**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 P3255
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:

$$\lambda = B\frac{n^2}{n^2-4}, \tag{1}$$

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

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, укладывающихся в 1м:

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

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

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

где $n = 3, 4, 5, ....$

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 $n\to\infty$ мы получаем постоянное значение $\widetilde{\nu} = \frac{R}{4}$.Таким образом, линии должны постепенно сближаться, стремясь к предельному положению $\widetilde{\nu} = \frac{R}{4}$.

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

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

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

где $n_1$ имеет для каждой серии постоянное значение $n_1 = 1, 2, 3, 4, 5, ...$; 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 $\mathrm{E}_l < \mathrm{E}_j$, является монохроматическим, и его частота определяется соотношением:

$$\mathrm{E}_j - \mathrm{E}_i = h\nu, \qquad (5)$$

где $h$ — постоянная Планка.

Стационарные состояния $\mathrm{E}_i$ 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, характеризуемая в спектре значением частоты (или волнового числа) монохроматического излучения.

Дискретные уровни энергии атома водорода определяются известной формулой Бора:

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

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

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:

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

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 $(n1+1)$ 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.

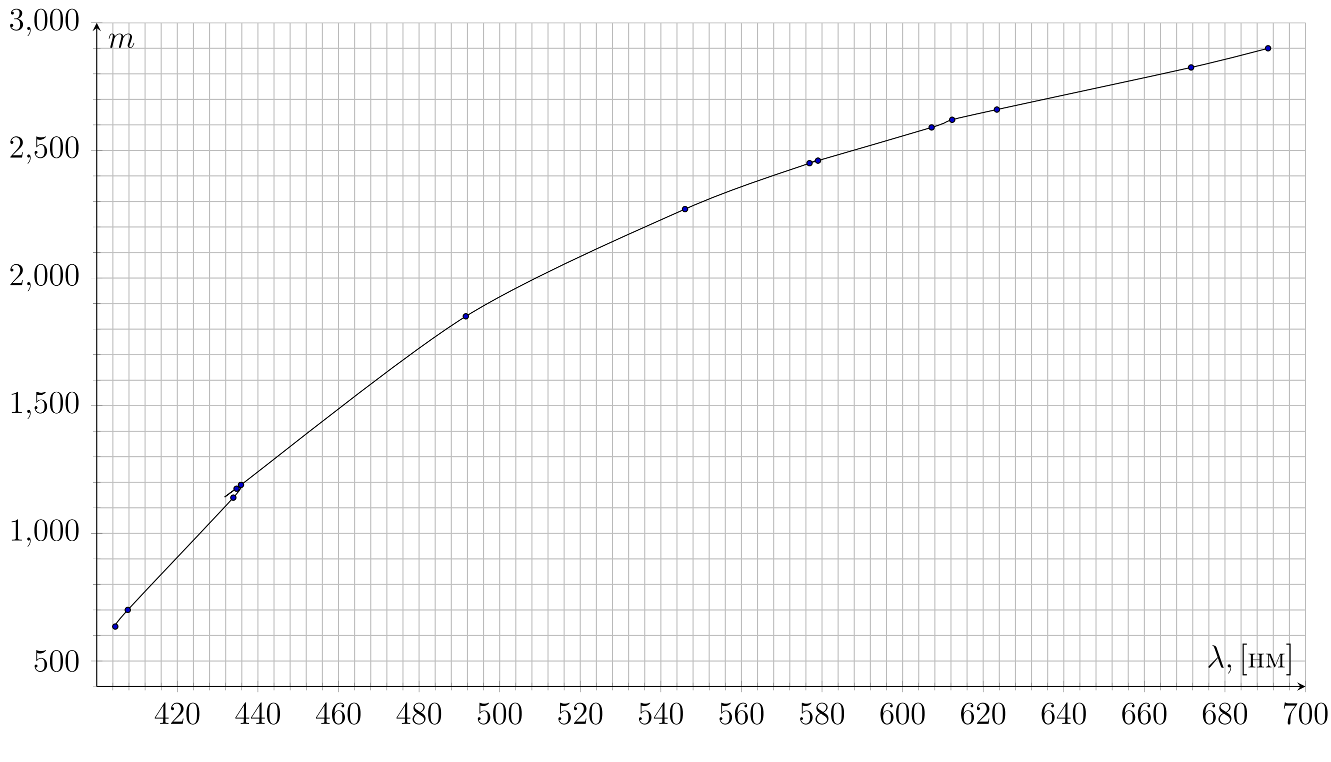
2. Установить ширину входной щели примерно $0,1$мм.

3. Снять градуировочную кривую монохроматора по спектру ртути и заполнить таблицу (1).

Таблица 1: Градуировка барабана монохроматора

| Длина волны $\lambda$, [нм] | Угол поворота $m$ |
|---|---|
| 690,700 | 2900,000 |
| 671,600 | 2825,000 |
| 623,400 | 2660,000 |
| 612,300 | 2620,000 |
| 607,200 | 2590,000 |
| 579,000 | 2460,000 |
| 576,900 | 2450,000 |
| 546,000 | 2270,000 |
| 491,600 | 1850,000 |
| 435,800 | 1190,000 |
| 434,700 | 1175,000 |
| 433,900 | 1140,000 |
| 407,700 | 700,000 |
| 404,600 | 635,000 |

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).

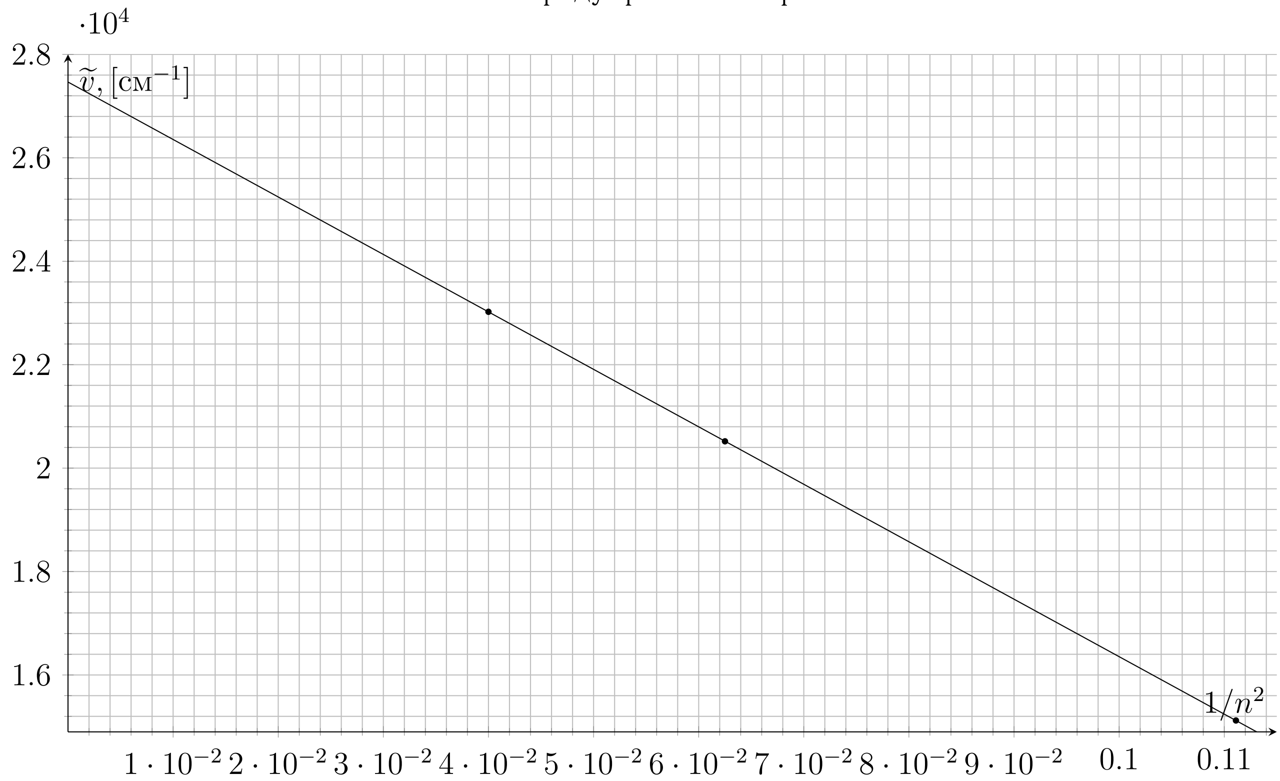
Таблица 2: Определение длин волн спектра излучения атома водорода

| Угол поворота $m'$ | Длина волны $\lambda$, [нм] | Волновое число $\widetilde{v}$, м$^{-1}$ | Квантовое число $n$ | $1/n^2$ |
|---|---|---|---|---|
| 2790,000 | 661,376 | 15119,998 | 3,000 | 0,111 |
| 1800,000 | 487,373 | 20518,177 | 4,000 | 0,063 |
| 1160,000 | 434,357 | 23022,529 | 5,000 | 0,040 |

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 $\widetilde{v}$, [см$^{-1}$], от $1/n^2$, где $n$ — соответствующее главное квантовое число.

Рис. 2: Градуировочная кривая




Уравнение аппроксимирующей прямой:

$$\widetilde{v} = -111116,363 \cdot (1/n^2) + 27465,465 \tag{9}$$

7. Найти постоянную Ридберга двумя способами:

(a) Из углового коэффициента прямой уравнения (9) получаем $R = 111116,363[cm^{-1}]$

(b) Подставив 0 в уравнение (9) получаем:

$$R/4 = 27465,465[\text{см}^{-1}];\ R = 109861,859[\text{см}^{-1}]$$

Теоретическое значение:

$$R = 109677,593[\text{см}^{-1}]$$

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

$$E_{\text{и}} = hcR = 1,054 \cdot 10^{-15} \cdot 299792458 \cdot 109861,859/1,6 = 13,464[\text{эВ}]$$

Теоретическое значение:

$$E = 13,600[\text{эВ}]$$

# 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 $R = 111116,363$; $R = 109861,859$ и энергии ионизации атома водорода $E_{\text{И}} = 13,464[\text{эВ}]$ , разница которых с теоретическими значениями незначительна и вызвана погрешностью измерений, что опять же подтверждает верность теорий.