

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ
Проректор-директор ФТИ

_____ О.Ю.Долматов
« __ » _____ 2013 г.

**ИЗУЧЕНИЕ СПЕКТРА АТОМА ВОДОРОДА
И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ РИДБЕРГА**

Методические указания к выполнению лабораторной работы О-07
по курсу «Общая физика» для студентов всех специальностей

Составитель Г.В.Коваленок

Издательство
Томского политехнического университета
2013

УДК

Изучение спектра атома водорода и определение постоянной Ридберга: методические указания к выполнению лабораторной работы О-07 по курсу «Общей физики» для студентов всех специальностей / составитель Г.В. Коваленок; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 12 с.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы
к изданию методическим семинаром кафедры
теоретической и экспериментальной физики
«___» _____ 2012 г.

Зав. кафедрой ТиЭФ
доктор физ.-мат. наук,
профессор

_____ *В.Ф. Пичугин*

Председатель
учебно-методической комиссии

_____ *С.И. Борисенко*

Рецензент

Кандидат физ.– мат. наук,
доцент кафедры ТиЭФ ТПУ
Н.С. Кравченко

- © Составление. ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», 2012
- © автор Коваленок Г.В., составление, 2002
- © Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2012

ИЗУЧЕНИЕ СПЕКТРА АТОМА ВОДОРОДА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ РИДБЕРГА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучить видимую область спектра атома водорода и определить постоянную Ридберга

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: универсальный монохроматор УМ-2, ртутная газоразрядная трубка с блоком питания, газоразрядная трубка с водородом с блоком питания.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Известно, что изолированные атомы испускают линейчатые спектры. Линии в атомарных спектрах располагаются не беспорядочно, а составляют определенные группы или, как принято говорить, серии. Наиболее простой спектр имеет атом водорода. Расположение линий в атомарном спектре водорода описывается формулой Бальмера:

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

где λ - длина волны; R - постоянная Ридберга, константа для всех серий в спектре атома водорода; n - целое число, имеющее определенное значение для каждой серии; m - целое число, принимающее для каждой серии последовательный ряд значений от $n+1$ до ∞ . Величина, обратная длине волны называется волновым числом $\tilde{\nu}$ число волн, укладывающихся на 1 см):

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} \text{ (см}^{-1}\text{)} \quad (2)$$

Тогда формула (1) перепишется (1')

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

Из этого соотношения следует, что по мере увеличения m расстояние между двумя соседними спектральными линиями уменьшается и при $m=\infty$ получается предельное значение волнового

числа $\tilde{\nu}_{\infty} = \frac{R}{n^2}$ около которого сгущаются спектральные линии. $\tilde{\nu}_{\infty}$ называют границей серии.

Шведский физик Ридберг показал, что не только в спектре водорода, но и в спектрах некоторых других элементов волновые числа линий могут быть представлены в виде разности двух функций от целых чисел m и n

$$\tilde{\nu} = T(n) - T(m) \quad (3)$$

Для каждой серии $T(n)$ имеет постоянное значение, $T(m)$ - переменное. Эти функции называют спектральными термами. Зная систему термов для данного элемента, можно рассчитать положение любой линии в спектре как разность двух термов. Это положение называется комбинационным принципом.

Природа спектральных термов была раскрыта в теории Бора. Выяснилось, что комбинационный принцип Ридберга выражает один из основных законов физики, которому подчиняется процесс излучения света атомом.

Согласно теории Бора атом имеет ряд строго определенных значений энергии $E_1, E_2, E_3 \dots$, которые называют энергетическими уровнями. При переходе атома с одного энергетического уровня на другой испускается или поглощается один квант энергии $h\nu$ (h - постоянная Планка, ν - частота световой волны). Если энергия атома до излучения E_m , а после излучения - E_n , то

$$h\nu = E_m - E_n \quad (4)$$

или $\nu = \frac{c}{\lambda}$, тогда $\nu = c\tilde{\nu}$, где c - скорость света, и формула (4) переписывается:

$$\tilde{\nu} = \frac{E_m}{ch} - \frac{E_n}{ch} \quad (5)$$

Из сопоставлений формул (3) и (5) следует, что спектральные термы с точностью до аддитивной постоянной пропорциональны значениям энергии атома E_i :

$$T_i = -\frac{E_i}{ch}$$

Знак минус учитывает, что при соответствующем выборе нулевого значения потенциальной энергии, энергия атома отрицательна.

Если атом находится в нормальном состоянии, которое характеризуется наименьшей энергией, то есть на самом нижнем энергетическом уровне, то в этом состоянии он не излучает. Если благодаря какому-либо внешнему воздействию атом будет переведен в другое стационарное состояние с большей энергией - поднят на более высокий уровень, (т.е. находится в возбужденном состоянии)- то, возвращаясь обратно, он испускает определенную линию, волновое число которой определяется соотношением (5).

Из соотношений (1') и (5) можно рассчитать энергию атома водорода для всех стационарных состояний: $E_n = -Rhc \frac{1}{n^2}$

где n пробегая значения $1, 2, 3, \dots, \infty$, обозначает номер энергетического уровня. Согласно этим представлениям целые числа n и m в серийной формуле (1) - номера уровней, на который и с которого, соответственно, совершает переход атом в процессе излучения. Расположение уровней и соответствующие переходы для атома водорода представлены на рис.1.

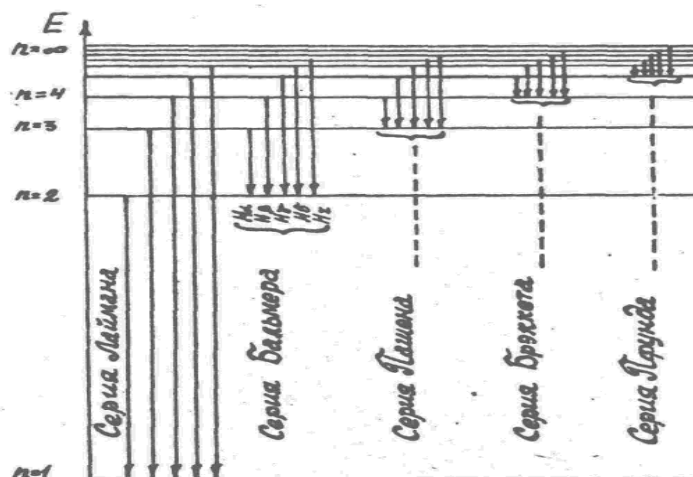


Рис.1 Схема энергетических уровней атомов водорода.

Спектр атома водорода состоит из нескольких серий, расположенных в различных спектральных областях:

а) серия Лаймана - -крайняя ультрафиолетовая часть спектра, возникает при переходе атома с одного из высших уровней $m=2, 3, 4, \dots$ на основной, $n=1$

$$\tilde{\nu} = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (6)$$

б) серия Бальмера - видимая область спектра, возникает при переходе атома с одного из высших уровней $m=3, 4, 5, \dots$ на второй $n=2$.

$$\tilde{\nu} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (7)$$

в) серия Пашена - инфракрасная часть спектра, возникает при переходе атома с одного из высших уровней $m=4, 5, 6, \dots$ на третий $n=3$

$$\tilde{\nu} = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (8)$$

В более далекой инфракрасной части спектра лежат еще две серии: Брэккетта и Пфунда.

В настоящей работе измеряются четыре первые линии серии Бальмера. Обычно удается измерить длины волн только для первых трех линий этой серии, иногда удается увидеть линию Нδ. Линии эти соответственно обозначаются символами :

Н α – красная линия ($m=3$) ; Н β – сине-голубая ($m=4$)
 Н γ – сине-фиолетовая ($m=5$) ; Н δ – фиолетовая ($m=6$)

и, по формуле (7) вычисляется постоянная Ридберга для каждой измеренной спектральной линии. Затем находят среднее значение этой константы.

Согласно теории Бора постоянная Ридберга равна

$$R = \frac{e^4 \cdot m}{8\epsilon_0^2 h^3 c}, \quad (9)$$

где e – заряд электрона, $e = 1,60 \cdot 10^{-19}$ Кл; m – масса покоя электрона, $m = 9,11 \cdot 10^{-31}$ кг; c – скорость света в вакууме, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с; ϵ_0 – электрическая постоянная, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

$R = 10,97 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$ – табличное значение постоянной Ридберга.

$h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – табличное значение постоянной Планка.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Изучение спектра производится на монохроматоре УМ-2, спектральный диапазон которого 380-1000 нм. Внешний вид и оптическая схема этого прибора представлены на рис. 2 и 3. Основные части монохроматора (рис.2)- коллиматор 3, призмный столик 4 с расположенными на нем призмами 5, выходная труба 6, входная 1 и выходная 8 щели, зрительная труба 7, барабан длин волн 9 и рельс 10, на котором крепится прибор.

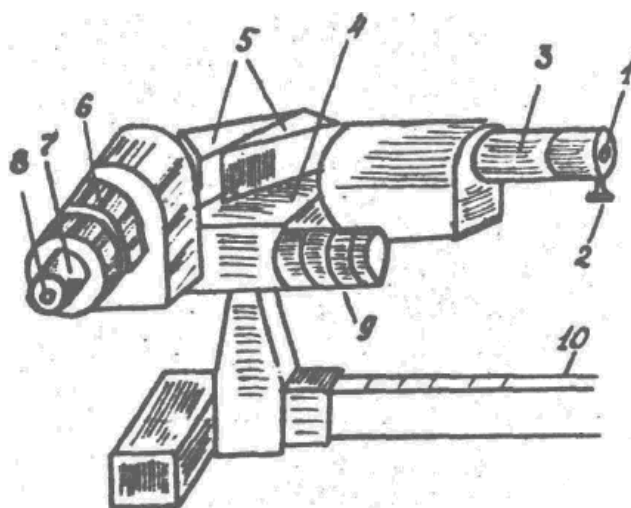


Рис. 2. Монохроматор УМ-2

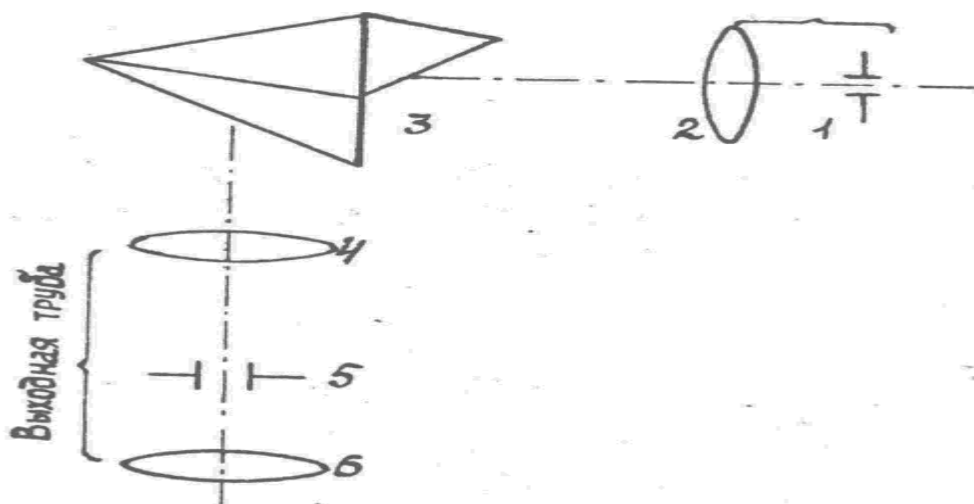


Рис.3 Оптическая схема монохроматора

Коллиматор. Прибор предназначен для получения параллельного пучка света, падающего на призму. Свет от источника света проходит через входную щель 1 (рис. 3) и падает расходящимся пучком на объектив 2, расположенный на фокусном расстоянии от щели. Из объектива параллельный пучок лучей направляется на призму 3, которая разлагает свет на монохроматические составляющие и одновременно поворачивает световой пучок на 90° .

Выходная труба предназначена для сортировки световых лучей по их цветности, то есть - для получения четкого спектра. Лучи, имеющие определенную длину волны λ_1 , падают на объектив 4 параллельным пучком и собираются объективом в определенном месте фокальной плоскости, лучи другой длины волны λ_2 также параллельны между собой, но падают под несколько другим углом на линзу 4, поэтому собираются в другом месте фокальной плоскости. Таким образом, в фокальной плоскости зрительной трубы получают спектр, который является не чем иным, как цветным изображением входной щели. Выходная щель 5 располагается в фокальной плоскости объектива 4 и поворачивая призмный столик с помощью барабана длин волн 9 (рис.2), проектирует на входную щель различные спектральные участки.

Спектр может наблюдаться с помощью окуляра 7 (рис. 2) или 6 (рис. 3), либо регистрироваться каким-нибудь регистрирующим устройством. Для установки положения спектральной линии в плоскости выходной щели имеется индекс в виде острья.

Индекс наблюдается через окуляр. Вывод спектральной линии на индекс производится с помощью барабана длин волн. Окуляр можно установить по глазу наблюдателя на резкость изображения индекса и спектральной линии, путем вращения.

На барабане длин волн деления нанесены в градусах. При повороте барабана на одно деление (2°), система призм поворачивается на $20''$. Чтобы выразить показания шкалы барабана в длинах волн, производят градуировку шкалы барабана. Для этой цели используют в качестве источника света ртутную газоразрядную трубку, с известным расположением линий. Совмещая линии спектра с выходной щелью монохроматора, берут отсчеты по барабану длин волн. По этим данным строят градуировочный график: на оси ординат - деления отсчетного устройства, на оси абсцисс - соответствующие длины волн.

Таким образом, данная работа состоит из двух частей: градуировки монохроматора и измерения длин волн в видимой части водородного спектра с последующим вычислением постоянной Ридберга.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Градуировка монохроматора.

1. Ртутную газоразрядную трубку установить на рельс монохроматора (на расстоянии 5-10 см от щели), и включить блок питания в сеть (220 В).

2. Вывести с помощью барабана длин волн в поле зрения любую спектральную линию. Установив ширину входной щели с помощью микрометрического винта 2 (рис.2) и, поворачивая оправу окуляра, получить четкое изображение спектральной линии и индекса окуляра. При правильном расположении источника света все линии спектра должны быть ровно и ярко освещены.

3. Последовательно совместить все линии спектра ртути с индексом окуляра, делая при каждом совмещении отсчеты по барабану длин волн. Данные занести в табл. 1. Длины волн спектра ртути берут из спектральной таблицы.

Таблица 1

λ						
n_0						

Спектр ртути (Hg)



4. По данным таблицы 1 строить градуировочный график на миллиметровой бумаге. Масштаб выбирать так, чтобы график позволял определять λ с точностью до 1 нм. Градуировочную кривую провести плавно с помощью лекала и карандаша.

Измерение длин волн в серии Бальмера и вычисление постоянной Ридберга.

5. Установить блок питания с водородной трубкой на рельс монохроматора (на расстоянии 5-10 см от щели), и включить её блок питания в сеть (220 В). Повторяют операцию 2.

6. Рассмотреть спектр водорода в окуляр и надежно установить, какие именно линии этого спектра соответствуют линиям $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$ и $H\delta$ путем сопоставления полученного спектра с его изображением на рисунке, который прикладывается к данной работе.

7. Приступить к определению положения указанных линий, повторив операцию 3. Отсчеты занести в табл. 2. По градуировочной кривой определить λ для всех четырех линий. Затем вычислить с точностью до одного обратного сантиметра волновые числа этих же линий. Данные занести в таблицу 2.

Таблица 2

m				
n^0				
λ , нм				
$\tilde{\nu}$, см				
R, см				

8. Подставить в формулу (7) найденные на опыте волновые числа и указанные в табл. 2 квантовые числа m для каждой линии и вычислить постоянную Ридберга для измеренных линий. Значение R надо вычислить с точностью до одного обратного сантиметра, затем найти её среднее значение. Сравнить с теоретическим значением, рассчитанным по формуле (9).

9. Вычислить погрешность в определении постоянной Ридберга. Для вычисления значения погрешности $\Delta\lambda$ поступить следующим образом. На градуировочной кривой монохроматора построить симметрично с ней две кривые так, чтобы расстояние между ними по горизонтали было равно удвоенной погрешности шкалы барабана длин волн. Расстояние между этими кривыми, по вертикали, разделенное на 2, даст погрешность $\Delta\lambda$ на данном участке спектра (рис.4).

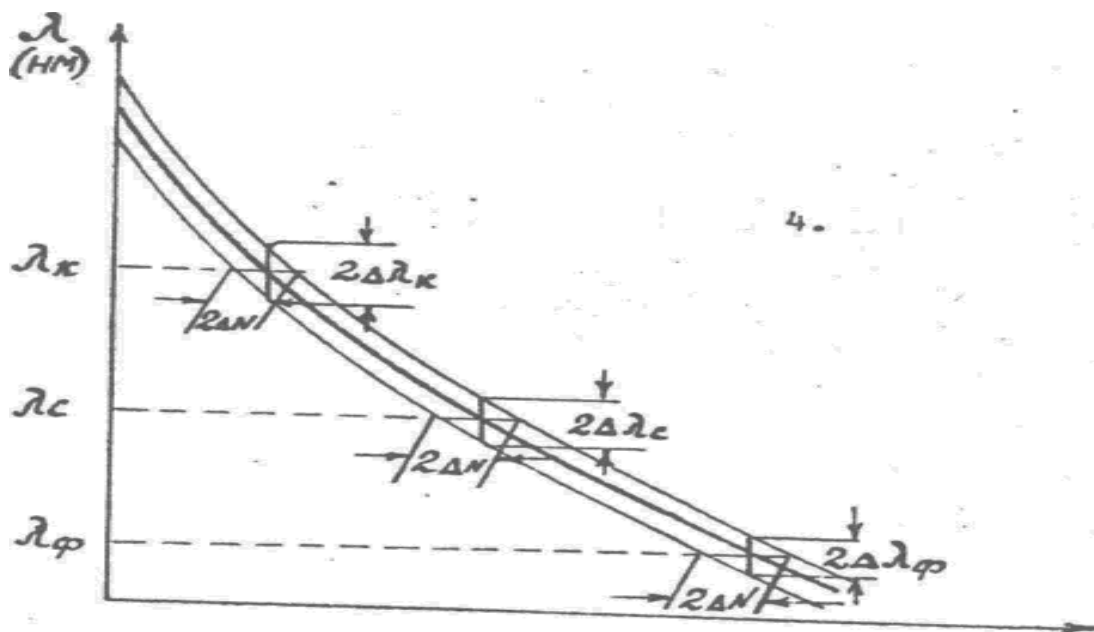


Рис. 4. К подсчету погрешности

Отчет составляют в следующей последовательности: цель работы, краткая теория, описание экспериментальной установки (оптическая схема монохроматора, принцип действия). Таблицы с результатами измерений, график, подсчет погрешности, выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие закономерности наблюдаются в спектре Атома водорода? Какой вид имеет сериальная формула для водорода, смысл величин, входящих в эту формулу?
2. Что называют волновым числом, в каких единицах оно измеряется?
3. В чем состоит комбинационный принцип? Что называют спектральными термами?
4. Какие серии линий существуют в спектре водорода? Каково их происхождение по теории Бора?
5. Назначение и устройство монохроматора. Каков ход лучей в этом приборе?
6. В чем состоит градуировка монохроматора? Как по градуировочной кривой определить длины волн в спектре атома водорода?
7. Энергия атома водорода в основном состоянии равна 13,6 эВ. Используя полученные значения длин волн линий $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$, $H\delta$, вычислить энергии стационарных состояний, переходы которых соответствуют этим линиям.
8. На рис.1 найдите самую коротковолновую и самую длинноволновую линию. Каким переходам они соответствуют?

ЛИТЕРАТУРА

1. Фриш С.Э., Тимофеева А.В. Курс общей физики, М.:Физматгиз, 1970г.
2. Сивуэйн Д.В. Курс общей физики. Том 3. М.:Физматлит, 2005.
3. Матвеев А.Н, Атомная физика, М.: Высшая школа, 1989 г.
4. Савельев И.В. Курс Физики, т. 3, М.: Наука, 1990.

Учебное издание

ИЗУЧЕНИЕ СПЕКТРА АТОМА ВОДОРОДА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ РИДБЕРГА

Методические указания к выполнению лабораторной работы О-07
по курсу «Общая физика» для студентов всех специальностей

Составитель

КОВАЛЕНОК Галина Васильевна

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати _____ 2012. Формат 60х84/16. Бумага «Снегурочка».

Печать XEROX. Усл.печ.л. 9,01. Уч.-изд.л. 8,16.

Заказ . Тираж _____ экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru