

**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:
Пшеничников 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; λ_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 ∞ .

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 ∞) 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.

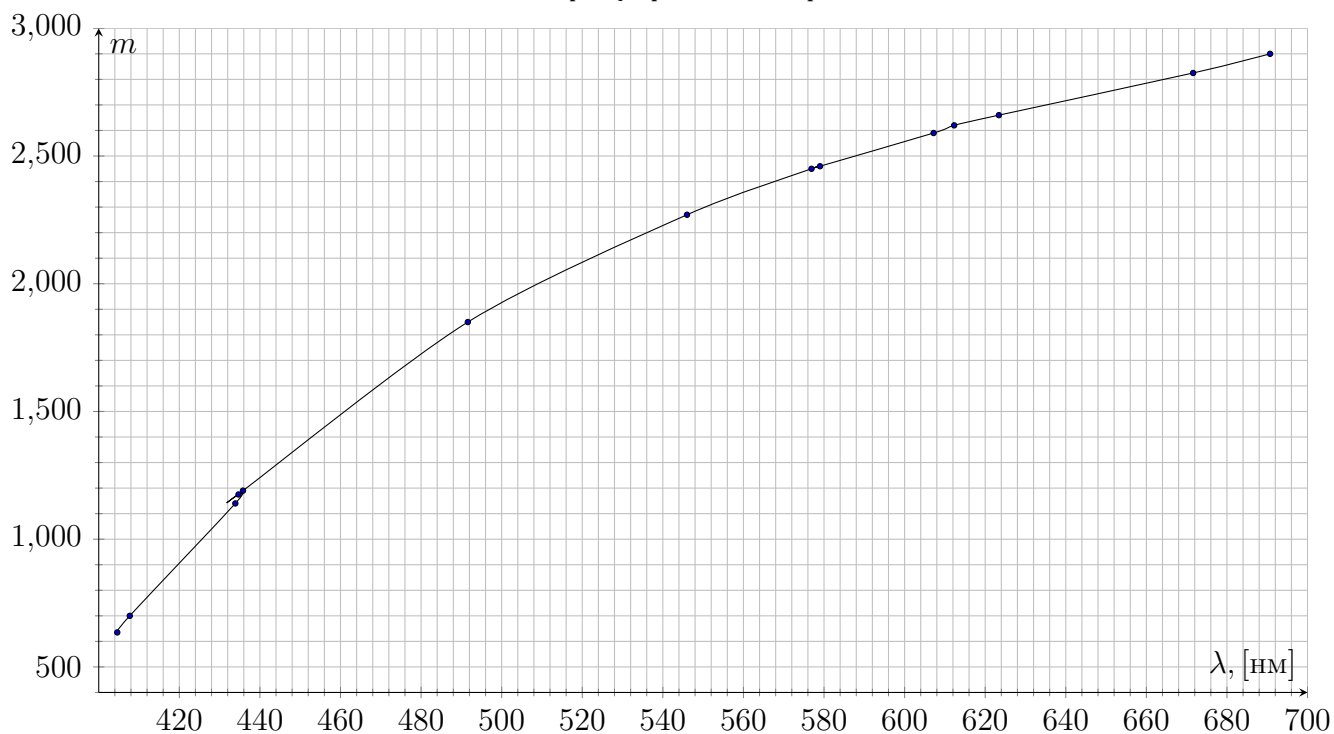
Ход работы

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 λ , [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 λ_1 , λ_2 и λ_3 , снять отсчет их положения m' по барабану длин волн. Заполнить таблицу (2).

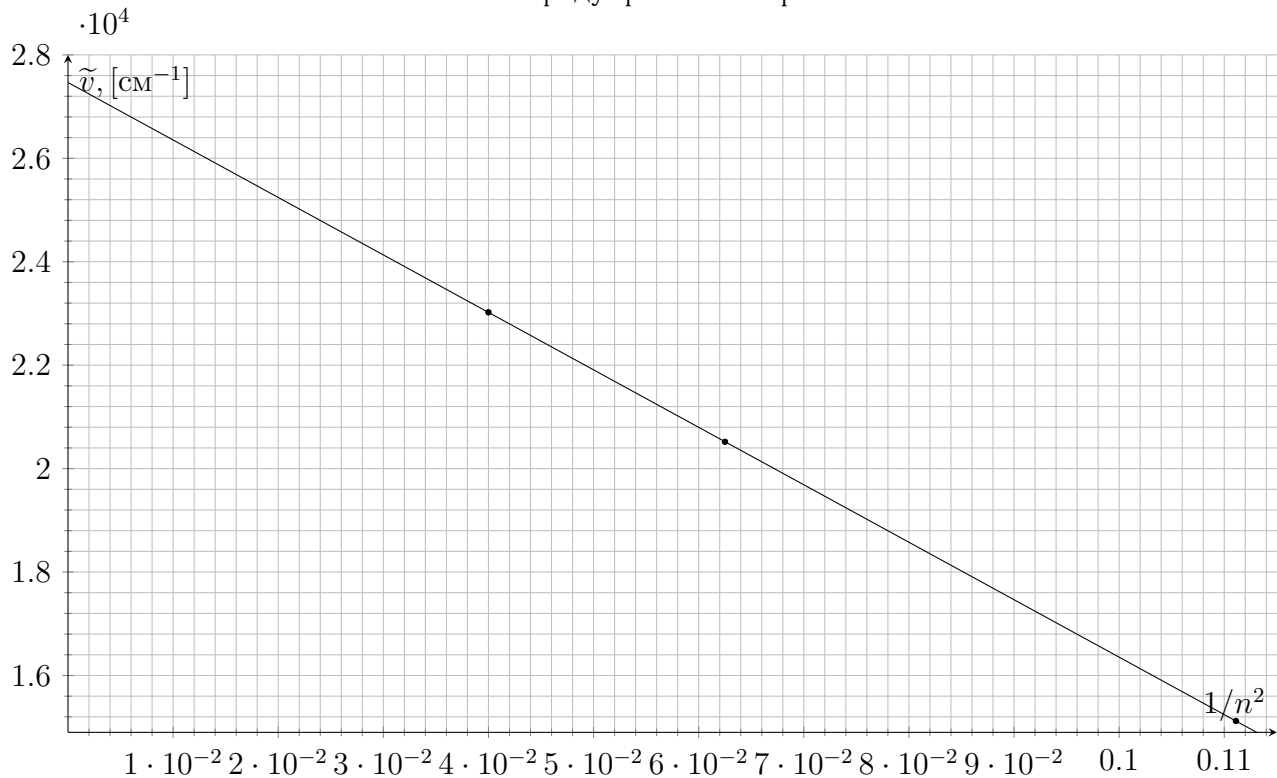
Таблица 2: Определение длин волн спектра излучения атома водорода

Угол поворота m'	Длина волны λ , [нм]	Волновое число $\tilde{\nu}$, 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 $\tilde{\nu}$, $[\text{см}^{-1}]$, от $1/n^2$, где n — соответствующее главное квантовое число.

Рис. 2: Градуировочная кривая



Уравнение аппроксимирующей прямой:

$$\tilde{\nu} = -111116,363 \cdot (1/n^2) + 27465,465 \quad (9)$$

7. Найти постоянную Ридберга двумя способами:

(а) Из углового коэффициента прямой уравнения (9) получаем $R = 111116,363[\text{см}^{-1}]$

(б) 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 $R = 111116,363[\text{см}^{-1}]$; $R = 109861,859[\text{см}^{-1}]$ 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.