

Группа M3306

К работе допущен 15.09.2025

Студенты
Тимофеев В.

Работа выполнена 15.09.2025

Преподаватель Кокурина

Отчет принят _____

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №5.04

Определение постоянной Ридберга для атомного водорода

1. Цели работы

1. Получение численного значения постоянной Ридберга для атомного водорода из экспериментальных данных
2. Оценка экспериментального значения постоянной Ридберга и её сравнение с теоретическим значением

2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

1. Произвести градуировку монохроматора по известному спектру ртути.
2. Экспериментально определить длины волн водорода и определить энергию ионизации атома водорода.

3. Объект исследования.

Ртутная и водородная лампы, монохроматор УМ-2, источник питания PHYWE.

4. Метод экспериментального исследования.

Снятие показаний шкалы корректирующего барабана на видимых спектральных линиях.

5. Рабочие формулы и исходные данные.

- Формула Бальмера - длина волны спектральных линий:

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

- Волновое число спектральных линий с $n = 2$ (наблюдается в видимом диапазоне):

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

- Формула Бора:

$$E_n = -\frac{2\pi^2 m_e e^4}{h^2} \frac{1}{n^2} = -hcR \frac{1}{n^2}$$

- Волновые числа - число волн, укладывающихся в 1 м:

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda}$$

6. Измерительные приборы.

- Монохроматор УМ-2
- Водородная лампа
- Источник питания ртутной лампы и водородной лампы
- Ртутная лампа
- Источник питания подсветки монохроматора

7. Схема установки

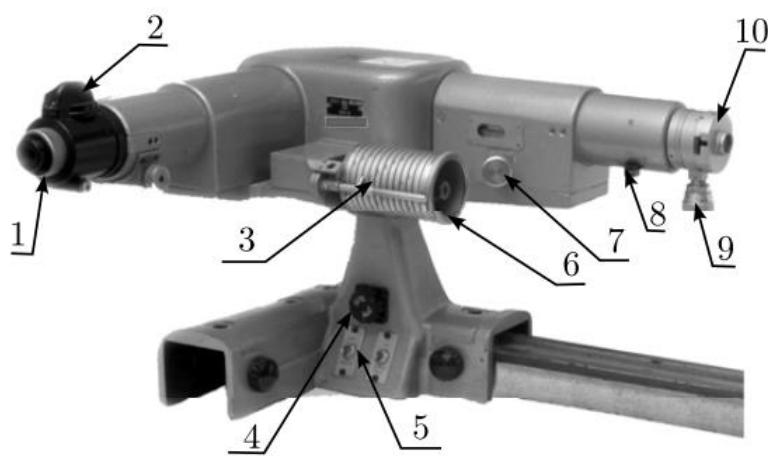
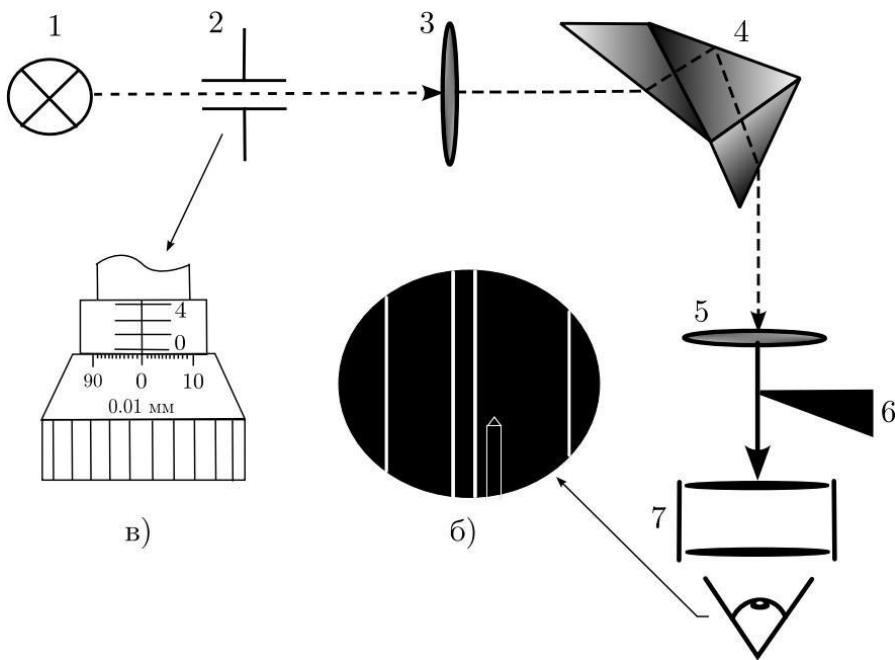


Рис. 6. Внешний вид монохроматора YM-2:

1. Окуляр,
2. Подсветка иглы и фильтр,
3. Указатель делений барабана,
4. Регулировка яркости подсветки иглы,
5. Вкл./Выкл. подсветки,
6. Барабан,
7. Маховичок фокусировки объектива коллиматора и шкала фокусировки,
8. Затвор коллиматора,
9. Барабан установки ширины входной щели,
10. Входная щель.



Свет от источника 1 проходит через входную щель 2, установленную в фокусе ахроматического объектива коллиматора 3, и далее параллельным пучком падает на диспергирующую призму Аббе 4.

Ахроматический объектив камеры 5 собирает все параллельные лучи различных длин волн в своей фокальной плоскости. Окуляр 7 служит для визуального отсчета положений спектральных линий.

Для индикации луча, идущего вдоль оптической оси прибора, в фокальной плоскости объектива камеры устанавливается игла 6, силуэт которой виден через окуляр вместе с изображениями спектральных линий

8. Результаты прямых измерений и их обработки (таблицы, примеры расчетов).

Цвет линии в спектре ртути	$\lambda, \text{ нм}$	$a, \text{ делений}$
Красный	690,7	2600
Красный	671,1	2570
Оранжевый	623,4	2260
Жёлтый	579	2114
Жёлтый	576,9	2100
Зелёный	546	1890
Голубой	491,6	1510
Сине-фиолетовый	435,8	820
Фиолетовый	407,8	440
Фиолетовый	404,7	330

9. Расчёт результатов косвенных измерений

Для получения зависимости $\lambda(\alpha)$ используем аппроксимацию кубического полинома методом МНК:

$$\lambda(\alpha) = \alpha_3\alpha^3 + \alpha_2\alpha^2 + \alpha_1\alpha + \alpha_0$$

Для этого используем скрипт на Python:

```
● ● ●

import numpy as np
import pandas as pd
from math import sqrt
from sklearn.metrics import r2_score, mean_squared_error

data = [
    (690.7, 2600),
    (671.1, 2570),
    (623.4, 2260),
    (579.0, 2114),
    (576.9, 2100),
    (546.0, 1890),
    (491.6, 1510),
    (435.8, 820),
    (407.8, 440),
    (404.7, 330),
]

df = pd.DataFrame(data, columns=["λ, нм (Hg)", "α, делений"]).sort_values("α, делений")

x = df["α, делений"].values.astype(float)
y = df["λ, нм (Hg)"].values.astype(float)

coeffs = np.polyfit(x, y, 3)
p = np.poly1d(coeffs)

y_pred = p(x)
r2 = r2_score(y, y_pred)
rmse = sqrt(mean_squared_error(y, y_pred))

alpha_req = np.array([2370, 1460, 830], dtype=float)
lambda_est = p(alpha_req)

res_df = pd.DataFrame({
    "α', делений": alpha_req.astype(int),
    "Оценка λ, нм": np.round(lambda_est, 2)
})

print("Оценка длин волн для заданных α'\n", res_df)
```

Цвет линии в спектре водорода	λ, нм	α', делений
-------------------------------	-------	-------------

λ_1 (Красная)	633,61	2370
λ_2 (Голубая)	488,7	1460
λ_3 (Фиолетовая)	433,02	830

$$\lambda_1(\text{Красная}) = \frac{B \cdot n^2}{n^2 - 4} = \frac{364.61 \cdot 3^2}{3^2 - 4} = 656.3 \text{ нм}$$

$$\lambda_2(\text{Голубая}) = \frac{B \cdot n^2}{n^2 - 4} = \frac{364.61 \cdot 4^2}{4^2 - 4} = 486.15 \text{ нм}$$

$$\lambda_3(\text{Фиолетовая}) = \frac{B \cdot n^2}{n^2 - 4} = \frac{364.61 \cdot 5^2}{5^2 - 4} = 434.05 \text{ нм}$$

10. Окончательные результаты

Линия	$\lambda, \text{нм}$	$\tilde{\nu}, \text{м}^{-1}$	$\frac{1}{n^2}$
$H_\alpha(n = 3)$	633,61	$1,5783 \cdot 10^6$	0,1111
$H_\beta(n = 4)$	488,7	$2,046 \cdot 10^6$	0,0625
$H_\gamma(n = 5)$	433,02	$2,3094 \cdot 10^6$	0,0400

Вычисление постоянной Ридберга и определение энергии ионизации атома водорода

Подставим значения в формулу для углового коэффициента (экспериментальное значение):

$$R = -\frac{\Delta \tilde{\nu}}{\Delta(1/n^2)} = -\frac{(2.3094 - 1.5783) \cdot 10^6}{0.0400 - 0.1111} \approx 1.0283 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$$

Энергия ионизации, необходимая для перехода электрона из основного состояния ($n = 1$) в свободное состояние ($n = \infty$)

$$E_{\text{ион}} = (6,62607 \times 10^{-34}) \times (2,99792 \times 10^8) \times (1,0283 \times 10^7) \approx \frac{2,042659 \times 10^{-18}}{1,6022 \times 10^{-19}} \approx 12,75 \text{ эВ}$$

Величина	Экспериментальное значение	Теоретическое значение
----------	----------------------------	------------------------

Постоянная Ридберга R	$1,0283 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$	$1,09677583 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$
Энергия ионизации $E_{\text{ион}}$	12,75 эВ	13.6 эВ

Полученная относительная погрешность:

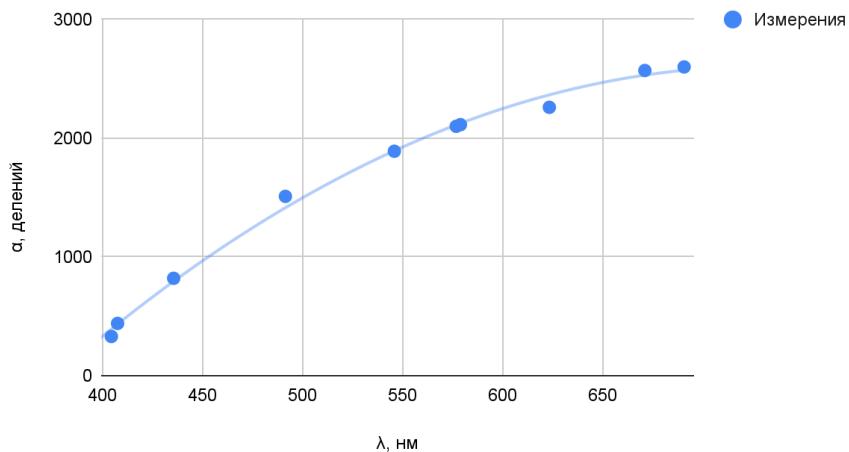
$$\text{Относительная погрешность} = \frac{|R_{\text{эксп}} - R_{\text{теор}}|}{R_{\text{теор}}} \cdot 100\%$$

$$\text{Относительная погрешность} = \frac{|1.0283 \cdot 10^7 - 1.09677583 \cdot 10^7|}{1.09677583 \cdot 10^7} \cdot 100\%$$

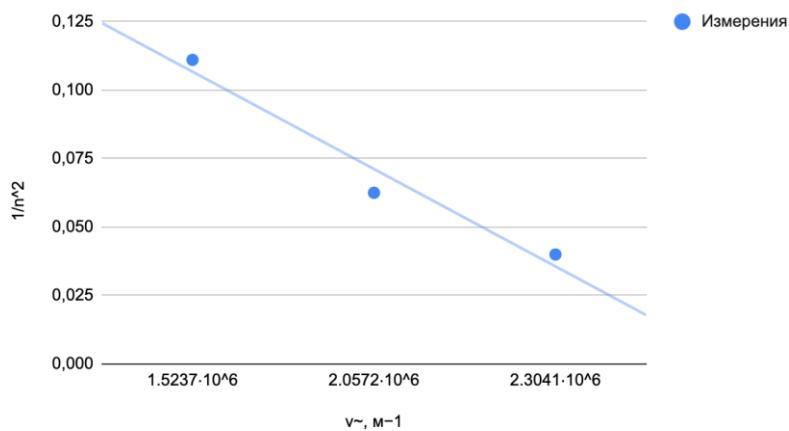
$$\text{Относительная погрешность} = \frac{0.00067417 \cdot 10^7}{1.09677583 \cdot 10^7} \cdot 100\% \approx 6.24\%$$

11. Графики

Градуировочная кривая монохроматора



Зависимость $v \sim$ от $1/n^2$



12. Вывод

В данной работе были проведены измерения спектральных линий ртути для последующей калибровки монохроматора, а после этого были определены длины волн спектральных линий водорода. По данным,

которые были получены в ходе измерений, было рассчитано значение постоянной Ридберга, а также энергия ионизации атома водорода. Полученные экспериментальные значения совпадают с теоретическими с относительной погрешностью 6,24% - это подтверждает корректность методики и точность проведенных нами измерений