

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ)

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2.2

**Изучение спектров атомов водорода и  
молекул йода**

Б03-104

Куланов Александр

Долгопрудный, 2023 г.

- **Цель работы:** исследовать сериальные закономерности в оптическом спектре водорода; спектр поглощения паров йода в видимой области

# 1 Теоретические сведения

## Спектр водорода

Объяснение структуры спектра излучения атомов требует решения задачи о движении электрона в эффективном поле атома. Для атома водорода и водородоподобных (одно-электронных) атомов определение энергетических уровней значительно упрощается, так как квантово-механическая задача об относительном движении электрона (заряд  $-e$ , масса  $m_e$ ) и ядра (заряд  $Z_e$ , масса  $M$ ) сводится к задаче о движении частицы с эффективной массой  $\mu = m_e M / (m_e + M)$  в кулоновском поле  $-Ze^2/n$ . 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  $m, n \in \mathbb{Z}$ , а  $R$  – постоянная Ридберга. Эта формула позволяет по энергиям перехода судить о расположении энергетических уровней атома водорода.

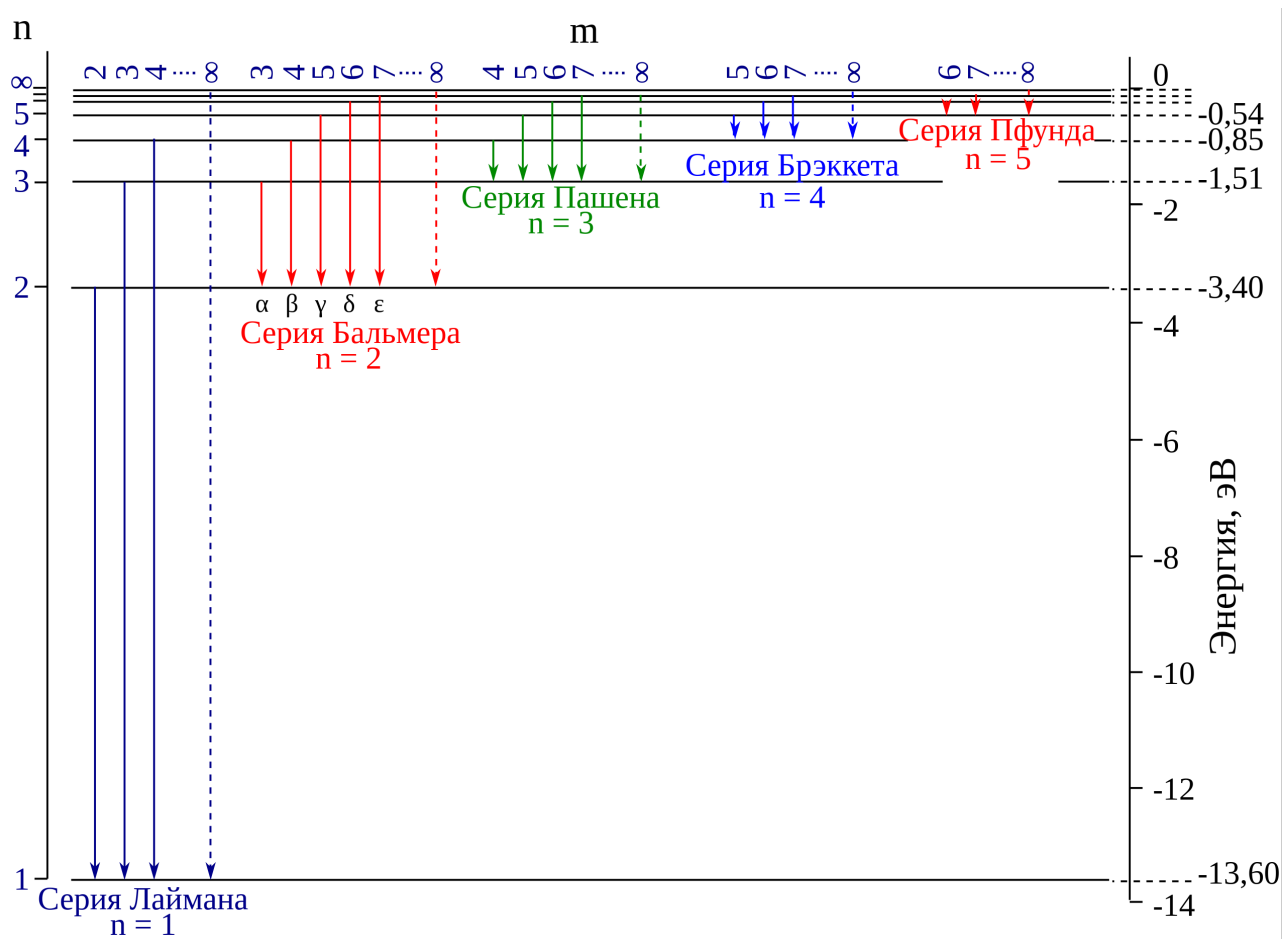


Рис. 1: Спектр водорода

В данной работе изучается серия Бальмера, линии которой лежат в видимой области. Для серии Бальмера  $n = 2$ . Величина  $m$  для первых четырех линий этой серии принимает значение 3, 4, 5, 6. Эти линии обозначаются символами  $H_\alpha, H_\beta, H_\gamma, H_\delta$ .

Оценим энергии основного и возбужденного состояний водородоподобного атома. Чтобы найти основное состояние квантовой системы, надо минимизировать, с учетом соотношения неопределенностей, полную энергию. Потенциальная энергия электрона равна кулоновской энергии электрона в поле ядра с зарядом  $Ze$ . Так как электрон локализован в области размером  $r$ , то его импульс  $p \simeq \hbar/r$ , и полная энергия определяется выражением

$$E = \frac{-Ze^2}{r} + \frac{\hbar^2}{2m_e r^2}. \quad (2)$$

Приняв за нуль производную этого выражения, получим

$$r_B = \frac{\hbar^2}{Zm_e e^2}.$$

Это значение радиуса первой орбиты для электрона в поле ядра с зарядом  $Z$  – боровского радиуса. Подставляя в (2) это значение, получим

$$E = -RZ^2, \quad R = \frac{m_e e^4}{2\hbar^2}. \quad (3)$$

Для возбуждённых состояний значения энергий можно найти аналогично, приняв во внимание, что  $p \simeq n\hbar/r$  из условия, что на длине орбиты укладывается целое число волн де Бройля. Отсюда энергия  $n$ -го уровня равна

$$E = \frac{-RZ^2}{n^2}.$$

## Спектр йода

В первом приближении энергия молекулы может быть представлена в виде:

$$E = E_e + E_o + E_r, \quad (4)$$

где  $E_e$  есть энергия электронных уровней,  $E_o$  есть энергия колебательных уровней,  $E_r$  есть энергия вращательных уровней.

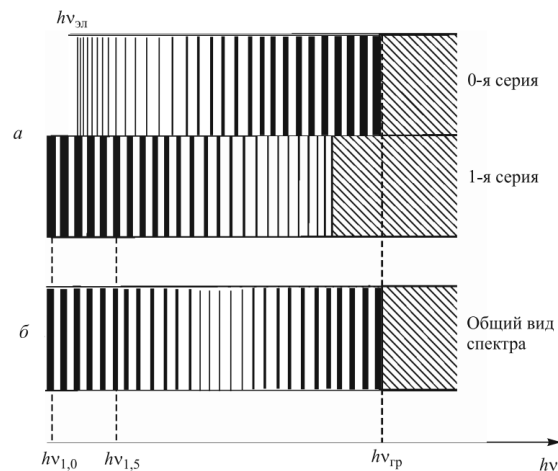


Рис. 2: Спектр йода

В настоящей работе рассматриваются оптические переходы, то есть переходы, связанные с излучением фотонов в видимом диапазоне длин волн. Они соответствуют переходам

между различными электронными состояниями. При этом также происходят изменения вращательного и колебательного состояний, однако в реальности ввиду малости характерных энергий вращательные переходы ненаблюдаемы.

Более конкретно, изучаются переходы из колебательного состояния с номером  $n_1$  основного электронного уровня с энергией  $E_1$  в колебательное состояние с номером  $n_2$  на электронный уровень с энергией  $E_2$ . Энергия таких переходов описывается формулой:

$$h\nu_{n_1, n_2} = (E_2 - E_1) + h\nu_2(n_2 + \frac{1}{2}) - h\nu_1(n_1 + \frac{1}{2}), \quad (5)$$

где  $\nu_1$  и  $\nu_2$  суть энергии колебательных квантов на электронных уровнях с энергиями  $E_1$  и  $E_2$ .

При достаточно больших квантовых числах  $n_1$  и  $n_2$  колебательные уровни переходят в непрерывный спектр, что соответствует диссоциации молекулы. Наименьшая энергия, которую нужно сообщить молекуле в нижайшем колебательном состоянии, чтобы она диссоциировала, называется энергией диссоциации.

В данной работе определяются энергии диссоциации на первых двух электронных уровнях.

## 2 Экспериментальная установка

Схема установки представлена на рисунке (3)

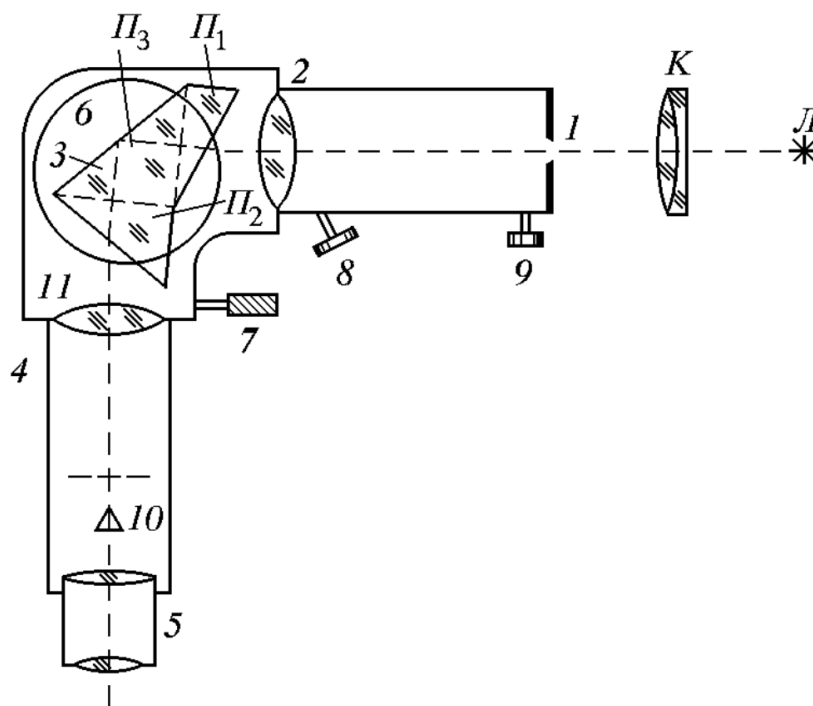


Рис. 3: Схема установки

Для измерения длин волн спектральных линий в работе используется стеклянный-призмный монохроматор-спектрометр УМ-2 (универсальный монохроматор), предназначенный для спектральных исследований в диапазоне от 0,38 до 1,00 мкм.

## 3 Выполнение работы

Построим калибровочный график монохроматора по спектрам неона и ртути:

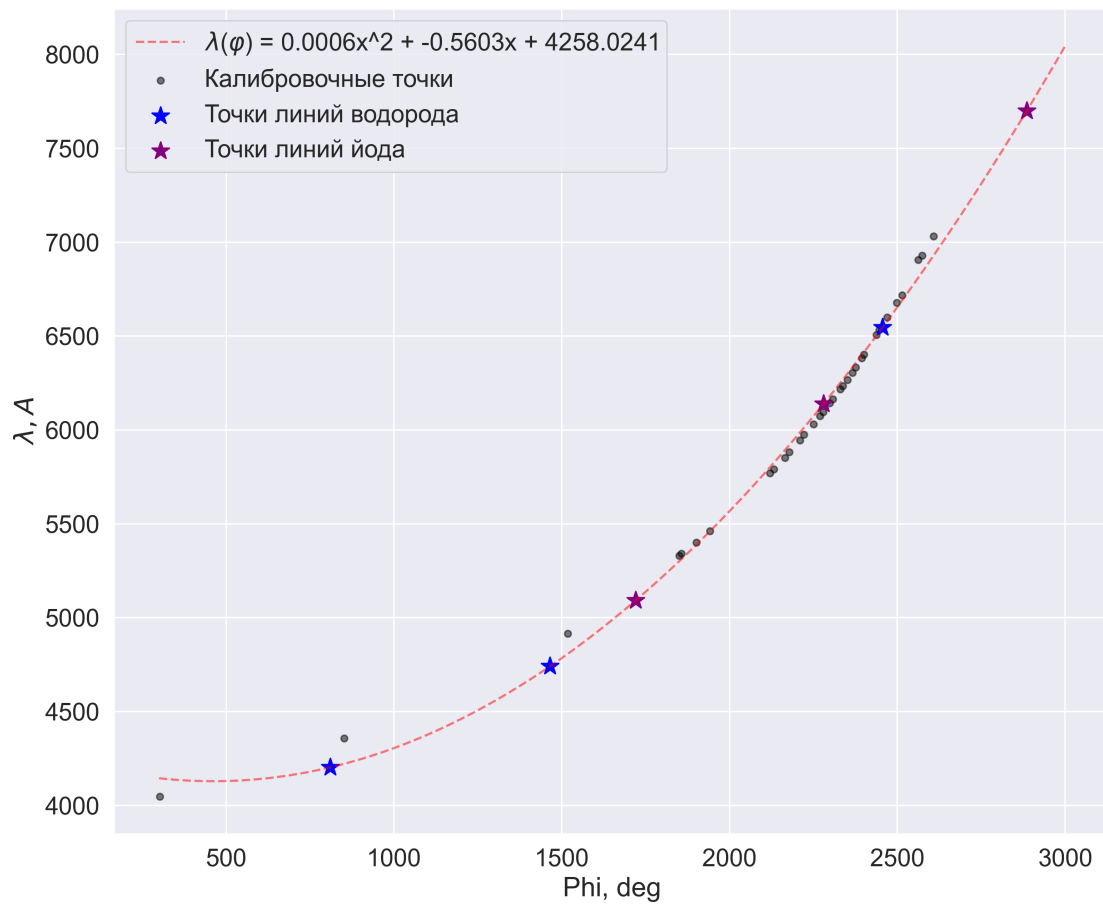


Рис. 4: Калибровочный график

По графику найдем длины волн, соответствующие серии Бальмера

	$\lambda$ , нм
$H_\alpha$	$655 \pm 10$
$H_\beta$	$474 \pm 7$
$H_\gamma$	$420 \pm 6$

Для этих значений посчитаем значения констант Ридберга и найдем среднее:

$$R = 11192754 \pm 1000 \text{ м}^{-1} \quad (6)$$

Табличное значение  $R_{\text{теор}} = 10973731 \text{ м}^{-1}$

## 4 Выводы

В ходе работы был изучен спектр атома водорода, получена константа Ридберга. Ее значение совпало с теоретическим. В работе можно было наблюдать линии альфа, бета и гамма.