

# Лабораторная работа 2.1

## Изучение спектров атомов водорода и йода

Нехаев Александр, гр. 654

31 октября 2018 г.

### Содержание

1. Введение	1
2. Ход работы	3
3. Вывод	5

### 1. Введение

**Цель работы:** в работе исследуются спектральные закономерности в оптическом спектре водорода и спектр поглощения йода в видимой области.

**Теоретическое введение** Длины волн спектральных линий водородоподобного атома описываются формулой

$$\frac{1}{\lambda_{mn}} = RyZ^2 \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (1)$$

где  $Ry$  – постоянная Ридберга, а  $m, n$  – целые числа.

Использование постулатов Бора с учетом кулоновского взаимодействия между ядром и электроном позволяет легко определить возможные энергетические состояния водородоподобного атома. Если считать ядро неподвижным, то эти энергетические состояния определяются выражением

$$E_n = -\frac{2\pi^2 m_e e^4 Z^2}{h^2} \frac{1}{n^2} \quad (2)$$

Знание энергетических состояний атома позволяет в соответствии с формулой (2) определить возможные частоты его излучения и объяснить наблюдаемые закономерности.

В данной работе изучается серия Бальмера, линии которой лежат в видимой области, и изотропический сдвиг между линиями водорода. Для серии Бальмера в формуле (1)  $n = 2$ . Величина  $m$  для первых четырёх линий этой серии принимает значение 3, 4, 5, 6.

Боровский радиус (радиус первой орбиты) для электрона в поле ядра с зарядом  $Z$ :

$$r_B = \frac{h^2}{Zm_e e^2} \quad (3)$$

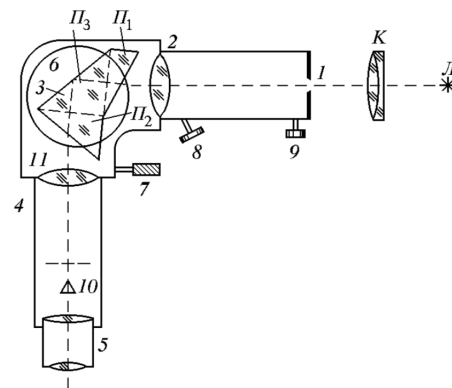


Рис. 1: Схема экспериментальной установки

Энергия основного состояния:

$$E = -\frac{m_e e^4}{2\hbar^2} = -RZ^2 \quad (4)$$

Аналогичным образом могут быть найдены энергии возбужденных состояний. Дискретные значения энергии электрона в атоме получаются из того условия, что на длине орбиты, по которой движется электрон, должно укладываться целое число волн де Бройля. Если радиус орбиты равен  $r$ , то  $n$ -му состоянию электрона соответствует условие

$$2\pi r = \lambda n \quad (n \in \mathbb{N}); \quad m_e v_n = \frac{nh}{2\pi r} \quad (5)$$

Аналогично пп. (3)-(4):

$$r_B = \frac{n^2 \hbar^2}{Z m_e e^2} \quad (6)$$

$$E = -\frac{m_e e^4}{2\hbar^2} \frac{1}{n^2} Z^2 = -Ry \frac{Z^2}{n^2} \quad (7)$$

**Экспериментальная установка.** Для измерения длин волн спектральных линий в работе используется стеклянно-призменный монохроматор-спектрометр УМ-2, предназначенный для спектральных исследований в диапазоне от 0.38 до 1.00 мкм.

Спектрометр УМ-2 нуждается в предварительной градуировке. Для градуировки в коротковолновой части спектра удобно применять ртутную лампу ПРК-4, а в длинноволновой и средней — неоновую лампу.

При подготовке УМ-2 к наблюдениям особое внимание следует обращать на тщательную фокусировку, с тем чтобы указатель 10 и спектральные линии имели четкие, ясные границы.

Основные элементы монохроматора представлены на рис. 1

- 1) Входная щель 1, снабжённая микрометрическим винтом 9, который позволяет открывать щель на нужную ширину (в диапазоне 0.01-4 мм).
- 2) Коллиматорный объектив 2, снабженный микрометрическим винтом 8. Винт позволяет смещать объектив относительно щели при фокусировки спектральных линий различных цветов.
- 3) Сложная спектральная призма 3, установленная на поворотном столике 6. Призма 3 состоит из 3-х склеенных призм  $P_1$ ,  $P_2$  и  $P_3$ . Первые две призмы с преломляющими углами  $30^\circ$  изготовлены из тяжёлого флинта, обладающего большой дисперсией. Промежуточная призма  $P_3$  сделана из крона. Лучи отражаются от её гипотенузной грани и поворачиваются на  $90^\circ$ . Благодаря такому устройству дисперсия призм  $P_1$  и  $P_2$  складываются.
- 4) Поворотный столик 6, вращающийся вокруг вертикальной оси при помощи микрометрического винта 7 с отсчётным барабаном. На барабан нанесена винтовая дорожка с градусными делениями. Вдоль дорожки скользит указатель барабана. При вращении барабана призма поворачивается, и в центре поля зрения появляются различные участки спектра.
- 5) Зрительная труба, состоящая из объектива 4 и окуляра 5. Объектив дает изображение входной щели 1 различных цветов в своей фокальной плоскости. В этой же плоскости расположено острие указателя 10. Изображение щели рассматривается через окуляр 5. В случае необходимости окуляр может быть заменен выходной щелью,

пропускающей всего одну из линий спектра — тогда прибор служит монохроматором. В нашей работе выходная щель не применяется, то есть прибор используется как спектрометр.

- 6) Массивный корпус 11, предохраняющий прибор от повреждений и загрязнений.
- 7) Оптическая скамья, на которой могут перемещаться рейтеры с источником света Л и конденсором К, служащим для концентрации света на входной щели. Входная щель спектрометра, конденсор и источник должны быть на одной высоте. Проходящий через входную щель световой пучок хорошо заполняет конденсор и призму, если выполнено соотношение  $D_k/b = D_2/f_2 = 1/6$ , где  $D_k$  — диаметр конденсора,  $b$  — расстояние от конденсора до входной щели,  $D_2$  и  $f_2$  — диаметр и фокусное расстояние коллиматорного объектива 2.

**Водородная лампа.** В опытах по изучению длин волн бальмеровской серии источником света служит водородная трубка Н-образной формы, питаемая от источника высокого напряжения. Наибольшая яркость спектра достигается в том случае, когда источником света служит торец горизонтальной части трубки — капилляра (перемычки в букве Н).

Для увеличения яркости интересующих нас линий атомарного водорода в состав газа, которым заполняют трубку при её изготовлении, добавляют пары воды. Молекулы воды в электрическом разряде разлагаются, образуя атомарный водород. Трубка заполняется газом до давления 5–10 Торр.

Следует отметить, что в спектре водородной лампы наряду с линиями атомного спектра наблюдается также спектр молекулярного водорода. Однако интенсивность молекулярных линий значительно слабее и отождествление ярких атомных линий на фоне молекулярного спектра не представляет большого труда.

## 2. Ход работы

- 1) Проведем градуировку монохроматора. График для зависимости длины волны  $\lambda$  от номера пикселя в матрице фотоаппарата приведен на рис. 2. В таблице 1 приведены параметры аппроксимации функции  $\lambda(N)$  по формуле

$$\lambda = A + \frac{C}{N - B} \quad (8)$$

Таблица 1: Параметры аппроксимации

Параметр	Значение
A	$2510.01 \pm 0.39$
B	$4937.46 \pm 0.42$
C	$(-1.01864 \pm 0.00014) \cdot 10^7$

- 2) Измерим спектр водородной лампы и попытаемся определить положение линий  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$  и  $H_\delta$ . Черными точками на графике зависимости интенсивности от длины волны обозначены указанные в таблице 2 линии спектра.

Сравним полученные линии спектра с линиями в серии Бальмера, приведенными в таблице

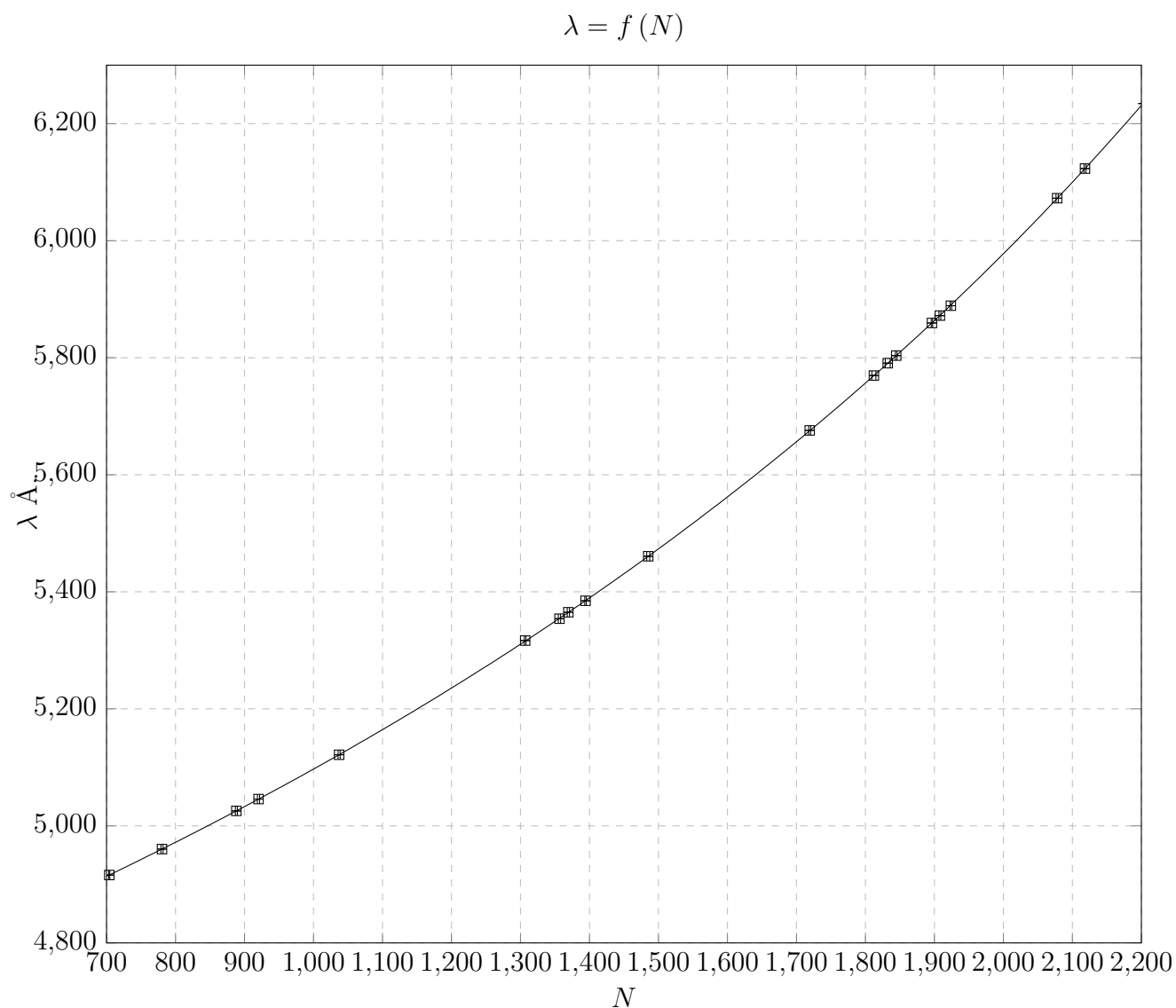


Рис. 2: Зависимость  $\lambda = f(N)$

Таблица 2: Полученные линии спектра водорода

№	1	2	3	4	5	6
$\lambda$ , Å	4860.5	5328.18	5434.16	6154.2	6450.97	6557.78
$I$ , a.e.	1918.2	2716.69	1335.84	3363.92	729.517	1112.86

Таблица 3: Серия Бальмера

$H_{\alpha}$	$H_{\beta}$	$H_{\gamma}$	$H_{\delta}$
6563 Å	4861 Å	4340 Å	4102 Å

3.

Видно, что линия 6 (6557.78Å) близка по величине к  $H_{\alpha}$ , а линия 1 (4860.5Å) близка к  $H_{\beta}$ . Остальные линии серии Бальмера не вошли в полученный спектр. Однако в изображении присутствуют и другие линии (2-5). Вероятнее всего они принадлежат атомарному кислороду, образовавшемуся из водяных паров, присутствующих в лампе.

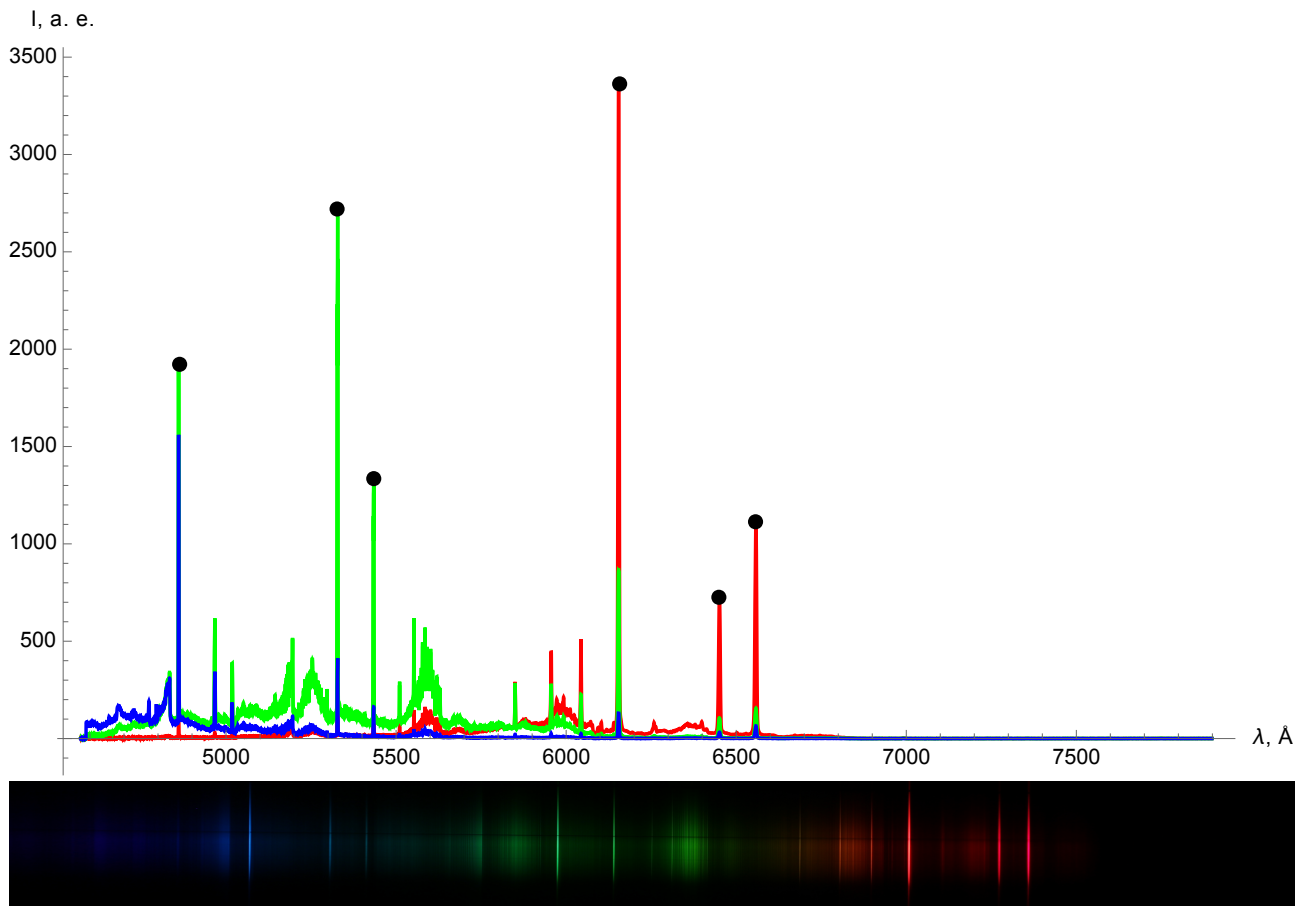


Рис. 3: График зависимости интенсивности от длины волны в спектре водорода и фотография полученного спектра водорода

3) По результатам измерений линий водорода определим постоянную Ридберга:

$$Z = 1, \quad n = 2, \quad m = 3, \quad \lambda_{23} = 6557.78 \quad Ry_{\alpha} = 109793 \text{ см}^{-1}$$

$$Z = 1, \quad n = 2, \quad m = 4, \quad \lambda_{24} = 4860.5 \quad Ry_{\alpha} = 109728 \text{ см}^{-1}$$

Табличное значение  $Ry = 109737.3 \text{ см}^{-1}$

### 3. Вывод

В ходе работы были измерены следующие спектры:

- калибровочный спектр ртутной лампы
- спектр водородной лампы

При измерении спектра ртутной лампы было обнаружено, что помимо водорода в лампе, предположительно, присутствует молекулярный кислород и/или азот.

Также в ходе работы было с высокой точностью измерено значение постоянной Ридберга для бесконечной массы:

$$Ry_{\alpha} = 109793 \text{ см}^{-1}$$

$$Ry_{\alpha} = 109728 \text{ см}^{-1}$$

Табличное значение  $Ry = 109737.3 \text{ см}^{-1}$