

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ  
ФАКУЛЬТЕТ ПРОГРАММНОЙ ИНЖЕНЕРИИ И КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНИКИ**

**ОТЧЁТ  
ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №3**

**«Определение постоянной Ридберга  
для атомного водорода»**

Проверил:  
Пшеничнов В.Е. \_\_\_\_\_  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019г.

Выполнил:  
Студент группы Р3255  
Федюкович С. А. \_\_\_\_\_

Санкт-Петербург  
2019

## Цель работы

Получение численного значения постоянной Ридберга для атомного водорода из экспериментальных данных и его сравнение с рассчитанной теоретически.

## Теоретические основы лабораторной работы

В 1885г. Бальмер показал на примере спектра испускания атомного водорода, что длины волн четырёх линий, лежащих в видимой части и обозначаемых символами  $H_\alpha, H_\beta, H_\gamma, H_\sigma$ , можно точно представить эмпирической формулой:

$$\lambda = B \frac{n^2}{n^2 - 4}, \quad (1)$$

где вместо  $n$  следует подставить числа 3, 4, 5, и 6;  $B$  — эмпирическая константа 364,61нм

Закономерность, выраженная формулой Бальмера, становится особенно наглядной, если представить эту формулу в том виде, в каком ею пользуются в настоящее время. Для этого следует преобразовать ее так, чтобы она позволяла вычислять не длины волн, а частоты или волновые числа.

Известно, что частота  $\nu = \frac{c}{\lambda_0}, c^{-1}$  — число колебаний в 1 сек., где  $c$  — скорость света в вакууме;  $\lambda_0$  — длина волны в вакууме.

Волновое число — это число длин волн, укладываемых в 1м:

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{B} \cdot \frac{n^2 - 4}{n^2} = \frac{4}{B} \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right); \quad (2)$$

обозначив  $\frac{4}{B}$  через  $R$ , перепишем формулу (2):

$$\tilde{\nu} = R \cdot \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad (3)$$

где  $n = 3, 4, 5, \dots$

Уравнение (3) представляет собой формулу Бальмера в обычном виде. Выражение (3) показывает, что по мере увеличения  $n$  разность между волновыми числами соседних линий уменьшается и при  $n \rightarrow \infty$  мы получаем постоянное значение  $\tilde{\nu} = \frac{R}{4}$ . Таким образом, линии должны постепенно сближаться, стремясь к предельному положению  $\tilde{\nu} = \frac{R}{4}$ .

Предельное волновое число, около которого сгущаются линии при  $n \rightarrow \infty$ , называется границей серии. Для серии Бальмера это волновое число  $\tilde{\nu} = 2742000\text{м}^{-1}$ , и ему соответствует значение длины волны  $\lambda_0 = 364,61\text{нм}$ .

Наряду с серией Бальмера в спектре атомного водорода был обнаружен ряд других серий. Все эти серии могут быть представлены общей формулой:

$$\tilde{\nu} = R \cdot \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right), \quad (4)$$

где  $n_1$  имеет для каждой серии постоянное значение  $n_1 = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$ ; для серии Бальмера  $n_1 = 2$ ;  $n_2$  — ряд целых чисел от  $(n_1 + 1)$  до  $\infty$ .

Формула (4) называется обобщенной формулой Бальмера. Она выражает собой один из главных законов физики — закон, которому подчиняется процесс изучения атома.

Теория атома водорода и водородоподобных ионов создана Нильсом Бором. В основе теории лежат постулаты Бора, которым подчиняются любые атомные системы.

Второй квантовый закон относится к переходам с излучением. Согласно этому закону электромагнитное излучение, связанное с переходом атомной системы из стационарного состояния с энергией  $E_j$  стационарное состояние с энергией  $E_i < E_j$ , является монохроматическим, и его частота определяется соотношением:

$$E_j - E_i = h\nu, \quad (5)$$

где  $h$  — постоянная Планка.

Стационарные состояния  $E_i$  в спектроскопии характеризуют уровни энергии, а об излучении говорят как о переходах между этими уровнями энергии. Каждому возможному переходу между дискретными уровнями энергии соответствует определенная спектральная линия, характеризующаяся в спектре значением частоты (или волнового числа) монохроматического излучения.

Дискретные уровни энергии атома водорода определяются известной формулой Бора:

$$E_n = -\frac{2\pi^2 m e^4}{h} \cdot \frac{1}{n^2} = -hcR \frac{1}{n^2}, \quad (6)$$

$$R = \frac{2\pi^2 m e^4}{ch^3} \text{ (СГС)} \text{ или } R = \frac{m e^4}{8ch^3 \varepsilon_0^2} \text{ (СИ)}, \quad (7)$$

где  $n$  — главное квантовое число;  $m$  — масса электрона (точнее, приведенная масса протона и электрона).

Для волновых чисел спектральных линий согласно условию частот (5) получается общая формула:

$$\tilde{\nu} = \frac{En_2}{hc} - \frac{En_1}{hc} = \frac{R}{n_1^2} - \frac{R}{n_2^2} = R \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right), \quad (8)$$

где  $n_1 < n_2$ , а  $R$  определяется формулой (7). При переходе между определенным нижним уровнем ( $n_1$  фиксировано) и последовательными верхними уровнями ( $n_2$  изменяется от  $(n_1+1)$  до  $\infty$ ) получаются спектральные линии атома водорода. В спектре водорода известны следующие серии: серия Лаймана ( $n_1 = 1, n_2 \geq 2$ ); серия Бальмера ( $n_1 = 2; n_2 \geq 3$ ); серия Пашена ( $n_1 = 3, n_2 \geq 4$ ); серия Брекета ( $n_1 = 4, n_2 \geq 5$ ); серия Пфунта ( $n_1 = 5, n_2 \geq 6$ ); серия Хамфри ( $n_1 = 6, n_2 \geq 7$ ).

Как видим, формула (8) совпадает с формулой (4), полученной эмпирически, если  $R$  — постоянная Ридберга, связанная с универсальными константами формулой (7).

Из уравнения (3), отложив по вертикальной оси значения волновых чисел линий серии Бальмера, а по горизонтальной — соответственно значения  $1/n^2$ , получаем прямую, угловой коэффициент которой дает постоянную  $R$ , а точка пересечения прямой с осью ординат дает значение  $R/4$ .

Для определения постоянной Ридберга нужно знать квантовые числа линий серии Бальмера атомного водорода. Длины волн линий водорода определяются с помощью монохроматора (спектрометра).

Изучаемый спектр сравнивается с линейчатым спектром, длины волн которого известны. По спектру известного газа, можно построить градуировочную кривую монохроматора, по которой затем определить длины волн излучения атомного водорода.

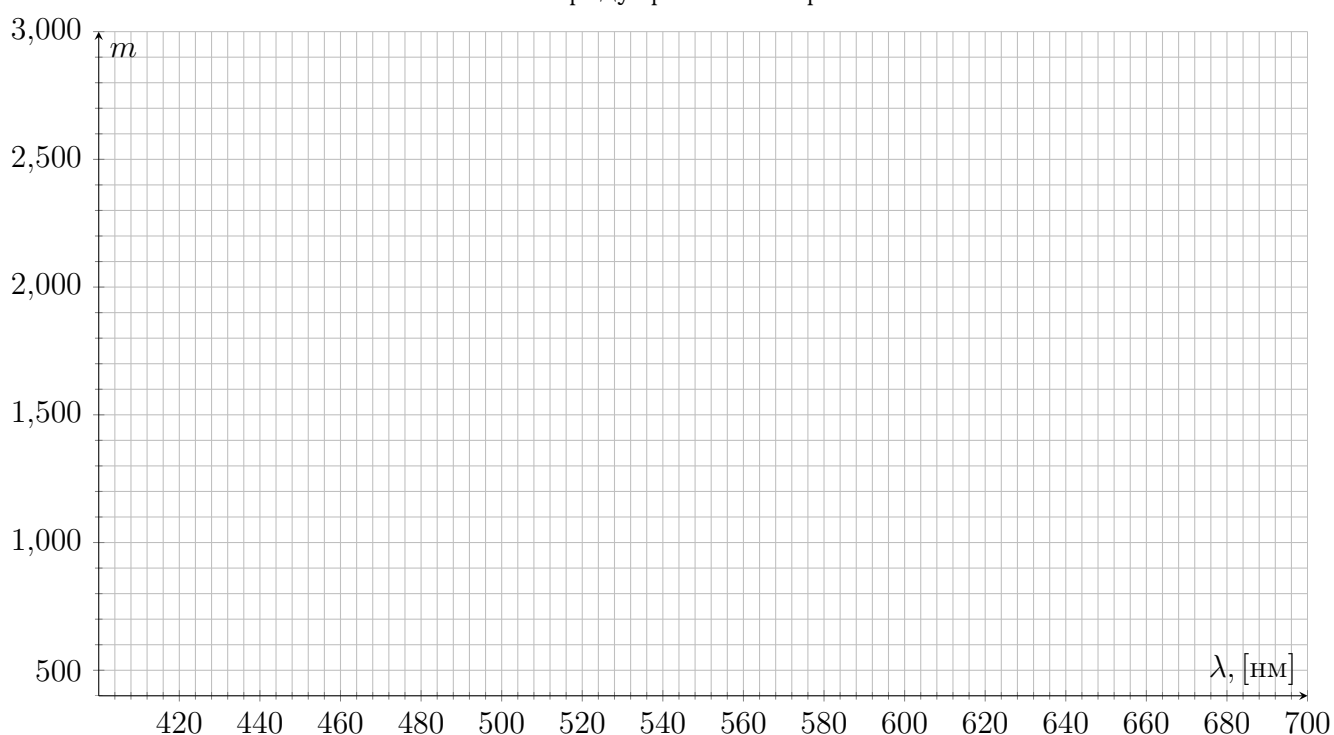
## Ход работы

1. Зажечь ртутную лампу ДРШ. Для этого включить тумблер «сеть» на источнике питания ЭПС—III, включить тумблер «лампа ДРШ», нажать кнопку «пуск» и удерживать её нажатой 2–3 секунды.
2. Установить ширину входной щели примерно 0,1 мм.
3. Снять градуировочную кривую монохроматора по спектру ртути и заполнить таблицу (1).

Таблица 1: Градуировка барабана монохроматора

Длина волны $\lambda$ , [нм]	Угол поворота $m$
------------------------------	-------------------

Рис. 1: Градуировочная кривая



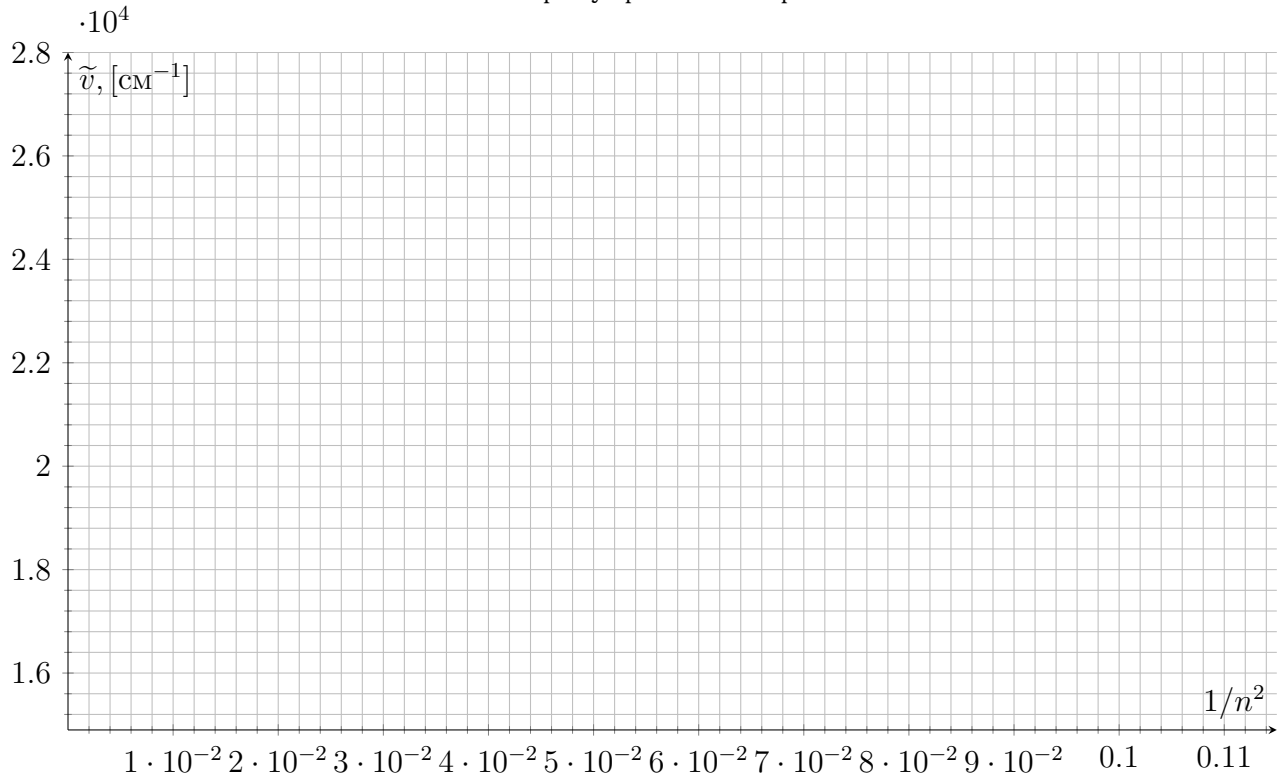
4. Поставить перед монохроматором водородную лампу, обозначив длины волн линий водорода  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  и  $\lambda_3$ , снять отсчет их положения  $m'$  по барабану длин волн. Заполнить таблицу (2).

Таблица 2: Определение длин волн спектра излучения атома водорода

Угол поворота $m'$	Длина волны $\lambda$ , [нм]	Волновое число $\tilde{\nu}$ , $\text{м}^{-1}$	Квантовое число $n$	$1/n^2$
--------------------	------------------------------	--	---------------------	---------

5. По построенной градуировочной кривой определить длины волн линий спектра водорода, рассчитать волновые числа для полученных длин. Результаты записать в таблицу (2).
6. Построить график зависимости  $\tilde{\nu}$ ,  $[\text{см}^{-1}]$ , от  $1/n^2$ , где  $n$  — соответствующее главное квантовое число.

Рис. 2: Градуировочная кривая



Уравнение аппроксимирующей прямой:

(9)

7. Найти постоянную Ридберга двумя способами:

- (a) Из углового коэффициента прямой уравнения (9) получаем
- (b) Подставив 0 в уравнение (9) получаем:

$$R/4 =; R =$$

Теоретическое значение:

$$R =$$

8. Используя полученное значение постоянной Ридберга, рассчитать энергию ионизации атома водорода, находящегося в основном состоянии:

$$E_{\text{и}} = hcR =$$

Теоретическое значение:

$$E =$$

## Вывод

В ходе выполнения данной работы мной был проведён эксперимент по изучению серии Бальмера, в результате которого я подтвердил свои теоретические знания практическим путём. Также экспериментальным путём были получены значений постоянной Ридберга и энергии ионизации атома водорода, разница которых с теоретическими значениями незначительна и вызвана погрешностью измерений, что опять же подтверждает верность теорий.