

Ярославский государственный педагогический
университет им. К. Д. Ушинского

Лабораторная работа № 5
Определение постоянной
Ридберга

Ярославль
2005

Оглавление

1.	Краткая теория	3
2.	Описание установки	6
3.	Порядок настройки монохроматора УМ-2	8
4.	Порядок выполнения работы	9
	Задание 1.	9
	Задание 2.	10
5.	Контрольные вопросы	11

Лабораторная работа № 5

Определение постоянной Ридберга

Цель работы: изучить работу монохроматора и проградуировать его; получить спектр водорода и определить длины волны линий в спектре; определить постоянную в формуле Бальмера.

Приборы: монохроматор УМ-2, ртутная лампа, спектральная трубка, наполненная водородом, высоковольтный индуктор.

Литература:

1. Г.С.Ландсберг. Оптика.
2. И.В.Савельев. Курс общей физики. том 3.

1. Краткая теория

Исследование спектра излучения атомарного газа и паров различных веществ показывает, что он состоит из набора дискретных линий различной интенсивности, соответствующих различным длинам волн. Каждое вещество имеет свой присущий только ему набор длин волн — спектр.

Спектры атомов различных веществ чрезвычайно разнообразны, некоторые вещества, например, железо, насчитывает около тысячи линий.

Наиболее простым является спектр атома водорода. В видимой области он состоит из четырех линий (рис. 1.1).

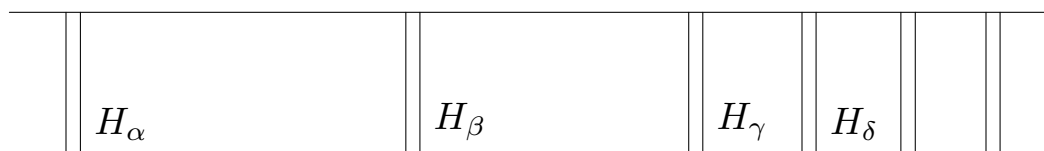


Рис. 1.1

Из спектрограммы видно, что линии спектра располагаются не беспорядочно, а в определенном порядке — подчиняются некоторой закономерности. Изучая расположение линий в спектре атомарного водорода, Бальмер в 1885 г. дал эмпирическую формулу, которая связывает длины волн этих линий, λ_m — длина волны каждой из четырех линий водорода может быть получена из соотношения:

$$\lambda_m = A \frac{m^2}{m^2 - 4},$$

$A = \text{const}$,

m — ряд последовательных целых чисел, начиная с трех.

Если ввести вместо λ частоту ν , то формула Бальмера примет вид:

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

В практической спектроскопии ν — частоту заменяют величиной $N = \frac{\nu}{c} = \frac{1}{\lambda}$, которая называется волновым числом. Волновое число показывает, сколько длин волн укладывается в единицу длины. Таким образом, серия водорода описывается соотношением:

$$N = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (1.1)$$

$m = 3, 4, 5, 6, \dots$,

R — постоянная Ридберга.

Излучение водорода в ультрафиолетовой части спектра и инфракрасной подчиняется аналогичным закономерностям.

Серия Лаймана в дальней ультрафиолетовой части спектра:

$$N = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad m = 2, 3, 4, \dots$$

Серия Пашена в инфракрасной области спектра:

$$N = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad m = 4, 5, 6, \dots$$

Следовательно, все линии водорода можно разделить на ряд серий, представленных общей формулой:

$$N = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad \begin{array}{l} n = 1, 2, 3, \dots \\ m - \text{целое число } (m > n) \end{array} \quad (1.2)$$

Число n определяет серию, m — отдельную линию в серии.

При $n = 1$ получим серию Лаймана, при $n = 2$ — серию Бальмера, при $n = 3$ — серию Пашена. Общим для всех серий является то, что любое волновое число может быть получено как разность двух постоянных величин: $\frac{R}{n^2}$ и $\frac{R}{m^2}$ которые называются термами. Если ввести обозначения:

$$\frac{R}{n^2} = T(n) \quad \frac{R}{m^2} = T(m),$$

то $N = T(n) - T(m).$ (1.3)

Излучение веществ связано с процессами, происходящими внутри атома. На основании теории Бора, процесс излучения можно представить следующим образом.

В обычных условиях атомы пара и газа не излучают и находятся в невозбужденном состоянии. Электроны в атоме занимают положения, соответствующие минимальному значению потенциальной энергии для данных условий (находятся на орбитах более близких к ядру). Если атому сообщить некоторую энергию, то электроны, поглотив ее, переходят на более далекие орбиты. Такое состояние атома называется возбужденным. В возбужденном состоянии атом находится около 10^{-8} с., после чего возвращается в первоначальное состояние или другое, с меньшим значением потенциальной энергии электронов, чем при возбужденном. При этом излучается квант энергии, частота которого определяется из соотношения:

$$\nu = \frac{1}{h}(E_m - E_n) \quad \text{или} \quad N = \frac{1}{hc}(E_m - E_n), \quad (1.4)$$

где E_n и E_m — энергия системы в первом и втором стационарных состояниях.

Если сравнить соотношение (1.3), полученное из серийных формул, и (1.4), то ясно, что термы серийных формул имеют определенный физический смысл. Они связаны с энергией стационарных состояний электронов в атоме:

$$T(n) = \frac{1}{hc}E_n, \quad T(m) = \frac{1}{hc}E_m,$$

где m и n — номера энергетических уровней.

Линии серии Бальмера получаются при переходе электронов с более далеких энергетических уровней на второй (рис. 1.2). Линии серии Пашена при переходе на третий уровень.

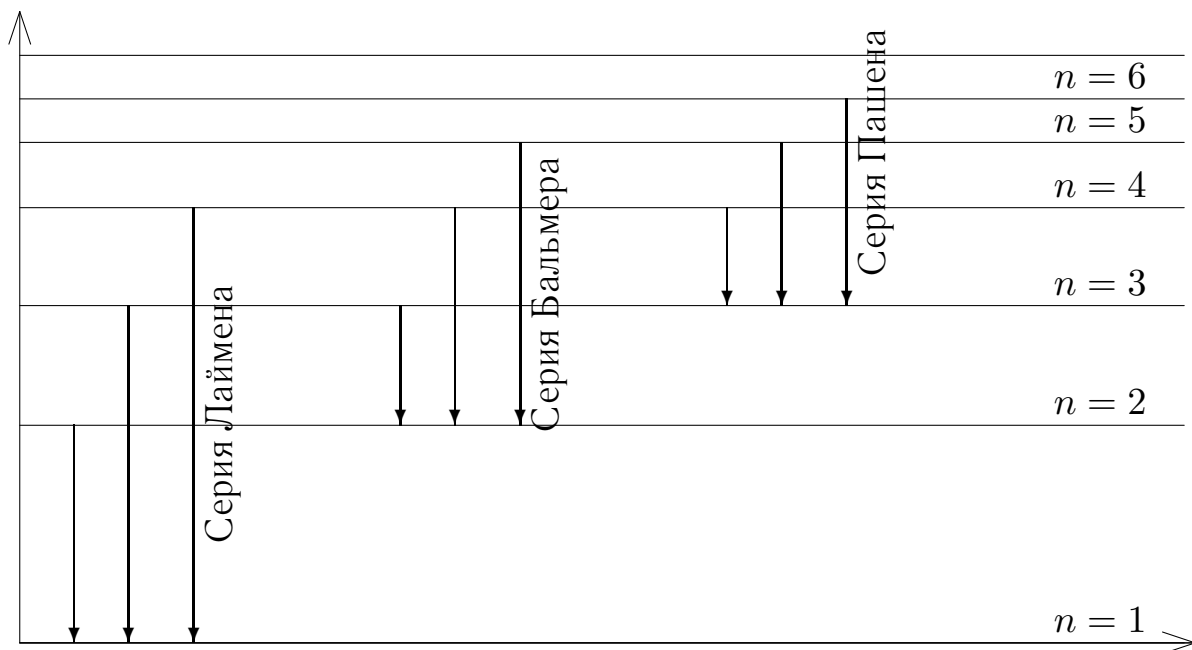


Рис. 1.2

Как уже отмечалось, чтобы атом излучал энергию, необходимо перевести его в возбужденное состояние. Возбуждение может быть вызвано соударением атомов друг с другом или с различными частицами: ионами, электронами. Такие процессы происходят в газоразрядных трубках. Если трубку наполнить разряженным газом и поместить в электростатическое поле высокого напряжения, то газ начинает светиться. Кинетическая энергия налетающей частицы превращается в потенциальную энергию возбужденного атома.

В нашей работе надо определить R – постоянную Ридберга. Это одна из важнейших констант. Она позволяет рассчитать энергию электрона в атоме водорода из соотношения:

$$E_n = -\frac{hcR}{n^2}.$$

Для определения R из серии Бальмера надо знать длины волны видимой части спектра водорода. Для этого используют монохроматор УМ-2.

2. Описание установки

Экспериментальная установка состоит (рис. 2.1) из монохроматора УМ-2, используемого в данной работе в качестве спектроскопа, ртутной лампы с фокусирующей системой (одна или две линзы) и блоком питания,

а также водородной трубки с источником питания (выпрямитель ВС-4-12).

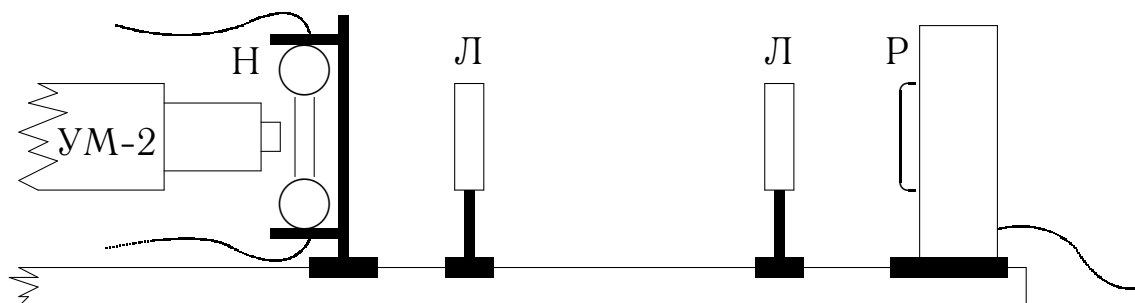


Рис. 2.1.

Н – водородная трубка УМ-2 – монохроматор
Л – линза Р – ртутная лампа

Монохроматор состоит из коллиматора (1), призмного столика (2) и зрительной трубки (3) (рис. 2.2). В коллиматоре находится щель (4) и система линз, которая служит для формирования узкого параллельного пучка света, падающего на диспергирующую призму. Призма закреплена на призмном столике, который может поворачиваться микрометрическим винтом (6). Микрометрический винт связан с барабаном (7). На барабане нанесены деления в градусах (цена деления 2°). Отсчет по барабану производится по указателю (8).

Свет, пройдя через призму, разлагается в спектр и попадает в зрительную трубку (3). В фокальной плоскости окуляра (12) зрительной трубы наблюдают спектр вещества. При вращении микрометрического винта (6) линии спектра перемещаются в поле зрения окуляра.

Ход лучей в оптической системе монохроматора дан на рис. 2.3. Для определения длин волн в спектре водорода, надо сначала проградуировать монохроматор.

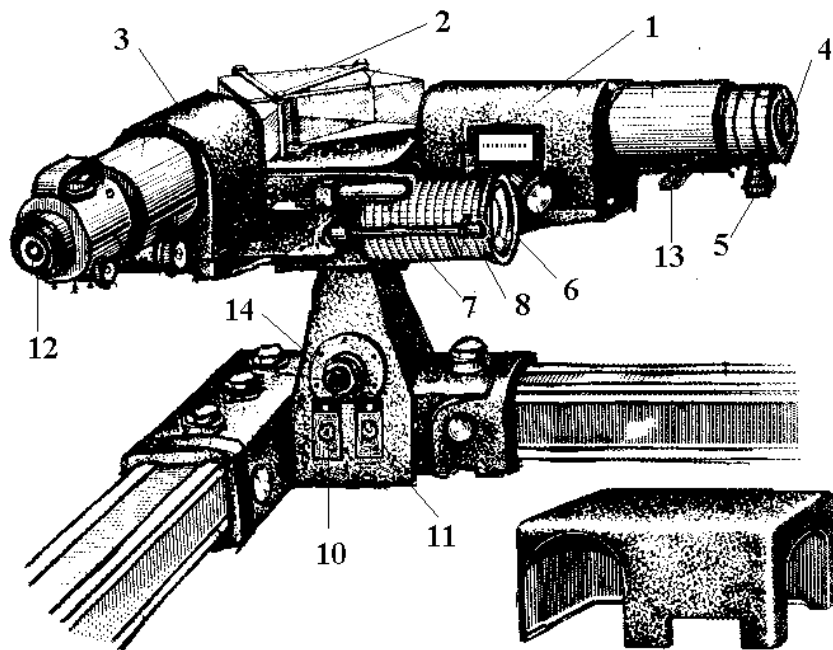


Рис. 2.2

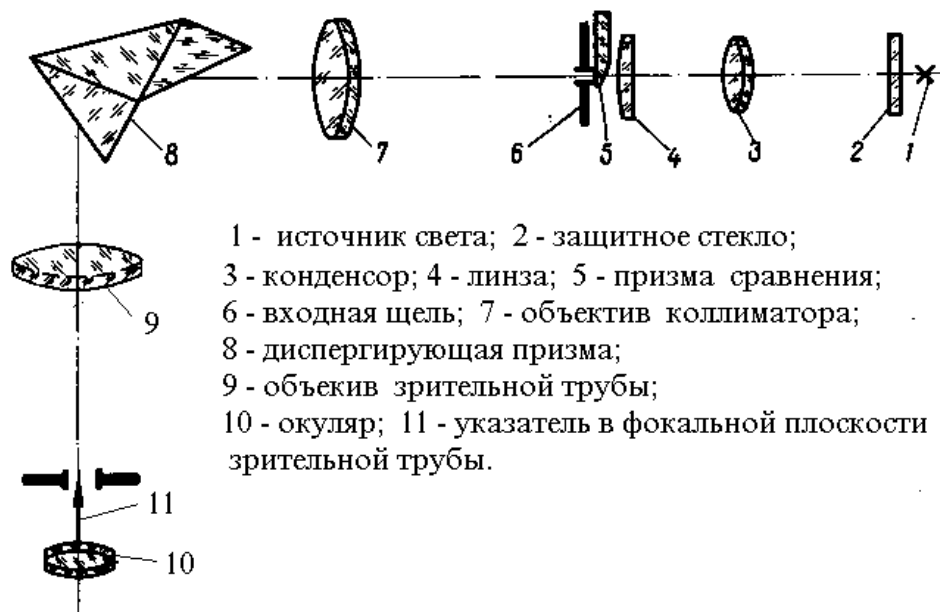


Рис. 2.3

3. Порядок настройки монохроматора УМ-2

1. Включить тумблеры подсветки шкал и визира (10, 11).
2. Перекрыть световой поток в монохроматоре выключателем 13.

3. Вращая окуляр, добиться четкого изображения светящегося визира и реостатом 14 установить яркость.
4. Открыть световой поток в монохроматоре выключателем 13.
5. Установить нужный размер щели (минимально возможный размер, но чтобы хорошо просматривались все нужные линии) винтом 5.

4. Порядок выполнения работы

Задание 1. Градуировка монохроматора.

Проградуировать монохроматор, это значит указать, каким длинам волн, частотам соответствуют показания барабана прибора. Для градуировки используют источники, в спектре которых длины волн хорошо известны. В нашей работе градуировку проводят по спектру ртути. Спектр ртути с указанием длин волн дан на рисунке 4.1.

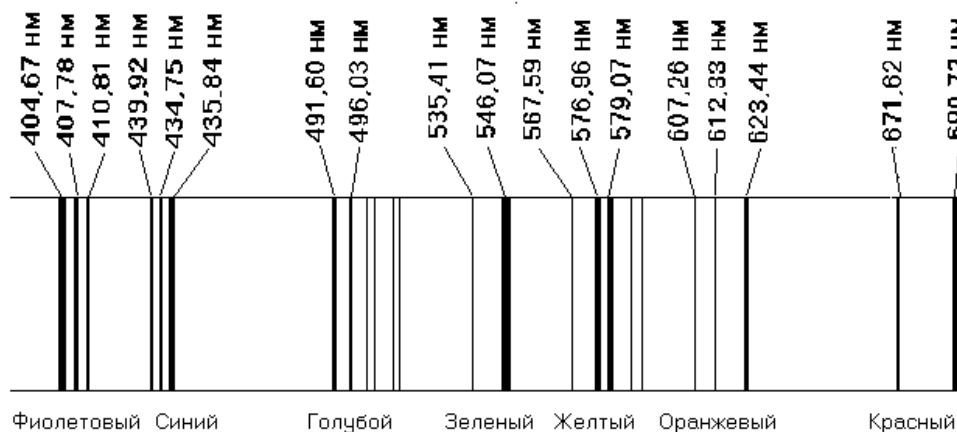


Рис. 4.1

Ртутно-кварцевая лампа стоит на оптической скамье монохроматора и закрыта защитным металлическим кожухом. Свет от лампы фокусируется на входную щель монохроматора системой линз. Зажигают лампу, нажатием черной кнопки пускателя, и в фокусе окуляра наблюдают спектр ртути. Если линии спектра широкие, надо уменьшить размеры входной щели винтом 5.

Затем, вращая барабан (7) ставят линии спектра против указателя окуляра и снимают показания барабана.

Данные заносятся в таблицу:

Длина волны λ	690,7 нм	671,62 нм	и т.д.
Показания барабана			

Рекомендуется измерить все красные и оранжевые линии и не менее пяти самых ярких линий в остальных областях спектра ртути.

По полученным данным строят градуировочную кривую на миллиметровой бумаге. Точки графика соединяют плавной кривой по лекалу.

Также методом наименьших квадратов можно по полученным экспериментальным точкам найти аналитическую форму зависимости длины волны от показаний барабана монохроматора.

Можно подобрать эмпирическую формулу достаточно хорошо согласующуюся с градуировочным графиком:

$$\nu = A_0 + A_1\varphi + A_2\varphi^2 + A_3\varphi^3 + \dots$$

ν — частота излучения в нм,

φ — поворот барабана монохроматора в градусах.

На практике вполне достаточно оказывается ограничиться квадратичным приближением:

$$\nu = A\varphi^2 + B\varphi +$$

или, что аналогично

$$\lambda = \frac{1}{A\varphi^2 + B\varphi + C} \quad (4.5)$$

Задание 2. Определение длины волны в спектре водорода и расчет постоянной Ридберга.

Для этого непосредственно перед щелью монохроматора ставят газоразрядную трубку, наполненную водородом. К трубке подводится напряжение и в окуляре наблюдаются линии спектра водорода. Выбирают наиболее яркие линии. Таких линий можно видеть три или четыре: красная, голубая и одна - две фиолетовых. Они принадлежат атомарному водороду. Ставят линии перед указателем окуляра и каждый раз снимают показания барабана. Затем, по градуировочной кривой (из задания 1) или

по аналитической формуле, найденной методом наименьших квадратов, определяют длины волн, соответствующие этим линиям. Значения λ_k , λ_g , λ_f используют для вычисления постоянной Ридберга по формуле:

$$R = \frac{4m^2}{\lambda(m^2 - 4)},$$

где $m = 3, 4, 5, (6)$ соответственно.

Из полученных данных найти R . Оцените ошибку в определении постоянной Ридберга.

Отчет по работе должен содержать:

1. Оптическую схему монохроматора и ход лучей в нем.
2. Таблицу для построения градуировочной кривой, график градуировочной кривой, значения длин волн линий в спектре водорода. (Распечатанные на принтере или выполненные вручную).
3. Расчет постоянной Ридберга.

5. Контрольные вопросы

1. Спектры излучения. Закономерности в спектре излучения водорода.
2. Формула Бальмера.
3. Строение атома по модели Резерфорда-Бора.
4. Постулаты Бора. Излучение энергии атомом.
5. Объяснение спектральных закономерностей по теории Бора.
6. Устройство и работа монохроматора УМ-2
7. От чего зависит точность определения постоянной Ридберга в данном методе?