая механика стала в значительной мере «инженерной» наукой, знание которой необходимо не только физикам, но и выпускникам технических вузов.

В настоящей работе приведены основные положения квантовой механики, в рамках которой изложена теория атома водорода и найдены серийные закономерности в спектре его излучения. Приведена методика экспериментального определения длин волн излучения в видимой области спектра.

1. Атом водорода в квантовой механике

Спектр излучения - это совокупность длин волн (частот), испускаемых веществом. Спектры бывают трех видов: линейчатый, полосатый и сплош-

ной. Линейчатый спектр состоит из узких спектральных линий. Такой спектр имеют атомарные газы при низком давлении, когда взаимодействием между атомами можно пренебречь. Фактически это спектр излучения отдельного атома. Самым изученным является спектр излучения атома водорода.

Эмпирически была установлена т. н. обобщенная формула Бальмера, определяющая длины волн (частоты) излучения всех линий спектра атома водорода:

$$\frac{1}{\lambda_{nk}} = R \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (1)$$

Где $R = 1,10 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$ – постоянная Ридберга; k, n – целые числа.

В спектре атома водорода очень много спектральных линий, поэтому они были разделены на серии, в каждой из которых число k имеет постоянное значение $k=1, 2, 3, 4, 5$ и определяет серию; n принимает различные значения, начиная с $k+1$, и определяет отдельные линии этой серии.

Формула (1), позволяющая рассчитывать длины волн спектральных линий всех серий атома водорода, установленная во второй половине 19 века, долгое время не имела теоретического обоснования.

Первая попытка построения неклассической теории атома водорода принадлежит Бору. Однако его теория позволяет рассчитать длины волн спектральных линий только атома водорода и не применима для описания спектров всех других атомов. Наиболее полное описание свойств излучающих частиц дает квантовая механика.

Квантовая механика – это раздел физики, который изучает способы описания и законы движения микрочастиц. К микрочастицам относятся элементарные частицы (электроны, протоны, нейтроны и другие простые частицы) и их соединения (атомы, молекулы, ядра и др.). Основным уравнением квантовой механики является уравнение Шредингера. Для состояний микрочас-

тиц, движущихся с малыми скоростями ($v \ll c$), в силовом поле, не зависящем от времени, применимо стационарное уравнение Шредингера, имеющее вид:

$$\Delta\psi(x, y, z) + \frac{2m}{\hbar^2} \cdot (E - U) \cdot \psi(x, y, z) = 0 \quad (2)$$

где Δ – оператор Лапласа; E , U -соответственно полная и потенциальная энергии частицы, m - ее масса, $\hbar = \frac{h}{2\pi}$, h - постоянная Планка.

Для электрона, движущегося вокруг неподвижного ядра с зарядом $+Z \cdot e$, потенциальная энергия равна:

$$U = -\frac{Z \cdot e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (3)$$

где r - расстояние электрона до ядра

Строгое решение уравнения Шредингера (2) в стационарном поле с потенциальной энергией (3), для атома водорода ($Z=1$) и водородоподобных ионов ($Z=1$) возможно только в сферической системе координат- r, θ, φ .

В уравнении (2) ψ - волновая функция, которая является основным носителем информации по состояниям микрочастиц, и удовлетворяет ряду свойств. $\psi = \psi(r, \theta, \varphi)$ является конечной, непрерывной и однозначной. Кроме того, она удовлетворяет условию нормировки

$$\int_V \psi \cdot \psi^* dV = 1 \quad (4)$$

Для нормированной волновой функции, удовлетворяющей уравнению (4), выражение

$$dP = \psi \cdot \psi^* dV = |\psi|^2 \cdot dV \quad (5)$$

определяет вероятность нахождения микрочастицы в пределах объема dV .

Следовательно, квадрат пси-функции определяет плотность вероятности

$\frac{dP}{dV}$, т.е. вероятность нахождения микрочастицы в единичном объеме в ок-

рестности точки с координатами r, θ, φ . Здесь $\psi^*(r, \theta, \varphi)$ - функция, комплексно сопряженная с $\psi(r, \theta, \varphi)$.

Таким образом, из свойств волновой функции вытекает, что квантовая механика имеет статистический характер. Она устанавливает лишь вероятность обнаружения микрочастицы в различных точках пространства и не определяет траекторию ее движения.

Решение уравнения Шредингера (2) для атомной системы, состоящей из неподвижного ядра и вращающегося вокруг него электрона, является весьма трудоемким процессом. По этой причине можно ограничиться рассмотрением важнейших результатов, которые следуют из его решения, пояснив их физический смысл. Уравнение (2) имеет решения, удовлетворяющие требованиям однозначности, конечности и непрерывности волновой функции электрона, связанного с ядром, только при значениях энергии:

$$E_n = -\frac{Z \cdot e^2}{n^2} \cdot \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \quad (6)$$

где $n = 1, 2, 3 \dots$

Из (6) следует, что энергия электрона в атоме отрицательна по знаку и дискретна по набору значений. Каждому значению энергии E_n соответствуют волновые функции $\psi(r, \theta, \varphi)$, которые распадаются на два множителя, один из которых зависит только от r , а другой – только от углов θ и φ .

$$\psi(r, \theta, \varphi) = \psi_{nlm}(r, \theta, \varphi) = R_{nl}(r) \cdot Y_{lm}(\theta, \varphi) \quad (7)$$

где n, l, m - целочисленные параметры. Первый множитель $R_{nl}(r)$ вещественный, а второй $Y_{lm}(\theta, \varphi)$ комплексный. Оба множителя находятся в весьма сложной зависимости от переменных r, θ, φ и параметров n, l, m .

Как следует из (5) и (7), величина dP зависит не только от удаленности электрона от ядра, но и пространственного расположения dV , т.е. от углов θ и φ . Как правило, с ростом n возрастает вероятность обнаружения электро-

на на больших расстояниях от ядра, с ростом l и m усложняется характер распределения вероятности. Угловая зависимость плотности вероятности представлена на рис. 1.

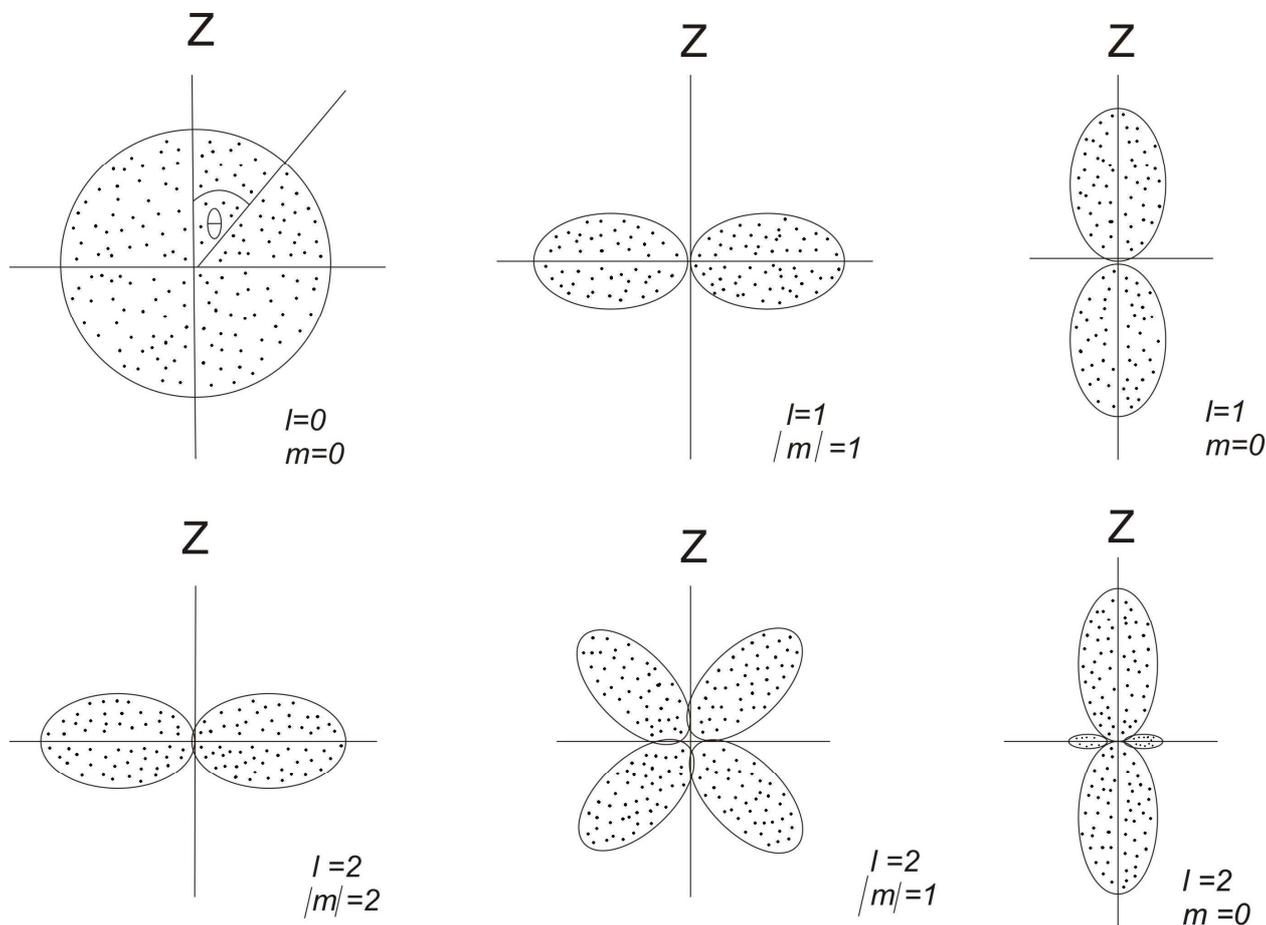


Рис. 1.

Угловая зависимость плотности вероятности обнаружения электрона.

Таким образом, в квантовой механике вероятность обнаружения электрона в различных частях атома различна. Электрон как бы «размазан» по всему объему, образуя электронное облако, густота которого характеризует вероятность нахождения электрона в различных точках объема атома. В такой ситуации понятие орбиты электрона теряет всякий смысл.

2. Квантовые числа. Принцип Паули

Параметры n, l, m , определяющие энергию и волновые функции электрона в атоме, называются квантовыми числами.

Главное квантовое число n определяет в соответствии с (6) энергию электрона в атоме и принимает значения

$$n = 1, 2, 3, \dots \quad (8)$$

Из решения уравнения Шредингера вытекает, что момент импульса (механический момент) электрона L не может быть произвольным и тоже принимает дискретные значения, определяемые формулой

$$L = \hbar \sqrt{l(l+1)} \quad (9)$$

где l - орбитальное квантовое число, которое при заданном n принимает значения

$$l = 0, 1, 2, \dots (n-1) \quad (10)$$

Число l принимает всего n значений.

Из решения Шредингера следует также, что вектор L момента импульса электрона имеет только такие ориентации в пространстве, при которых его проекция L_z на направление внешнего поля в пространстве принимает значения, кратные \hbar ;

$$L_z = m \cdot \hbar \quad (11)$$

где m - магнитное квантовое, которое при заданном l принимает значения

$$m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \pm l \quad (12)$$

всего $(2l + 1)$ значение.

Таким образом, орбитальное квантовое число l и магнитное квантовое число m определяют соответственно момент импульса электрона в атоме и его проекцию на заданное направление.

Из (10) и (12) следует, что одному значению энергии, кроме E_1 , соответствует несколько волновых функций, отличающихся значениями l и m , а

следовательно, и несколько различных состояний атома. Число различных состояний, соответствующих заданному значению энергии, определяемой главным квантовым числом n , равно:

$$\sum_{l=0}^{(n-1)} (2l + 1) = n^2 \quad (13)$$

Величина, заданная формулой (13), называется кратностью вырождения соответствующего энергетического уровня.

В процессе объяснения мультиплетности спектральных линий (расщепления на несколько близко расположенных компонент) было установлено, что электрон обладает собственным неуничтожимым механическим моментом импульса, не связанным с движением электрона в пространстве, - спином. Спин электрона – это внутреннее неотъемлемое свойство электрона, подобное его заряду и массе. Согласно общим положениям квантовой механики спин квантуется по закону:

$$L_s = \hbar \sqrt{s(s + 1)} \quad (14)$$

Где $s = 1/2$ - спиновое квантовое число.

Проекция спина на направление внешнего поля определяется выражением, аналогичным (11):

$$L_{sz} = \hbar \cdot m_s \quad (15)$$

где m_s - магнитное спиновое число, принимающее только два значения

$$m_s = \pm \frac{1}{2}.$$

Таким образом, состояние электрона в атоме водорода ($Z=1$) и водородоподобных ионов ($Z>1$) определяется набором четырех квантовых чисел - главного n , орбитального l , магнитного m и магнитного спинового m_s . С введением m_s кратность вырождения энергетических уровней в атоме во-

дорода удваивается и становится раной $2n^2$. Такие же квантовые числа применяются для описания электронов в многоэлектронном атоме.

Для любой системы электронов, как следует из квантовой механики, применим принцип Паули. Одна из простейших формулировок этого принципа такова: в одном и том же атоме не может быть более одного электрона с одинаковым набором квантовых чисел n, l, m, m_s .

$$Z(n, l, m, m_s) = 0 \text{ или } 1 \quad (16)$$

где $Z(n, l, m, m_s)$ - число электронов с набором квантовых чисел

n, l, m, m_s . Иначе, в одном атоме любые два электрона различаются значениями по крайней мере одного квантового числа.

3. Спектр атома водорода

Энергия атома водорода, как следует из (6), определяется только главным квантовым числом n . Самый нижний уровень энергии E_1 , соответствующий $n=1$, отвечает минимально возможной энергии атома и называется основным. Все остальные уровни энергии E_n ($E_n > E_1, n=2,3,..$) называются возбужденными. Схема энергетических уровней атома водорода с графиком зависимости потенциальной энергии $U(r)$ от расстояния до ядра приведена на рис. 2. При отрицательных значениях энергии ($E < 0$) движение электрона является связанным. По мере роста главного квантового числа n уровни располагаются теснее и при $n \rightarrow \infty$ $E_\infty = 0$.

При положительных значениях энергии движение электрона является свободным, область непрерывного спектра $E > 0$ (на рис. 2 заштрихована) соответствует ионизованному атому. Энергия ионизации атома водорода

$$E_i = -E_1 = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2} = 13,55 \text{ эВ} \quad (17)$$

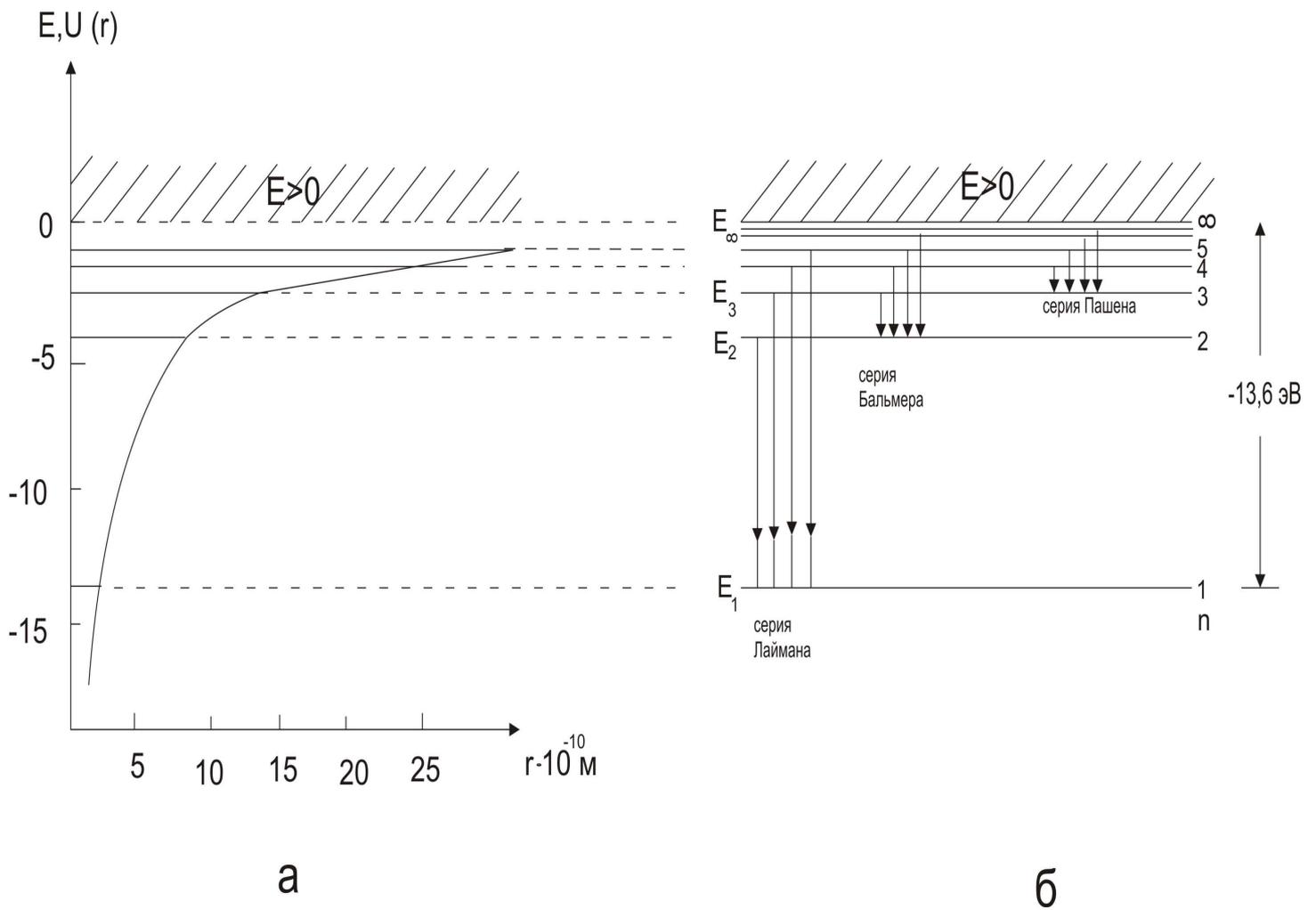


Рис. 2.

Схема энергетических уровней атома водорода (рис. 2а) и переходов между ними (рис. 2б). [E] - эВ.

Заданному значению энергии, кроме E_1 , соответствует несколько различных состояний атома, отличающимися значениями квантовых чисел l и m . Условно значения с $l = 0, 1, 2, \dots$ обозначаются латинскими буквами s, p, d, f, ... Значение главного квантового числа указывается цифрой перед обозначением орбитального квантового числа. Например, электроны в состоянии $n = 1$ и $l = 0$ обозначаются 1s, в состоянии $n = 2$ и $l = 0, 1$ - соответственно 2s и 2p; с $n = 3$ - 3s, 3p, 3d и т. д.

С учетом различных значений квантовых чисел n и l общепринятой является схема изображения энергетических уровней, приведенная на рис. 3.

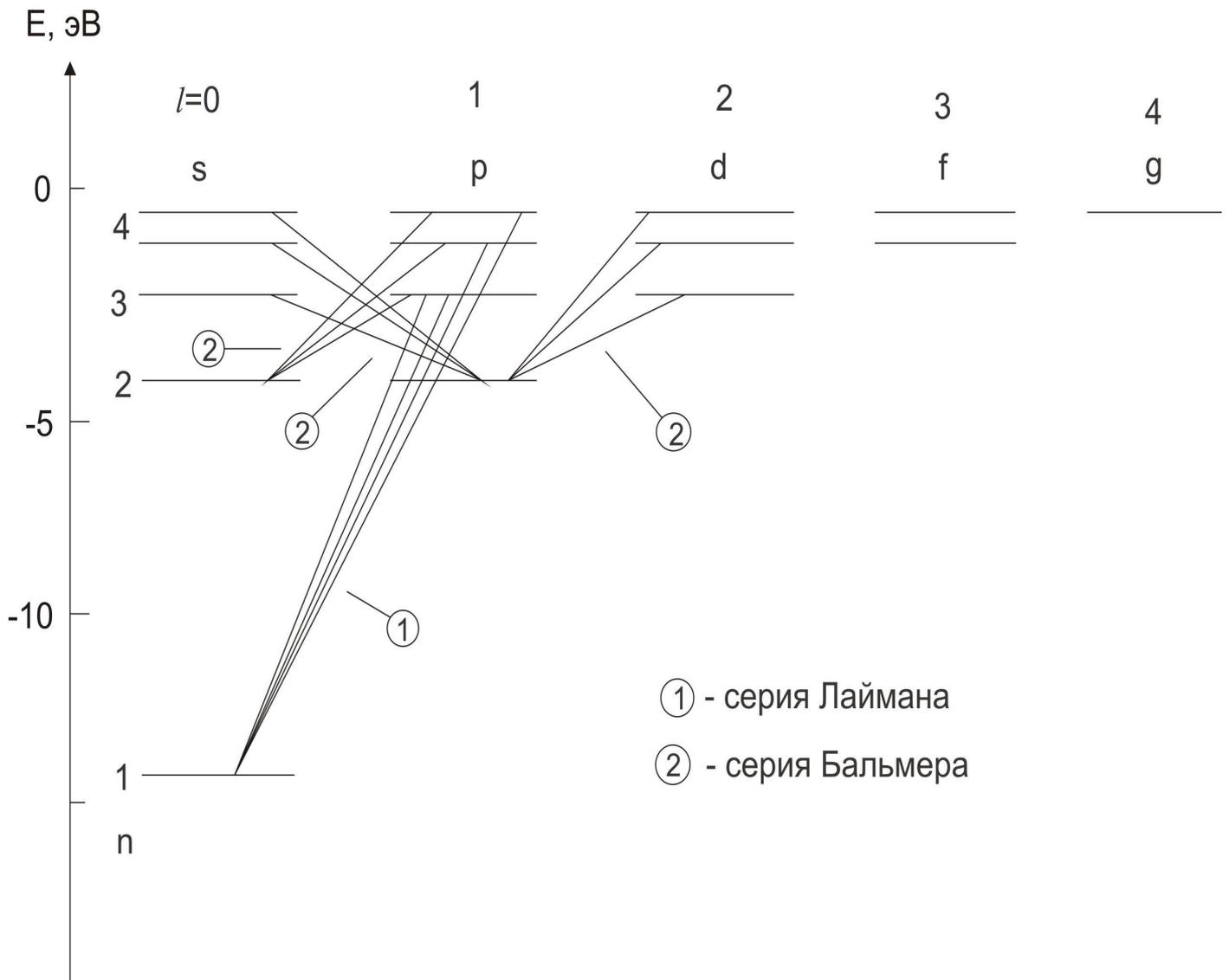


Рис. 3

Схема энергетических уровней атома водорода и переходов между ними с учетом орбитального квантового числа l .

Излучение и поглощение света атомом происходит при переходе электрона с одного энергетического уровня на любой другой, причем, энергия излучаемого (поглощаемого) кванта равна:

$$\varepsilon = h \cdot \nu_{nk} = E_n - E_k \quad (18)$$

где n, k – соответственно номера энергетических уровней (состояний), ν – частота электромагнитного излучения перехода $n \rightarrow k$. В процессе излучения (поглощения) света могут осуществляться только такие переходы, в результате которых изменения орбитального и магнитного квантовых чисел определяются условиями:

$$\Delta l = \pm 1 \quad (19)$$

$$\Delta m = 0, \pm 1 \quad (20)$$

Формулы (19) и (20) называются правилами отбора, которые ограничивают число возможных переходов электрона в атоме.

С учетом (6) частота излучения при переходе атома водорода ($Z = 1$) из стационарного состояния n в стационарное состояние k с меньшей энергией равна:

$$\nu_{nk} = \frac{m_e \cdot e^4}{8\varepsilon_0^2 h^3} \cdot \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (21)$$

Где k, n – целые числа; $k < n$.

Так как $\nu = \frac{c}{\lambda}$, то формула (21) по определению длин волн соответствующих переходов приобретает вид:

$$\frac{1}{\lambda_{nk}} = R \cdot \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (22)$$

Где R – постоянная Ридберга, равная

$$R = \frac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 h^3 c} = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1} \quad (23)$$

Из выражений (21) и (22) вытекает, что при заданных k и меняющихся значениях n ($n > k$) спектральные линии образуют группы или серии. В спектре

излучения атома водорода, как следует из (22), выделены следующие серии, длины волн которых находятся по формулам:

Серия Лаймана (ультрафиолетовая область спектра):

$$\frac{1}{\lambda_{n,1}} = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right), \text{ где } n=2,3,4,\dots \quad (24)$$

$$np \rightarrow 1s \quad (24 \text{ a})$$

Серия Бальмера (видимая область спектра):

$$\frac{1}{\lambda_{n,2}} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right), \text{ где } n=3,4,5,\dots \quad (25)$$

$$ns \rightarrow 2p, nd \rightarrow 2p, np \rightarrow 2s \quad (25a)$$

Серия Пашена (инфракрасная область спектра):

$$\frac{1}{\lambda_{n,3}} = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right), \text{ где } n=4,5,6,\dots \quad (26)$$

$$np \rightarrow 3s, ns \rightarrow 3p, nd \rightarrow 3p, np \rightarrow 3d, nf \rightarrow 3d \quad (26a)$$

Серия Брекета (далекая инфракрасная область спектра):

$$\frac{1}{\lambda_{n,4}} = R \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right), \text{ где } n=5,6,7,\dots \quad (27)$$

$$np \rightarrow 4s, ns \rightarrow 4p, nd \rightarrow 4p, np \rightarrow 4d, nf \rightarrow 4d, nd \rightarrow 4f, ng \rightarrow 4f \quad (27a)$$

Формулы (24a)- (27a) в соответствии с правилами отбора (19) определяют состояния электрона, при переходе между которыми излучаются спектральные линии приведенных серий в атоме водорода. Для серий Лаймана и Бальмера они указаны на рис. 3 полностью.

Следует отметить, что формулы (21)-(22), полученные теоретически в квантовой механике для расчета длин волн (частот) спектральных линий атома водорода, совпадают с обобщенной формулой Бальмера (1), ранее полученной эмпирически путем обобщения экспериментальных данных.

4. Экспериментальная часть

4.1. Принцип действия универсального монохроматора УМ-2

В настоящей работе ставится задача экспериментально определить длины волн атома водорода в видимой области спектра и сопоставить их с теоретическими величинами, вытекающими из формул (24) –(27). С этой целью в работе используется стеклянно-призменный монохроматор УМ -2.

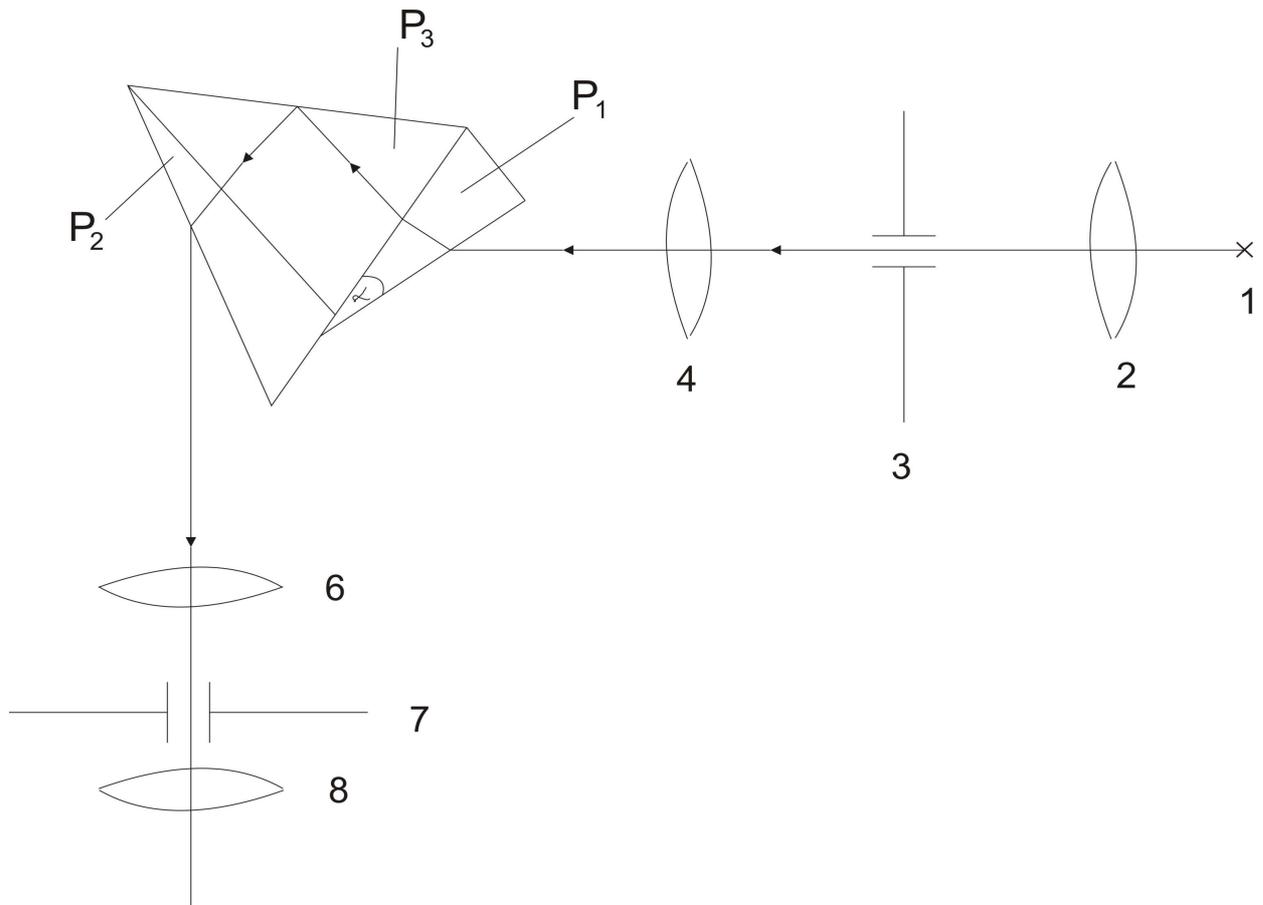


Рис. 4

Оптическая схема монохроматора УМ-2

- 1- источник света
- 2- конденсорная линза
- 3- входная щель
- 4- объектив коллиматора
- 5- призма Аббе
- 6- объектив зрительной трубы

- 7- выходная щель
- 8- окуляр

Универсальный монохроматор УМ-2 применяется для измерения длин волн в видимой области спектра. Составными частями монохроматора являются коллиматор, объединяющий входную щель 3 и объектив 4; зрительная труба, включающая объектив 6, выходную щель 7 и окуляр 8; а также диспергирующее устройство- призма 5.

Излучение от исследуемого источника света 1 с помощью конденсорной линзы 2 концентрируется на входной щели 3. Как правило, конденсорную линзу 2 устанавливают так, чтобы на входной щели прибора получить уменьшенное изображение источника света. Входная щель имеет форму вертикального узкого прямоугольника высотой 14 мм, ее ширина меняется в пределах от 0 до 4 мм и в зависимости от светосилы источника варьируется микрометренным винтом с ценой деления 0.01 мм.

Объектив коллиматора 4, удаленный от входной щели на расстояние, равное фокусному, формирует строго параллельный световой пучок, падающий на призму 5. Призма 5, называемая призмой Аббе, является призмой постоянного отклонения и имеет сложное строение. Она состоит из трех склеенных стеклянных призм P_1 , P_2 , P_3 . Призмы P_1 и P_2 идентичны между собой, имеют преломляющий угол 30° и изготовлены из специального стекла(флинта), обладающего высокой дисперсией. Промежуточная призма P_3 полностью отражает своей гипотенузной гранью проходящие лучи и поворачивает их на 90° . Призма Аббе 5 жестко установлена на горизонтальном столике, который может вращаться вокруг вертикальной оси при помощи микрометренного винта с отсчетным устройством, при этом в поле зрения появляются различные спектральные линии.

Объектив зрительной трубы 6 дает изображение входной щели в различных длинах волн в своей фокальной плоскости, т. е. спектр. Этот спектр рассматривается через окуляр 7.

Оптические детали монтируют на массивном литом основании, закрытом сверху металлическим кожухом, так что монохроматор является единым жестко связанным прибором.

4.2. Порядок выполнения работы

Работа состоит из двух частей:

- Градуировка монохроматора по длинам волн,
- Определение длин волн спектральных линий в спектре излучения атома водорода.

4.3. Градуировка монохроматора

Для проведения спектральных исследований монохроматор должен быть предварительно проградуирован по длинам волн, т.е. нужно установить каким длинам волн в спектре соответствует то или иное положение призмы монохроматора.

Градуировку проводят с помощью ртутной лампы. Пары ртути имеют линейчатый спектр, длины волн которых приведены в таблице 1.

Внимание! Повторное включение ртутной лампы можно производить только через 10-15 минут после ее выключения, иначе это может привести к взрыву лампы.

1. Включить тумблер «Сеть» на блоке питания.
2. Включить тумблер «Лампа ДРШ». Должна зажечься ртутная лампа, поджиг лампы сопровождается характерным звуком.
3. Если лампа не загорелась, нажать кнопку «Пуск».
4. Установить индекс барабана в начало шкалы отсчета.
5. Поворачивая барабан, совместить фиолетовую линию спектра с измерительным индексом –треугольником, который виден внизу зрительного поля.
6. Произвести отсчет по барабану φ_1 и занести его в таблицу 1.
7. Аналогичные измерения произвести для всех линий спектра ртути.

8. Действия, указанные в пп. 5-7, провести для всех линий спектра, двигаясь в обратном порядке, т.е. из красной области спектра в фиолетовую. Занести в таблицу 1 отсчеты по барабану φ_2 .
9. Выключить тумблер «Лампа ДРШ» на блоке питания.
10. Выключить тумблер «Сеть» на блоке питания.
11. Вычислить средние значения отсчетов барабана $\varphi_{\text{ср.}}$.
12. Построить на миллиметровой бумаге формата А4 градуировочный график для монохроматора УМ-2. По горизонтальной оси откладывать средние значения отсчетов по барабану $\varphi_{\text{ср.}}$, по вертикальной оси – соответствующие значения длин волн. Следует выбрать следующий масштаб: для длин волн – 50 мм 100 нм, для отсчетов по барабану – 10 мм на 100 делений барабана. Градуировочный график должен представлять собой плавную кривую, которую проводят при помощи лекала.

4.4. Измерение длин волн спектральных линий в спектре атома водорода

1. Установить на рельсе водородную лампу. **Установка производится инженером или преподавателем.**
2. Включить тумблер на блоке питания ОУ-1. **Включение производится инженером или преподавателем.**
3. Поворачивая барабан, совместить синюю линию спектра атома водорода с измерительным индексом –треугольником.
4. Произвести отсчет по барабану φ_1 и занести его в таблицу 2.
5. Аналогичные измерения произвести для голубой и красной линий спектра, указанных в таблице 2.
6. Действия, указанные в пп. 4 и 5, провести для всех указанных линий спектра, двигаясь в обратном порядке, т.е. из красной области спектра в фиолетовую. Занести в таблицу 2 отсчеты по барабану φ_2 .
7. Выключить блок питания водородной лампы. **Производится инженером или преподавателем.**

8. Выключить тумблер «Сеть» на блоке питания ртутной лампы.
9. Вычислить средние значения отсчетов барабана $\varphi_{\text{ср.}}$.
10. По градуировочному графику определить длины волн в спектре атома водорода.
11. Измеренные значения длин волн занести в таблицу 2.
12. Рассчитать длины волн спектральных линий в серии Бальмера.
13. Сравнить теоретически рассчитанные значения длин волн с экспериментально измеренными.
14. Зарисовать схему энергетических уровней атома водорода и указать каким квантовым переходам соответствуют экспериментально измеренные линии в серии Бальмера.

Таблица 1

№ п/п	Цвет	Интенсивность	λ , нм	Отсчет по барабану		
				φ_1	φ_2	$\varphi_{\text{ср.}}$
1	Фиолетовая	Сильная	404,6			
2	Фиолетовая	Средняя	408,0			
3	Синяя	Сильная	435,8			
4	Зелено-голубая	Средняя	491,1			
5	Зеленая	Сильная	546,1			
6	Желтый	Сильная	576,4			
7	Дублет	Сильная	579,0			
8	Пять линий в оранжево- красной области	Слабые	607,0			
9			614,0			
10			623,4			
11			671,1			
12			690,7			

Таблица 2

№ п/п	Цвет	Интенсивность	Отсчет по барабану			$\lambda_{\text{эксп.}}$ нм	$\lambda_{\text{теор.}}$ нм
			φ_1	φ_2	$\varphi_{\text{ср.}}$		
1	Синяя	Слабая					
2	Голубая	Средняя					
3	Красная	Сильная					

5. Вопросы к зачету

1. Предмет изучения квантовой механики.
2. Стационарное уравнение Шредингера для электрона в атоме водорода.
3. Какие физические величины, определяющие состояние электрона в атоме, принимают дискретные значения?
4. Квантовые числа, их связь с дискретными физическими величинами.
5. Принцип Паули для многоэлектронного атома.
6. Энергия электрона в атоме водорода. Схема энергетических уровней атома водорода.
7. Какая серия в спектре атома водорода расположена в видимой части спектра?
8. Какое состояние атома называется основным? Какие состояния атома называются возбужденными?
9. Принципиальная схема монохроматора.
10. В чем заключается градуировка монохроматора?

6. Литература

1. Трофимова Т. И. Курс физики / Т.И.Трофимова.- М., Высшая школа, 2004.
2. Савельев И. В. Курс общей физики / И.В.Савельев.- М., Наука, 1979.- Ч.III.
3. Фриш С. Э. Оптические спектры атомов / С.Э.Фриш. –М.-Л., Из-во ФМЛ, 1963.
4. Кустанович И. М. Спектральный анализ / И.М.Кустанович.-М., Высшая школа, 1972.