

Лабораторная работа №1

Изучение сериальных закономерностей в спектре излучения атома водорода

Цель работы: При помощи монохроматора экспериментально определить длины волн линий серии Бальмера в спектре атома водорода и вычислить на основании полученных данных постоянную Ридберга и массу электрона.

Приборы и принадлежности:

1. Призмный монохроматор УМ - 2.
2. Ртутно-кварцевая лампа с блоком питания.
3. Неоновая лампа
4. Водородная газоразрядная трубка с источником питания ВУП-2
5. Проводники, карандаши, миллиметровая бумага.

Теоретическое введение

Спектром испускания называется зависимость излучательной способности (или плотности излучения) от длины волны. В более узком понятии спектром иногда называют картину, получающуюся на экране (в поле зрения) в результате разложения света призмой или другим прибором по длинам волн.

Спектры имеют три характерных вида: сплошные, которые излучают раскаленные твердые и жидкие тела; линейчатые, источником которых являются атомы разреженных газов; полосатые, которые излучают молекулы или газы, находящиеся под невысоким давлением.

Сравнение линейчатых спектров показывает, что каждый химический элемент имеет особый спектр, присущий только этому элементу.

Линии каждого спектра могут быть объединены в спектральные серии. Под спектральной серией понимается совокупность линий спектра, длины волн которых связаны определенной математической зависимостью.

Экспериментальное изучение спектров испускания отдельных атомов разреженных газов сыграло важную роль в развитии представлений о строении атомов, о поглощении и испускании ими энергии. Особое место в этом смысле принадлежит спектру простейшего атома - атома водорода, закономерности в котором были изучены еще в конце прошлого века. Так благодаря работам Бальмера (1885 г.), Ридберга и Ритца было установлено, что для всех длин волн спектра атомарного водорода справедливо следующее эмпирическое соотношение:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (1)$$

где $n = 1, 2, 3, 4, 5 \dots$ - числа, определяющие серию;

$m = (n+1), (n+2) \dots$ - числа, определяющие отдельные линии каждой серии.

R – постоянная Ридберга, λ – длина волны.

В частности линии в видимой области спектра атомарного водорода составляют так называемую серию Бальмера, для которой справедливо соотношение:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (2)$$

Задавая m значения 3,4,5,... можно вычислить длины волн линий видимой области спектра атомарного водорода. Наиболее яркими являются следующие линии

	m	обозначение
красная	3	H_{α}
зеленовато-голубая	4	H_{β}
фиолетово-синяя	5	H_{γ}
фиолетовая	6	H_{δ}

Если найти длину волны любой из этих линий, то, пользуясь соотношением (2), можно вычислить постоянную Ридберга.

На основании одного из постулатов теории Бора электроны в атомах вращаются вокруг ядра - по стационарным круговым и эллиптическим орбитам. Ядро находится в одном из фокусов эллиптической орбиты. Двигаясь по этим орбитам, электрон не излучает и не поглощает энергии. Каждой стационарной орбите электрона соответствует стационарное состояние атома с определенным значением энергии. Стационарные состояния характеризуются дискретными значениями моментов импульсов электронов, которые подчиняются постулату Бора

$$L = mvr = \hbar n = \frac{h}{2\pi} n \quad (3)$$

где $L = mvr$ - момент импульса электрона; m - масса электрона; v - тангенциальная скорость электрона; r - радиус орбиты электрона в атоме, h - постоянная Планка, $n = 1, 2, 3, \dots$ главное квантовое число.

Электрон, двигаясь по круговой орбите с центростремительным ускорением под действием кулоновской силы притяжения к ядру, подчиняется II закону Ньютона

$$m \frac{v^2}{r} = k \frac{e^2}{r^2} \quad (4)$$

Комбинируя квантовый и классический законы можно получить выражение для радиуса орбиты электрона

$$r = \frac{h^2}{4\pi^2 k m e^2} n^2 \quad (5)$$

Полная энергия электрона с учетом (4)

$$W = W_k + W_p = \frac{mv^2}{2} - k \frac{e^2}{r} = -k \frac{e^2}{2r} \quad (6)$$

Подставляя (5) в (6) получаем

$$W_n = -k^2 \frac{2\pi^2 m e^4}{h^2} \cdot \frac{1}{n^2} \quad (7)$$

Следуя идеям Планка о том, что всякая энергия излучается и поглощается отдельными порциями - квантами, величина которых пропорциональна частоте излучения, Бор связал излучение и поглощение атомом кванта энергии с переходом атома из одного стационарного состояния с энергией в другое - с энергией следующим соотношением

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda} = W_n - W_m \quad (8)$$

Подставляя (7) в (8) получаем

$$h \frac{c}{\lambda} = k^2 \frac{2\pi^2 m e^4}{h^2} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (9)$$

или

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{2\pi^2 k^2 m e^4}{h^3 c} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (10)$$

Сравнивая (10) и (1) получаем

$$R = \frac{2\pi^2 k^2 m e^4}{h^3 c} = \frac{m e^4}{8 \varepsilon_0^2 h^3 c} \quad (11)$$

где ε_0 - электрическая постоянная.

При переходе электронов в атоме водорода на орбиту с наименьшей энергией ($n=1$) излучается серия линий, лежащих в ультрафиолетовой части спектра (серия Лаймана), при переходе на орбиту с $n=2$ излучаются линии серии Бальмера (линии этой серии лежат в видимой части спектра).

Определив экспериментально постоянную Ридберга из (11) можно найти массу электрона.

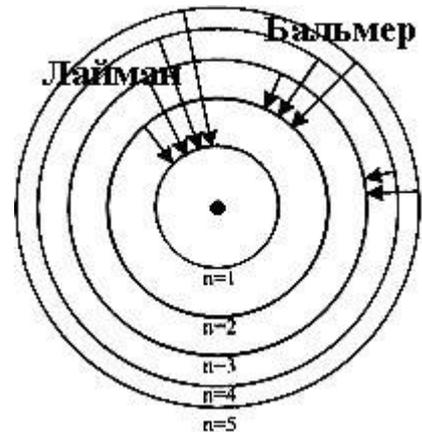


Рис 1

Описание экспериментальной установки



Для определения длин волн спектральных линий в работе используется универсальный монохроматор УМ-2, предназначенный для спектральных исследований излучения в диапазоне длин волн 380-1000 нм. Разработан в начале 50-х годов. Прибор оказался настолько удачным, что до сих пор серийно выпускается нашей промышленностью.

В состав прибора входят следующие основные части:

Входная щель «1» снабжена микрометрическим винтом «2», который позволяет открывать щель на нужную ширину. Обычная рабочая ширина щели равна 0,02- 0,03 мм.

Объектив коллиматора «3», снабженный микрометрическим винтом «4». Винт позволяет смещать объектив относительно щели при фокусировке спектральных линий различных цветов.

Сложная **спектральная призма «5»**, установленная на поворотном столике «6». Призма «5» состоит из трех склеенных призм P_1 , P_2 и P_3 . Первые две призмы P_1 и P_2 с преломляющими углами 30° изготовлены из тяжелого флинта, обладающего большой дисперсией. Промежуточная призма P_3 сделана из крона. Лучи отражаются от ее гипотенузной грани и поворачиваются на 90° . Благодаря такому устройству дисперсии призм P_1 и P_2 складываются.

Поворотный столик «6» вращается вокруг вертикальной оси при помощи микрометрического винта «7» с отсчетным барабаном. На барабан нанесена винтовая дорожка с градусными делениями. Вдоль дорожки скользит указатель поворота барабана «8». При вращении барабана призма поворачивается, и в центре поля зрения появляются различные участки спектра.

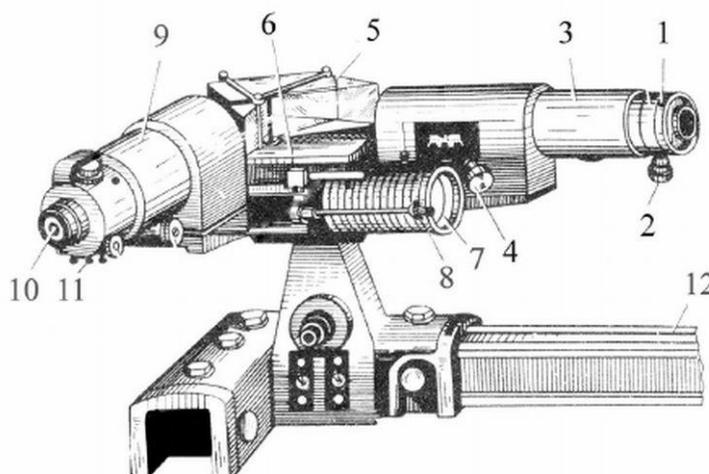


Рис 2

Зрительная труба, состоящая из объектива «9» и окуляра «10». Объектив «9» дает изображение входной щели «1» в своей фокальной плоскости. В этой плоскости расположен указатель «11». Изображение рассматривается через окуляр «10». В случае надобности окуляр может быть заменен выходной щелью, пропускающей одну из линий спектра.

Монохроматор заключен в **массивный корпус**, который предохраняет прибор от повреждений и загрязнений.

Прибор также снабжен **оптической скамьей** 12, на которой могут перемещаться рейтеры с источником света. Также на оптической скамье может располагаться конденсор (линза), служащий для концентрации света на входной щели. Источник света рекомендуется располагать на расстоянии 40 - 50 см от входной щели, а конденсор - примерно в 13 см от источника. Для яркого освещения входной щели конденсор перемещают вдоль скамьи, стремясь получить на щели изображение источника света. При этом для удобства надевают на щель белый колпачок с крестиком.

Подготовка прибора к работе

Спектрометр УМ-2 относится к числу точных приборов. Он требует бережного и аккуратного обращения!

При подготовке прибора к работе особое внимание следует обратить на тщательную фокусировку, с тем, чтобы указатель «11» и спектральные линии имели четкие ясные границы. Фокусировка производится в следующем порядке: перемещая окуляр, следует получить резкое изображение указателя «11». Осветив входную щель прибора ртутной лампой, нужно найти спектральные линии ртути и получить их ясное изображение при помощи микрометрического винта «4».

Для отсчета положения линии ее центр совмещают с острием указателя. Отсчет производится по делениям барабана (0,02-0,03 мм по шкале микрометрического винта). Для наблюдений спектральных линий в крайней фиолетовой области щель приходится расширить до 0,05-0,06 мм. Глаз лучше замечает слабые линии в движении. Поэтому при наблюдении удобно слегка поворачивать барабан в обе стороны от среднего положения указателя.

Градуировка монохроматора УМ-2 осуществляется при помощи двух источников: ртутно-кварцевой лампы и неоновой лампы МН-5, которые прилагаются к прибору. Красная линия ртути в излучении ртутно-кварцевой лампы очень слаба. Поэтому для градуировки прибора в красной части спектра необходимо использовать неоновую лампу.

Градуировочную кривую следует строить в крупном масштабе на миллиметровой бумаге. По оси X откладывают деления барабана, а по оси Y длины волн соответствующих линий. Иногда при построении некоторые экспериментальные точки оказываются смещенными. Чаще всего такие "выбросы" свидетельствуют о неправильной расшифровке наблюдаемой картины спектральных линий для неона. В этом случае необходимо более внимательно сопоставить наблюдаемую картину с таблицей.

Лабораторная работа №1
Изучение сериальных закономерностей
в спектре излучения атома водорода

Выполнил студент _____
Факультет _____ Курс __ Группа _____
Проверил _____
Показания сняты _____
Зачтено _____

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством монохроматора УМ-2. Изучить назначение ручек управления прибора. Подготовить прибор к работе.

2. На рельсе вблизи входной щели УМ-2 установить кожух с ртутной лампой и подключить ее к блоку питания. Включить блок в сеть 220 В, тумблер блока “сеть” перевести в положение “Вкл” и нажать кнопку “Пуск”. Лампа иногда загорается и без нажатия кнопки. Для достижения максимальной яркости ртутной лампы потребуется некоторое время (3-5 мин).

ВНИМАНИЕ! Ртутная лампа должна гореть только в момент градуировки, но не более, так как имеет ограниченный срок работы. Ртутная лампа наряду с видимым светом излучает ультрафиолет, вредный для глаз. Во избежание ожогов сетчатки глаза, лампа помещена в непрозрачный футляр с окошком, направленным в сторону щели монохроматора.

Сфокусировать излучение ртутно-кварцевой лампы на входной щели прибора при помощи линзы, расположенной на оптической скамье (можно и без линзы). Снять колпачок со щели.

Установить входную щель 0,10 мм и открыть затвор коллиматора. Наблюдая через окуляр за спектром, вывести в поле зрения наиболее яркую желтую двойную линию (дублет). Если изображение иглы указателя размыто, необходимо вращением кольца окуляра добиться его максимальной резкости. На отъюстированном приборе линии спектра при этом также будут резкими. Если же линии размыты, то с помощью преподавателя или лаборанта необходимо маховичком 4 сфокусировать спектр.

Приводя в поле зрения поочередно ту или иную линии спектра и совмещая её с указателем, снять отсчёты по барабану. Результаты занести в таблицу.

3. Выключить ртутно-кварцевую лампу, отодвинуть ее от монохроматора. На рельсе вблизи входной щели УМ-2 установить кожух с неоновой лампой и включить ее в сеть 220 В. Снять отсчёты барабана для линий спектра неона. Результаты занести в таблицу.

4. По результатам таблицы на миллиметровой бумаге построить градуировочный график. График приложить к отчету.

Таблица спектральных линий ртути и неона с визуальной оценкой их относительной яркости (градуировочная).

Цвет линии	Название элемента лампы	Относительная яркость	Длина волны, нм	Отсчет по барабану	Примечания
Фиолетовая	Hg	8	404,6		Правая линия триплета
Фиолетовая	Hg	4	407,7		Средняя линия триплета
Синяя	Hg	10	434,7		Левая линия триплета
Зелено-голубая	Hg	8	491,6		Правая линия дублета
Зеленая	Hg	10	546,3		Одиночная
Желтая	Hg	8	576,9		Дублет
Желтая	Hg	10	579,0		Дублет
Красная	Hg	5	623,4		Левая линия триплета
Зеленая	Ne	10	540,0		Левая более яркая
Желтая	Ne	10	585,3		Правая более яркая
Красно-оранж.	Ne	5	614,3		7-ая от желтой влево
Ярко-красная	Ne	10	638,3		Одиночная
Красная	Ne	5	659,3		3-я влево от дублета

6. Выключить неоновую лампу, отодвинуть (или убрать) ее от монохроматора. На рельсе установить рейтер с водородной трубкой. Включить источник питания ВУП-2, установив максимальное напряжение.

Пронаблюдать спектр водорода. Снять отсчеты водородных линий H_{α} , H_{β} и H_{γ} по барабану монохроматора. В спектре водородной трубки наряду с линиями атомного спектра наблюдается спектр молекулярного водорода. Поэтому начинать поиск линий нужно с наиболее интенсивной красной линии H_{α} . Вторая линия H_{β} - зеленовато-голубая. В промежутке между H_{α} и H_{β} располагается несколько красно-желтых и зеленых сравнительно слабых молекулярных полос. Третья линия H_{γ} - фиолетово-синяя. Перед этой линией располагаются две слабые размазанные молекулярные полосы синего цвета. Четвертая линия H_{δ} - фиолетовая. Ее удастся обнаружить в излучении лишь некоторых экземпляров водородных трубок (в данной работе может отсутствовать). Результаты занести в таблицу.

7. По полученным отсчетам, пользуясь градуировочным графиком, найти длины волн этих линий. Результаты занести в таблицу.

	Водородная лампа	m	обозначение	Отсчет по барабану	Длина волны, нм	постоянная Ридберга, 1/м
	Линии спектра (цвет)					
1	красная	3	H_{α}			
2	Зеленовато-голубая	4	H_{β}			
3	фиолетово-синяя	5	H_{γ}			
4	фиолетовая	6	H_{δ}			

8. Исходя из формулы (2) вычислить для каждой линии спектра атомарного водорода постоянную Ридберга

$R_1 =$

$R_2 =$

$R_3 =$

$R_4 =$

Значения занести в таблицу.

9. Вычислить среднее из этих значений и взять как окончательный результат.

$R_{\text{сред}} =$

10. Оценить абсолютную и относительную погрешность измерения.

$\Delta R =$

$\delta R =$

11. Исходя из формулы (11) рассчитать массу электрона

$m =$

Контрольные вопросы

1. Какие спектры дают разреженные газы, состоящие из отдельных атомов?
2. Какие спектры дают при невысоком давлении газы, состоящие из молекул?
3. Какие спектры называются сплошными?
4. Каковы способы подведения энергии к атомам (молекулам) газа для наблюдения их спектров испускания?
5. Сформулируйте постулаты теории Бора.
6. Найдите радиусы первых трех боровских электронных орбит в атоме водорода.
7. Найдите значение кинетической, потенциальной и полной энергии электрона на первой и третьей орбитах в атоме водорода. Какой длине волны будет соответствовать спектральная линия, соответствующая переходу электрона с третьей орбиты на первую?
8. Какую наименьшую энергию должны иметь электроны, чтобы при возбуждении атомов водорода ударами этих электронов возникали линии всех серий водорода?
9. Найдите наименьшую и наибольшую длину волны спектральных линий водорода в видимой области спектра.

приложения

Физические константы (CODATA¹ 2010)

Скорость света	$c = 2,99792458 \cdot 10^8$ м/с	точно
Постоянная Планка	$h = 6,62606957 \cdot 10^{-34}$ Дж·с	
Масса электрона	$m = 9,10938291 \cdot 10^{-31}$ кг	
Заряд электрона	$e = -1,602176565 \cdot 10^{-19}$ Кл	
Коэффициент в законе Кулона	$k = 8,9875517873 \cdot 10^9$ Н·м ² /Кл ²	точно
Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 8,854187817 \cdot 10^{-12}$ Ф/м	
Постоянная Ридберга	$R = 1,0973731568539 \cdot 10^7$ м ⁻¹	

Эталонные значения длин волн спектра атома водорода

	m	обозначение	
красная	3	H_α	656,28
Зеленовато-голубая	4	H_β	486,13
фиолетово-синяя	5	H_γ	434,05
фиолетовая	6	H_δ	410,17
	7	H	397,01

Литература **(нужно исправлять и обновлять!!!!)**

1. Гершензон Е.М., Малов Н.И. Курс общей физики. Оптика и атомная физика.
 2. Савельев И.В. Курс общей физики. т.3.- М.
 3. Лабораторный практикум по общей физике. Под ред. Гершензона Е.М., Малова Н.И.-М., 1985г.
 4. Физический практикум. Электричество и оптика. Под ред. В.Н. Ивероной.- М, 1968г.
- Лабораторные занятия по физике. Под ред. Гольдина Л.Л.-М

¹ CODATA (англ. Committee on Data for Science and Technology — Комитет по данным для науки и техники) — междисциплинарный комитет Международного совета по науке, учрежденный в 1966 году и ставящий своей целью сбор, критическую оценку, хранение и поиск важных данных для задач науки и техники.

<http://physics.nist.gov/cuu/Constants/Table/allascii.txt>

<http://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html>