ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 54

ИЗУЧЕНИЕ СПЕКТРА ВОДОРОДА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ РИДБЕРГА

Выполнил студент гр._____ Ф. И. О._____

Проверил_____

Цель работы: изучить спектр атома водорода, измерить длины волн спектральных линий серии Бальмера с помощью монохроматора УМ-2, вычислить постоянную Ридберга.

Теоретическое описание.

Изучение атомных спектров послужило ключом к познанию строения атома. Прежде всего, было замечено, что линии в спектрах атомов располагается не беспорядочно, а группируется в так называемые серии. Отчетливее всего это обнаруживается в спектре простейшего атома – атома водорода. Излучаемый им спектр можно точно рассчитать, используя методы квантовой механики (т. е. решая уравнение Шредингера для электрона в кулоновском поле ядра). Однако правильную спектральную формулу можно получить более простым способом. Для этого можно воспользоваться квазиклассической моделью водородного атома.

Первая удачная попытка создания модели атома водорода, которая объяснила его наблюдаемый спектр, принадлежит Нильсу Бору (1913 г.). В конечном счете, Бор исходил из трех постулатов, которые можно сформулировать следующим образом:

1. Атомы могут пребывать только в определенных стационарных состояниях, в которых они не излучают и не поглощают энергии. В этих состояниях атомы обладают энергиями, образующими дискретный ряд:

$$E_1, E_2, E_3, E_4 \ldots \tag{1}$$

2. Атомы могут излучать или поглощать энергию лишь при переходе из одного стационарного состояния в другое, причем частоты излучения (поглощения) определяются правилом:

$$h\nu = E_i - E_j. \tag{2}$$

3. В стационарных состояниях электрон движется вокруг ядра по круговым орбитам, для которых момент импульса электрона принимает значения, кратные $\hbar$:

$$N = n\hbar, \qquad n = 1,2,3,4\ldots \tag{3}$$

По выражение самого Бора, "эти допущения находятся в явном противоречии с общепринятым пониманием электродинамики, но представляются необходимыми для экспериментально установленных фактов".

Для простоты Бор принял, что в атоме водорода электроны вращаются вокруг протона по окружности радиусом r с циклической частотой ω, и, согласно второму закону Ньютона, имеем:

$$m\omega^2 r = \frac{mV^2}{r} = \frac{ke^2}{r^2}, \tag{4}$$

Согласно принципу квантования состояния электрона в атоме (постулат теории Бора № 3):

$$mVr = n\hbar, \tag{5}$$

Решение системы (4), (5) дает выражение для радиусов круговых орбит электронов в атоме водорода:

$$r_n = \frac{\hbar^2}{kme^2} n^2, \tag{6}$$

Полная энергия электрона в атоме есть сумма кинетической и потенциальной энергий:

$$E_n = \frac{mV^2}{2} - \frac{ke^2}{r} \tag{7}$$

Выражая из системы уравнений (4), (5) скорость электрона, имеем:

$$V = \frac{ke^2}{n\hbar}, \tag{8}$$

Подставляя (8) и (6) в (7), получаем формулу, выражающую полную энергию электрона в атоме водорода на n-ой стационарной орбите:

$$E_n = \frac{-k^2 e^4 m}{2\hbar^2 n^2} \tag{9}$$

При переходе атома водорода из состояния n_2 с энергией E_2 в состояние n_1 с энергией E_1 излучается квант света с частотой ω, равной:

$$E_2 - E_1 = \hbar\omega. \tag{10}$$

Подставляя энергию электрона в состоянии n_2 и в состоянии n_1 из формулы (9)имеем:

$$E_2 - E_1 = \frac{k^2 e^4 m}{2\hbar^2}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) \tag{11}$$

Далее, вспоминая, что $E_2 - E_1 = \hbar\omega, \quad \omega = \frac{2\pi c}{\lambda}$, можем записать:

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right), \tag{12}$$

Формула (12) называется обобщенной формулой Бальмера. В данном случае $R = \frac{me^4}{64\pi^3 \varepsilon_0^2 c\hbar^3} = 1{,}097 \cdot 10^7 \ м^{-1}$.

Формула Бальмера (12) описывает весь спектр атома водорода.

Визуально мы можем наблюдать только серию Бальмера: для водорода - n_1=2, n_2=3,4,5... (рис.1). И формула (12) для этой серии принимает вид:

$$\frac{1}{\lambda} = R \cdot \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n_2^2}\right) \tag{13}$$

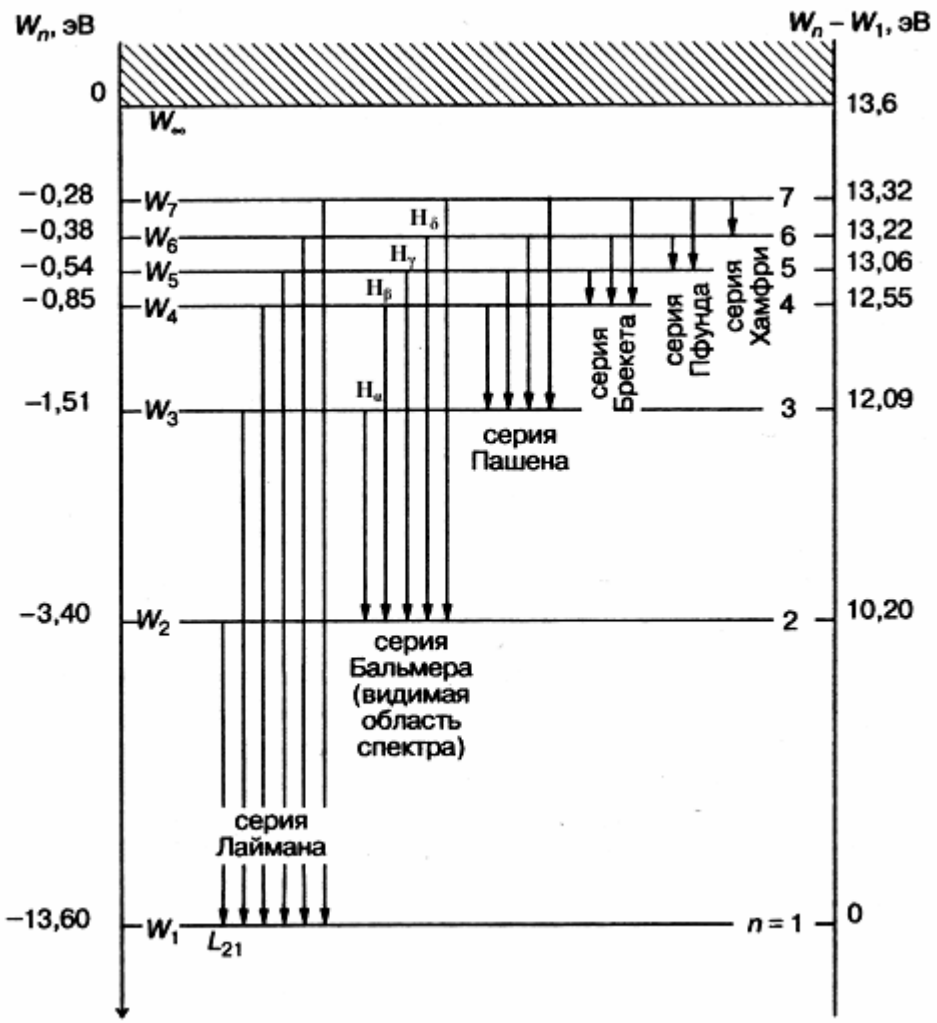

Рис.1 Энергетическая диаграмма атома водорода.

Однако, существуют и другие серии. Это, например, серия Лаймана, все линии которой лежат в ультрафиолетовой области спектра. Для этой серии n_1=1. Линии остальных серий (Пашена, Брэкета, Пфунда и др.) лежат в инфракрасной области спектра. Набор уровней энергии и возможные переходы в атоме принято показывать на энергетической диаграмме, приведённой на рисунке 1. Здесь принято E_n=W_n – полная энергия электрона в атоме на n- ом уровне. Серия Бальмера состоит из ряда сравнительно ярких линий, которые в порядке убывания длины волны обозначают H_α - красная линия, H_β - зелено-голубая (цвета морской волны), H_γ – фиолетово-синяя.

Экспериментальная установка

Работа выполняется на монохроматоре УМ-2. Схема устройства показана на рис. 2. Свет от источника *1* конденсором *К* собирается на входной щели 2 монохроматора УМ-2. На барабан 6 нанесена винтовая дорожка с градусными делениями. Вдоль дорожки скользит указатель поворота барабана. При вращении барабана призма поворачивается, и в центре поля зрения появляются различные участки спектра. Спектрометр УМ-2 нуждается в предварительной градуировке. Для градуировки обычно применяют ртутную или неоновую лампы. Градуировочная кривая должна быть построена в крупном масштабе на листе миллиметровой бумаги. По оси *X* откладываются градусные деления барабана, а по оси *У* – длины волн соответствующих линий.

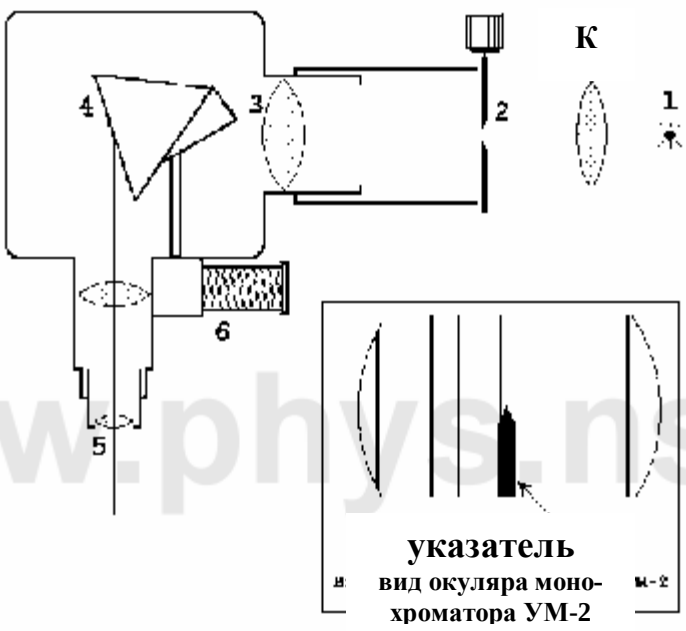

Рис. 2. Схема монохроматора УМ-2: *1* – источник света; *2* – входная щель; *3* – объектив коллиматора; *4* – дисперсионная призма; *5* – окуляр; *6* – барабан поворота призмы

Свечение водорода создается в газоразрядной водородной лампе типа ДВС-25 (ДДС-30 или ЛД-2 (D)), питание которой осуществляется от специального источника. Лампа представляет собой стеклянный баллон с впаянными внутрь электродами – катодом и анодом. Разряд в лампе возникает при столкновении ускоренных электронов с молекулами H_2 или D_2 . Образуемые при этом электроны и ионы поддерживают разряд. Эти же частицы ответственны за появление интенсивного рекомбинационного свечения разряда в ультрафиолетовой области спектра. Кроме областей непрерывного спектра, при рекомбинации наблюдаются также спектральные линии, соответствующие обычному эмиссионному спектру атомов и молекул водорода и дейтерия. Возбуждение их происходит главным образом за счет электронных ударов. Кроме этого, для облегчения зажигания лампы, внутрь трубки введено небольшое количество примеси неона. Поэтому спектр излучения лампы ДВС-25 в видимой области имеет большое число линий, среди которых отчетливо видны линии, обусловленные излучением атома водорода.

Для градуировки монохроматора в данной работе используется специальная ртутная спектральная лампа, длины волн наиболее ярких спектральных линий которой приведены в таблице 1. Ртутная лампа является мощным источником света в ультрафиолетовой области спектра, поэтому следует избегать попадания прямого светового потока излучения от лампы в глаза и длительного облучения кожи. Повторно включить горевшую лампу возможно включить в сеть лишь после 10-15 минутного перерыва (потенциал зажигания горячей кварцевой трубки настолько высок, что сетевое напряжение не может вызвать зажигание лампы, и лишь после того как горелка остынет, амплитуда сетевого напряжения оказывается достаточной для поджига разряда).

Порядок выполнения работы.

1. Ознакомится с описанием установки и принципом работы монохроматора УМ-2.
2. Поместите перед входной щелью монохроматора ртутную лампу, повернув осветитель соответствующим образом.
3. Перед включением в сеть проверить положение переключателей на блоке питания. Переключатель «СЕТЬ» должен быть в положении «ВЫКЛ». Переключатель «ЛАМПЫ» в положении «РТУТНАЯ».
4. Включить установку в сеть ~220 В. Перевести переключатель «СЕТЬ» в положении «ВКЛ», переключатель «ЛАМПЫ» в положении «РТУТНАЯ» при этом должна загореться сигнальная лампы «СЕТЬ» и зажечься ртутная лампа.
5. Медленно поворачивая осветитель, добейтесь наиболее яркого изображения спектральных линий ртути в окуляре монохроматора.
6. Произведите градуировку монохроматора УМ-2. Градуировку начните с фиолетовой области спектра ртути. Для этого вращая измерительный барабан длин волн *6*, совместите с указателем окуляра первую фиолетовую линию спектра ртути и запишите в таблицу 1 значение угла поворота на измерительном барабане, расположенном против отсчетного индекса.

www.phys.nsu

7. Проведите аналогичные измерения для всех остальных видимых в монохроматор линий спектра ртути, записывая измеренные значения угла поворота в таблицу 1.
8. Постройте градуировочный график монохроматора, т. е. зависимость отсчёта на барабане от длины волны излучения ртути. Длины волн спектра ртутной лампы приведены в таблице 1.
9. Установите перед входной щелью монохроматора водородную лампу, повернув осветитель соответствующим образом.
10. Как уже упоминалось ранее, в спектре водородной лампы наряду с линиями атомарного водорода наблюдаются полосы эмиссионного спектра молекулярного водорода. Поэтому поиск линий нужно начинать с наиболее интенсивной красной линии H_α. Она располагается практически на самой границе красного спектра (линии спектра лампы далее практически отсутствуют). Измерьте в делениях барабана длину волны этой линии. Результаты измерения запишите в таблицу 2.
11. Вторая линия H_β - зелено-голубая. В промежутке между H_α и H_β располагаются множество красно-желтых и зеленых сравнительно слабых размытых молекулярных полос. Занесите показания измерительного барабана в делениях в таблицу 2.
12. Третья линия H_γ - фиолетово-синяя. Перед этой линией располагаются две слабые размазанные молекулярные полосы синего цвета. Результаты измерения так же занесите в таблицу 2.
13. По градуировочному графику переведите показания измерительного барабана для каждой из трех линий серии Бальмера в длину волны λ, нм и запишите их в таблицу 2.
14. С помощью формулы (13) вычислите для каждой линии постоянную Ридберга R. Не забудьте все вычисления производить в СИ. Вычислите и запишите среднее значение <R>.
15. Из формулы $R = \dfrac{me^4}{64\pi^3\varepsilon_0^{\,2}c\hbar^3}$ получите выражение для вычисления постоянной Планка. Используя среднее значение <R>, с помощью этого выражения вычислите постоянную Планка. При вычислении принять: $m_e=9\cdot10^{-31}$ *кг*, $e=1{,}6\cdot10^{-19}$ *Кл*, $\varepsilon_0=8{,}85\cdot10^{-12}$ *Ф/м*, $c=3\cdot10^8$ *м/с*.

Длины волн линий в спектре ртути. ***Таблица 1***

Окраска линии	Относительная яркость	Длина волны, нм	Угол поворота барабана
Фиолетовая 1	2	404,66	
Фиолетовая 2	1	407,78	
Синяя	8	435,83	
Голубая	1	491,60	
Зеленая	10	546,07	
Желтая 1	8	576,96	
Желтая 2	10	579,07	
Красная 1	0,5	612,35	
Красная 2	0,5	690,72	

Таблица 2

Номер орбиты, с которой осуществлен переход $n_2 \to 2$	Обозначение линии	Угол поворота измерительного барабана	Длина волны, нм	Постоянная Ридберга, $м^{-1}$
	H_α			
	H_β			
	H_γ			

<R>= … $м^{-1}$ $\langle \hbar \rangle =$ … Дж·с

1. Что такое спектральная линия, серия? Какие существуют серии в спектре водорода?
2. Как объясняет теория бора линейчатый спектр атомов? Как зависит радиус боровской орбиты от главного квантового числа n? Чему он равен при $n \to \infty$?
3. Почему в спектре водородной лампы состоит из большого числа линий, а не только из линий атомарного водорода? Для чего используется в данной работе ртутная лампа?