



6-2

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Иркутский государственный университет»
(ФГБОУ ВПО «ИГУ»)

ИЗУЧЕНИЕ СПЕКТРА ВОДОРОДА

Методические рекомендации

Иркутск 2012

Печатается по решению научно-методического совета кафедры
общей и космической физики
Иркутского государственного университета

Кратко рассматриваются теория строения атома. Студентам предлагается экспериментально с помощью монохроматора пронаблюдать видимые линии серии Бальмера спектра излучения водорода и определить постоянную Ридберга.

Предназначены для студентов 1 и 2 курсов естественных факультетов.

Составители: к.ф.-м.н. Сотникова Р.Т.,
к.ф.-м.н. Черных А.А.

:

ИЗУЧЕНИЕ СПЕКТРА ВОДОРОДА

Цель работы:

Исследование серии Бальмера в видимой области спектра водорода, определение постоянной Ритберга и массы электрона.

Основные приборы и принадлежности:

Универсальный монохроматор УМ-2, водородная газоразрядная трубка с источником питания, неоновая лампа, градуировочный график.

Краткая теория

Опытами Резерфорда по рассеянию α – частиц было установлено, что атом любого химического элемента представляет собой систему зарядов, в центре которой расположено тяжелое положительное ядро с зарядом Ze (Z – атомный номер элемента), имеющее размеры 10^{-12} см, а вокруг ядра расположены Z электронов, расположенных по всему объему, занимаемому атомом.

Ядерная модель атома в сочетании с классической механикой и электродинамикой не в состоянии объяснить ни устойчивость атома, ни характер атомного спектра. Выход был предложен Нильсом Бором, который сформулировал законы движения электрона в атоме в виде постулатов.

1. Электрон в атоме может вращаться только по строго определенным (стационарным) орбитам, радиус которого определяется из условия

$$mVr = n \frac{h}{2\pi} \quad (1)$$

где mVr – момент импульса электрона, h – постоянная Планка, m и V – соответственно масса и скорость электрона, $n = 1, 2, 3, \dots$ – квантовые числа, определяющие принадлежности электрона к той или иной орбите радиуса r .

2. Вращаясь по стационарным орбитам, электрон не излучает энергии.
3. Излучение происходит лишь при переходе электрона из стационарного состояния с большим значением энергии E_2 в другое стационарное состояние с меньшим значением энергии E_1 . При этом излучается квант света, частота (ν) которого определяется из условия

$$h \nu = E_2 - E_1, \quad (2)$$

где $h \nu$ – энергия излучения кванта.

Излучение происходит при переходе электрона с внешних орбит на внутренние. Если возбужденный электрон переходит с внутренних орбит на внешние, то происходит поглощение энергии.

Вычислим радиус стационарных орбит и полную энергию электрона в водородоподобном атоме (атом с порядковым номером Z , из которого удалены все электроны, кроме одного). Уравнение движения электрона имеет вид

$$m \frac{V^2}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r^2} \quad (3)$$

Исключив V из уравнений (1) и (3), получим выражение для радиусов допустимых (разрешенных) орбит:

$$r_n = n^2 \frac{h^2 \epsilon_0}{\pi m Z e^2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (4)$$

Внутренняя энергия атома складывается из кинетической энергии электрона (ядро неподвижно) и энергии взаимодействия электрона с ядром:

$$E = \frac{mV^2}{2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Z\ell^2}{r^2}$$

Из выражения (3) следует, что

$$\frac{mV^2}{2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r^2}, \text{ следовательно, } E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{2r} - \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 \cdot r} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{2r}$$

подставив сюда выражение (4) для r , найдем дозволённые значения внутренней энергии атома:

$$E_n = -\frac{me^4 \cdot Z^2}{8\epsilon_0^2 h^2 n^2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

Из формулы (5) следует, что квантовое число n определяет энергию электрона в атоме, так как остальные величины остаются постоянными.

Состояния с различными значениями энергии называются уровнями. При переходе электронов с одного уровня на другой (более низкий) возникают спектральные линии с частотой

$$\nu = \frac{T_{n_2} - T_{n_1}}{h} = \frac{me^4 Z^2 c}{8\epsilon_0^2 h^3 c} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

Величина

$$R = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^3 c} \quad (6)$$

называется постоянной Ридберга,

тогда

$$\nu = R c Z^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad \text{или} \quad \frac{1}{\lambda} = R Z^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (7)$$

На рис.1 изображены уравнения энергии атома водорода ($Z=1$), а стрелками обозначены переходы между уровнями, соответствующие спектральным линиям.

Из рисунка видно, что линии в спектре водорода можно расположить по сериям. Для всех линий серии h_1 остается постоянным, а h_2 может принимать любые значения от $h_2 = h_1 + 1$ до ∞ .

В настоящей работе изучается серия Бальмера, линии которой лежат в видимой области. Для серии Бальмера $n_1=2$. Величина n_2 для первых четырех линий этой серии принимает значения 3,4,5,6. Эти линии обозначаются символами H_α , H_β , H_γ , H_δ . Для измерения длин волн спектральных линий в работе используется универсальный монохроматор УМ-2.

Методика эксперимента

Для наблюдения спектральных линий серии Бальмера в видимой области в качестве источника излучения используется водородная газоразрядная трубка. Наблюдение спектральных линий водорода (красной, зелено-голубой, фиолетово-синий и фиолетовой) производится визуально, через окуляр 4. Положение этих линий определяется по барабану 4 в градусах. Для перехода от градусов к длинам волн в нанометрах (нм) прибор проградуирован по линиям известных длин волн спектров рту и неона. Кривая градуировки монохроматора прилагается к установке. Проверка сохранности градуировки производится по спектральной линии неона 585,25 нм желтого цвета.

После определения по градуировочному графику длин волн характерных линий водорода производится расчет постоянной Ридберга согласно формуле Бальмера (7).

Принципиальная схема УМ-2

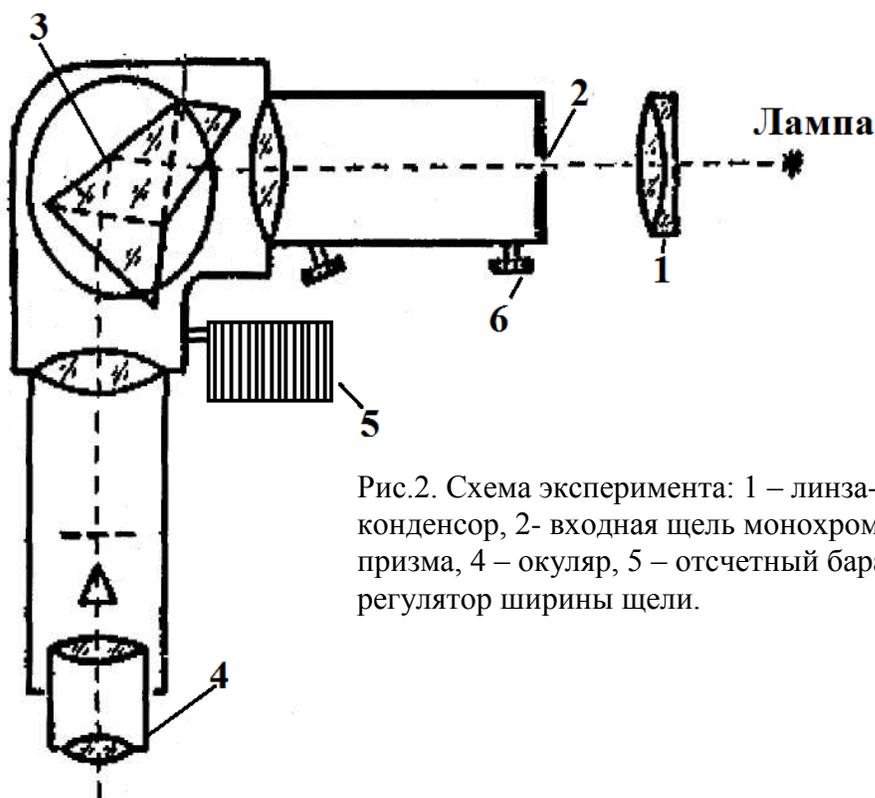


Рис.2. Схема эксперимента: 1 – линза-конденсор, 2- входная щель монохроматора, 3 – призма, 4 – окуляр, 5 – отсчетный барабан, 6 – регулятор ширины щели.

Оптическая схема монохроматора показана на рис.2.

Свет через входную щель 2 попадает на объектив коллиматора и параллельным пучком проходит диспергирующую призму 3. Под углом 90° к падающему пучку света помещается выходная труба монохроматора. Поворачивая призмный столик на различные углы относительно падающего пучка света отсчетным барабаном 5 получают в выходной щели свет различной длины волны.

Зрительная труба состоит из объектива, окуляра 4 и треугольной стрелки-указателя.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомившись с установкой, определить цену одного деления на барабане монохроматора.
2. Проверить сохранность градуировки прибора. Целесообразно проверку производить по спектральной линии неона $585,25$ нм. Для этого устанавливают на рельс неоновую лампу. Устанавливают в монохроматор окуляр (если его нет). Закройте входное отверстие монохроматора колпачком с перекрестием. Сфокусируйте точку на перекрестие, двигая лампу и линзу-конденсор по рельсу (на линзе-конденсоре есть болт, регулирующий наклон влево/право), нужно отцентровать красную точку неоновой лампы так, чтобы луч попадал точно в перекрестие. Убрать перекрестье и визуально убедиться, что луч от неоновой лампы попадает в щель монохроматора.
3. Барабан установлен на делении близком к 2476° .
4. Посмотрев через окуляр внутрь монохроматора, вы увидите вертикальный черный указатель-стрелку. Осторожно (не задевая ползунк-указатель) вращая барабан длин волн и наблюдая в окуляр монохроматора, совместить отдельную яркую желтую линию неона со стрелкой в окуляре. Записываете в протокол отсчет по барабану в градусах (на ползунке-указателе есть риска), обозначив эту величину α_{Ne} . Истинное значение угла поворота барабана для жёлтой линии неона 2476° , но если ваше значение больше или меньше истинного, значит нужно рассчитать поправку для этого монохроматора $\Delta = 2476^\circ - \alpha_{\text{Ne}}$. При дальнейших измерениях уже с водородной лампой нужно учитывать эту поправку.
5. Неоновую лампу отключают и снимают с рельса и укрепляют на него установку с водородной лампой, имеющей собственный источник питания (без преподавателя в сеть не включать).
6. Перемещением линзы-конденсора и водородной лампы по рельсу опять фокусируем изображение лампы на щели монохроматора (для этого можно вновь использовать колпачок с перекрестием). Не забыть убрать колпачок.
7. Вращая барабан, определить положение трех отдельных ярких линий спектра водорода (в градусах): **красной**, соответствующей переходу электрона с энергетического уровня $n_2=3$ на $n_1=2$; **голубо-зеленой**,

соответствующей переходу с $n_2=4$ на $n_1=2$ и **фиолетово-синей** ($n_2=5, n_1=2$).
 Не забыв учесть поправку Δ , занести измерения в таблицу.

8. По градуировочному графику определяют длины волн этих линий в нм ($1\text{нм}=10^{-9}\text{м}$).

Результаты измерений занести в таблицу:

Линия спектра водорода	α^0	λ , нм	R, 1/м
$H_\alpha(n_2=3)$			
$H_\beta(n_2=4)$			
$H_\gamma(n_2=5)$			

9. По формуле Бальмера (7) определить значение постоянной Ридберга. Расчет производится для каждой из найденных длин волн серии Бальмера (т.е. для каждой линии).

10. Определить среднее значение R и, пользуясь коэффициентами Стьюдента, оценить доверительный интервал для надежности 0.95.

11. Сопоставить полученное значение R с табличным.

12. Вычислить из формулы (6) массу электрона. Значения заряда электрона e , электрической постоянной ϵ_0 , постоянной Планка h и скорости света c взять из таблицы основных физических постоянных.

13. Вычислить радиус первой орбиты электрона в атоме водорода ($n=1$) по формуле (4).

Контрольные вопросы

1. Почему непрерывно излучающий атом согласно электродинамике должен упасть на ядро? Как обходит эту трудность теории Бора?

2. Какими опытами подтверждается существование атомов?

3. как формируются постулаты Бора?

4. Как объяснить смысл отрицательного значения энергии электрона в атоме

(формула $E = -\frac{Z^2 e^4 m}{8n^2 n^2 \epsilon_0^2}$)?

5. Как выводится выражение для частоты вращения электрона по круговой орбите?

6. Как определить по рис.1 потенциал ионизации и энергию возбуждения атома водорода?

