

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Изучение спектра водорода

выполнила студентка 653 группы ФФКЭ

Карпова Татьяна

Долгопрудный, 2018 г.

1 Цель работы

1. Исследование спектральных закономерностей в оптическом спектре водорода
2. Вычисление постоянной Ридберга для водорода по результатам измерения
3. Определение потенциала ионизации водорода

2 В работе используются

- стеклянно-призмный монохроматор-спектрометр УМ-2
- ртутная лампа ПРК-4 для градуировки
- водородная лампа
- фотоаппарат для регистрации спектров

3 Теоретические положения

Длины волн спектральных линий водородоподобного атома описываются формулой

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

где R - постоянная Ридберга, а m, n - целые числа.

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

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



Рис. 1: Уровни энергии атома водорода и образование спектральных серий

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 изотопический 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 :

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

Энергия основного состояния:

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

Аналогичным образом могут быть найдены энергии возбуждённых 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

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

Аналогично пп. (3)-(4):

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

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

4 Экспериментальная установка

Для измерения длин волн спектральных линий в работе используется стеклянно-призмный монохроматор-спектрометр УМ-2, предназначенный для спектральных исследований в диапазоне от 0,38 до 1 мкм

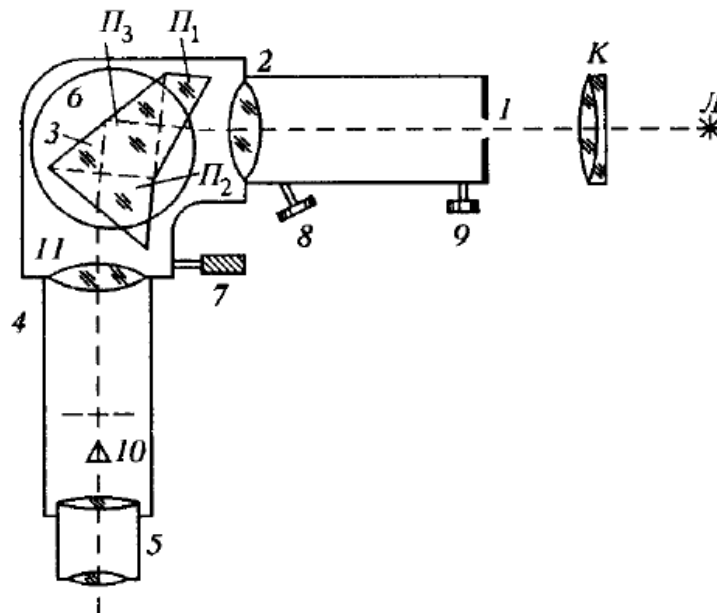


Рис. 2: Устройство монохроматора УМ-12

Спектрометр нуждается в дополнительной градуировке, проводящейся по спектру ртутной лампы с известными длинами волн спектральных линий.

5 Выполнение работы

1. Проградуируем спектрометр с помощью программного обеспечения, используя ртутную лампу. Используя "Атлас линий ртути" определим длины волн видимых в спектре линий. Представим спектр на рис. 1, на рис. 2 представлена фотография спектра ртутной лампы.
2. Снимем спектр водородной лампы, представим его график на рис. 3, и фотографию на рис. 4. Измерим положение линий H_α и H_β (линии в более коротковолновой области в спектр не попали):

$$\begin{aligned} H_\alpha &= 6563 \text{ \AA} \\ H_\beta &= 4862 \text{ \AA} \end{aligned}$$

В спектре также присутствуют следующие достаточно сильные линии:

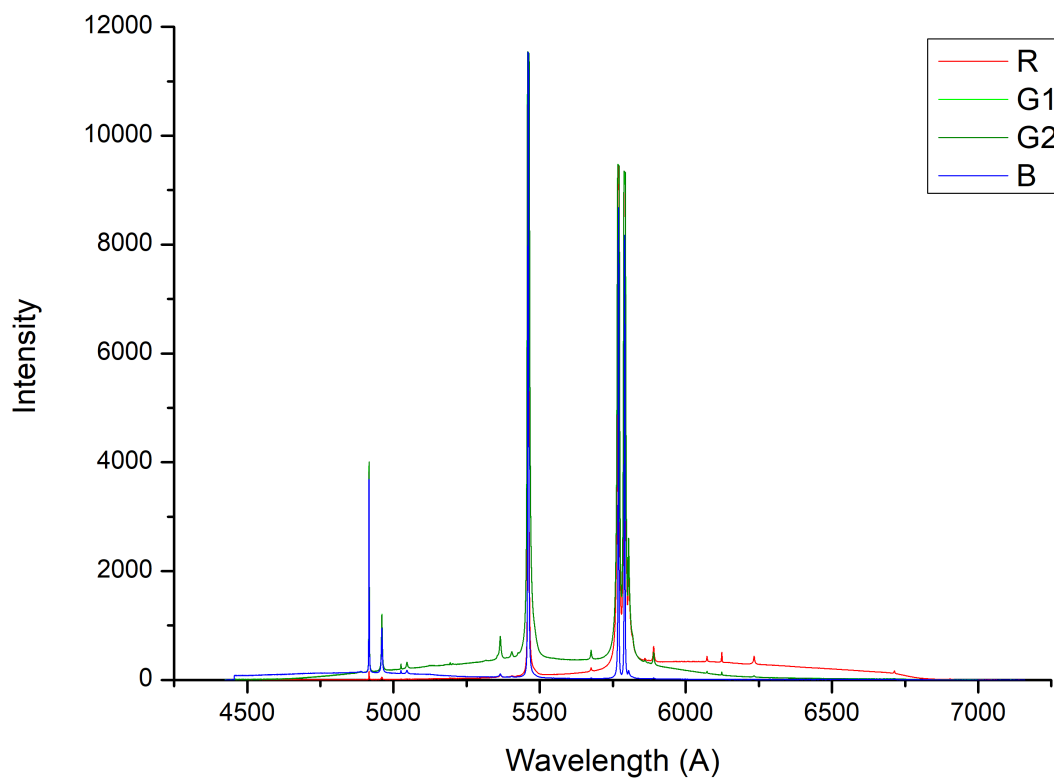


Рис. 3: График спектра ртутной лампы

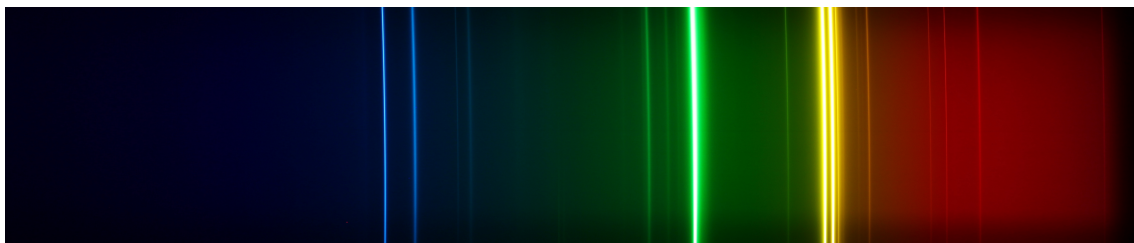


Рис. 4: Фотография спектра ртути

$\lambda_1 = 6158 \text{ \AA}$ - предположительно, кислород
 $\lambda_2 = 6456 \text{ \AA}$ - предположительно, кислород или ионизированный азот
 $\lambda_3 = 5437 \text{ \AA}$ - предположительно, кислород
 $\lambda_4 = 5331 \text{ \AA}$ - предположительно, кислород
 $\lambda_5 = 5200 \text{ \AA}$ - предположительно, кислород

3. По результатам измерения линий водорода определим постоянную Ридберга:

$$\begin{aligned}
 Z = 1, n = 2, m = 3, \lambda_{23} &= 6563 \text{ \AA} & R_\alpha &= 109712.9 \text{ см}^{-1} \\
 Z = 1, n = 2, m = 4, \lambda_{24} &= 4862 \text{ \AA} & R_\beta &= 109694.2 \text{ см}^{-1} \\
 \text{Табличное значение: } R &= 109737.3 \text{ см}^{-1}
 \end{aligned}$$

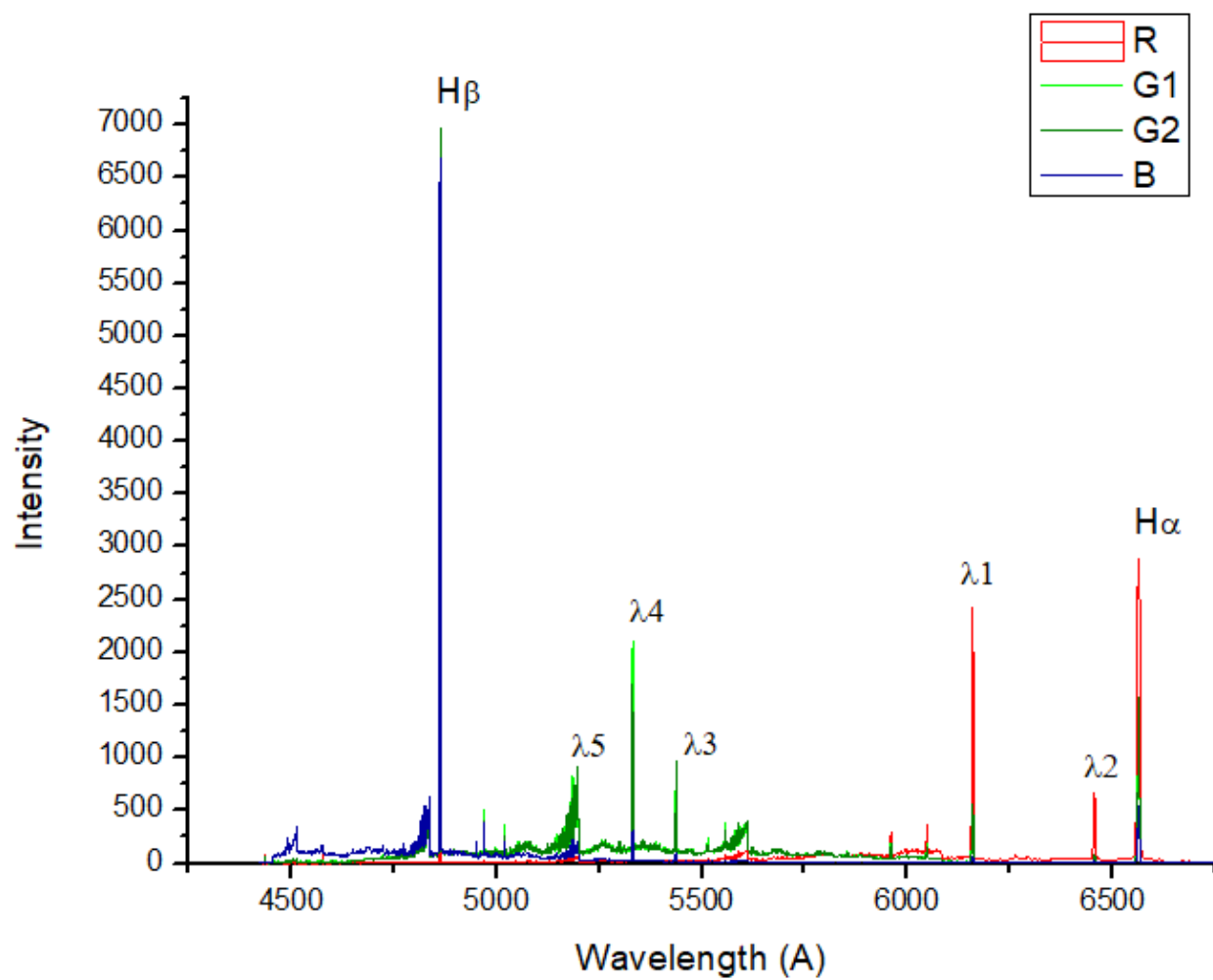


Рис. 5: График спектра водородной лампы

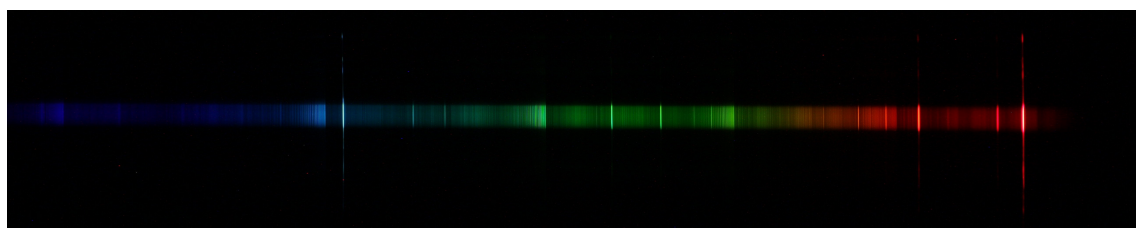


Рис. 6: Фотография спектра водородной лампы

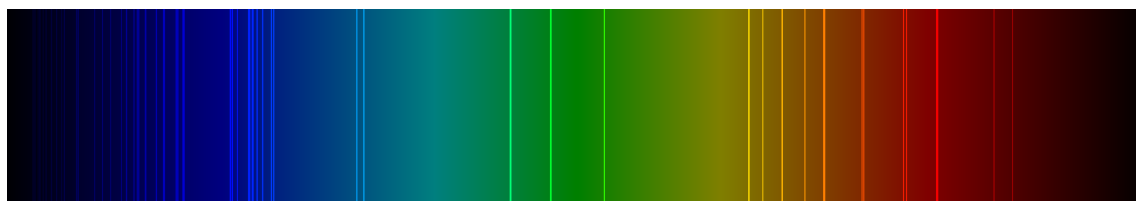


Рис. 7: Фотография спектра кислорода

6 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:

$$R_{\alpha} = 109712.9 \text{ см}^{-1}$$

$$R_{\beta} = 109694.2 \text{ см}^{-1}$$

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