

Лабораторные работы 2.2 - 2.3

Изучение спектров атома водорода и молекулы йода

Гарина Ольга
Аксенова Светлана
Б04-901

3 октября 2021 г.

Содержание

1 Экспериментальная установка	3
2 Теоретическое введение	3
2.1 Изучение спектра атома водорода	3
2.2 Изучение молекулярного спектра йода	5
3 Ход работы	6
4 Вывод	8
5 Литература	8

Цель работы: исследовать сериальные закономерности в спектре атома водорода, спектр поглощения паров йода в видимой области.

1 Экспериментальная установка

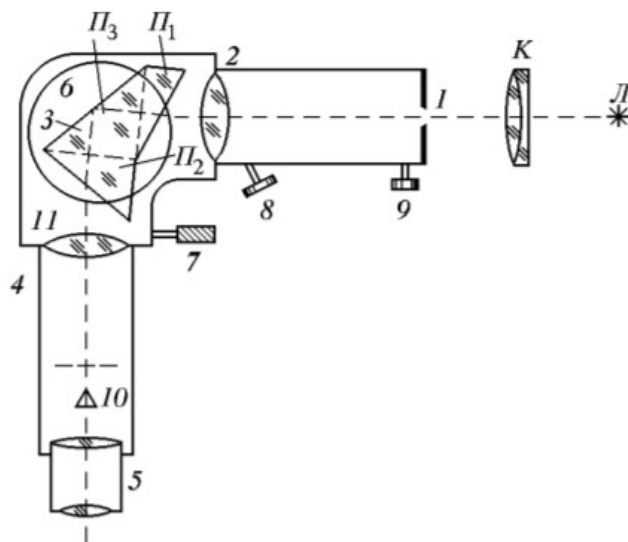


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

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

2 Теоретическое введение

2.1 Изучение спектра атома водорода

Атом водорода является простейшей атомной системой; для него уравнение Шредингера может быть решено точно. Поэтому спектр атома водорода является предметом тщательного экспериментального и теоретического исследования.

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 R – константа, называемая постоянной Ридберга, а m и n – целые числа.

Для объяснения спектра атома водорода Нильс Бор предложил теорию атома, в основу которой положил три постулата

1. из всех возможных с точки зрения классической физики орбит в атоме осуществляются только некоторые стационарные орбиты, при движении по которым, вопреки представлениям классической электродинамики, электрон не излучает энергии;
2. из всех возможных орбит в атоме осуществляются только те, для которых момент количества движения равен целому кратному величины постоянной Планка

$$L = n\hbar; \quad (2)$$



Рисунок 2 – Уровни энергии атома водорода и образование спектральных серий

3. излучение или поглощение энергии происходит при переходе атома из одного стационарного состояния в другое, а частота излучаемого (поглощаемого) света связана с разностью энергий атома в стационарных состояниях соотношением

$$h\nu = E_2 - E_1, \quad (3)$$

где ν – частота излучаемой линии.

Если считать ядро неподвижным, то энергетические состояния определяются выражением

$$E_n = -\frac{2\pi m_e e^4 Z^2}{h^2} \frac{1}{n^2}. \quad (4)$$

Из рис. 2 видно, что линии в спектре водорода можно расположить по сериям; для всех линий серии значение n остается постоянным, а m может принимать любые значения от $n+1$ до ∞ . Величина m для первых четырех линий серии Бальмера принимает значение 3,4,5,6. Эти линии обозначаются символами $H_\alpha, H_\beta, H_\gamma, H_\delta$.

Так как электрон локализован в области размером r (радиус его орбиты), то по соотношению неопределенности его импульс $p \sim \hbar/r$, и, следовательно, полная энергия определяется выражением

$$E = -\frac{Ze^2}{r} + \frac{\hbar^2}{2m_e r^2}. \quad (5)$$

Дифференцирование этого выражения по r приводит к следующему условию минимального значения энергии:

$$r_B = \frac{\hbar^2}{Zm_e e^2}. \quad (6)$$

Энергия основного состояния

$$E = -RZ^2. \quad (7)$$

Аналогично, для боровского радиуса с квантовым числом n мы получаем

$$r_n = \frac{n^2 \hbar^2}{Z m_e e^2}, \quad (8)$$

а энергия

$$E_n = -\frac{m_e Z^2 e^4}{2 \hbar^2} \frac{1}{n^2} = -R \frac{Z^2}{n^2}. \quad (9)$$

2.2 Изучение молекулярного спектра йода

Молекулы обладают более богатым спектром возбужденных состояний, чем изолированные атомы. В то время как возбуждения атомов - это переходы их электронов на более высоко расположенные энергетические уровни, в молекулах могут возбуждаться дополнительные степени свободы: колебания составляющих их атомов друг относительно друга и вращения молекул относительно различных осей.

При смещении атомов в молекуле из равновесных положений могут возникать их колебания около положения равновесия. Силы, обеспечивающие устойчивость молекулы, имеют электрическую природу. На близких расстояниях атомы, образующие молекулы, отталкиваются, и обусловлено это кулоновским отталкиванием сближающихся ядер. На больших расстояниях атомы притягиваются - это может происходить за счет кулоновского притяжения разноименных ионов, либо за счет обменных сил, имеющих квантово-механическую природу. В результате образуется потенциальный минимум (рис 3). Энергия колебаний атомов молекулы квантуется

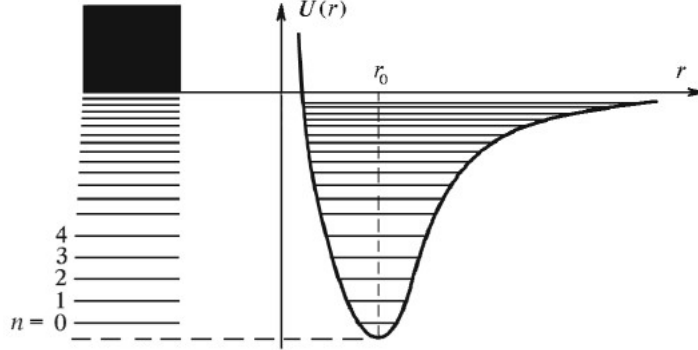


Рисунок 3 – Схема энергетических уровней двуатомной молекулы

$$E = \hbar \omega_0 \left(n + \frac{1}{2} \right) - \hbar \omega_0 x_n \left(n + \frac{1}{2} \right)^2. \quad (10)$$

Если масса осциллятора равна M , то в гармоническом потенциале частота колебаний

$$\omega_k = \sqrt{\frac{k}{M}} \approx \alpha^2 \frac{mc^2}{\hbar} \sqrt{\frac{m}{M}}, \quad (11)$$

где α – постоянная тонкой структуры. Эту частоту естественно сравнивать с характерной частотой электронных уровней

$$\omega_e \approx \frac{Ry}{\hbar} \approx \frac{mc^2}{\hbar} \alpha^2 \quad (12)$$

Оптические переходы соответствуют переходам между различными электронными состояниями молекулы. При этом обычно происходят также изменения ее вращательного и колебательного состояний. Характерная энергия вращательных движений в 10^6 раз меньше энергии электронных переходов, и поэтому наблюдение вращательных переходов оптическими спектрометрами невозможно. Реально в видимой области наблюдаются электронно-колебательные спектры молекул. В спектре излучения происходит наложение колебательного спектра на электронный, и проявляется это в том, что каждой линии электронного перехода соответствует ряд колебательных линий, образующих полосу. D_1 , D_2 – энергии диссоциации молекулы из состояний n_1

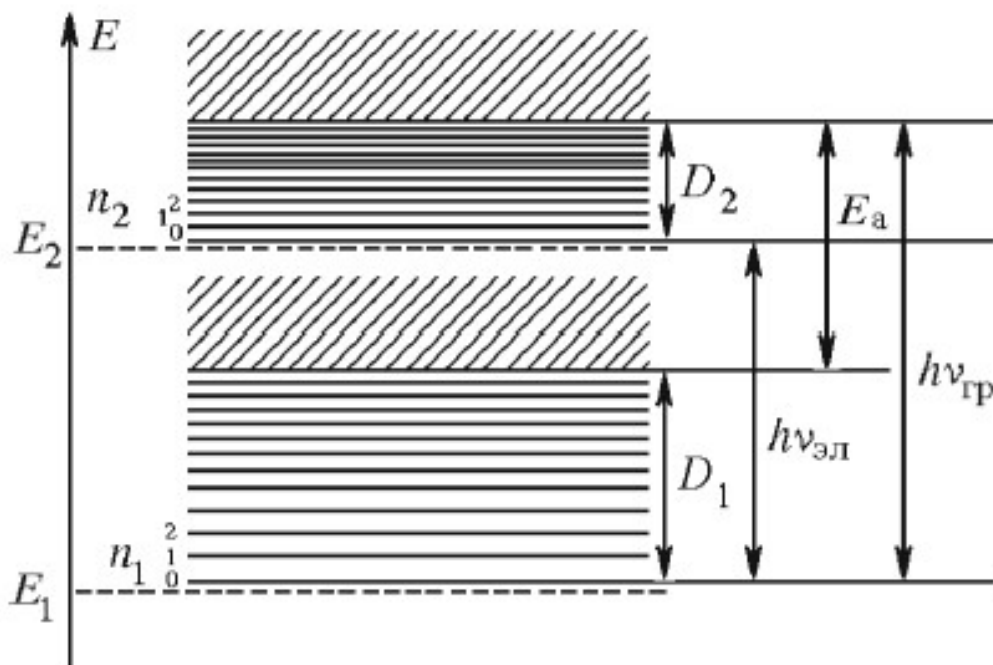


Рисунок 4 – Электронные и электронно-колебательные энергетические уровни двухатомной молекулы

$= 0$ и $n_2 = 0$. Наиболее интенсивной оказывается 0-я серия, 1-я серия примерно в 3 раза слабее, а остальные серии практически не наблюдаются.

3 Ход работы

В начале работы с помощью неоновой и ртутной ламп был получен калибровочный график, переводящий значения на барабане монохроматора в длины волн

Далее с помощью водородной лампы были получены значения на барабане для четырех линий водорода. С помощью калибровочного графика были получены следующие значения

$$H_{\alpha} = 6502 \pm 290 \text{ \AA}$$

$$H_{\beta} = 4784 \pm 182 \text{ \AA}$$

$$H_{\gamma} = 4236 \pm 120 \text{ \AA}$$

$$H_{\delta} = 4113 \pm 89 \text{ \AA}$$

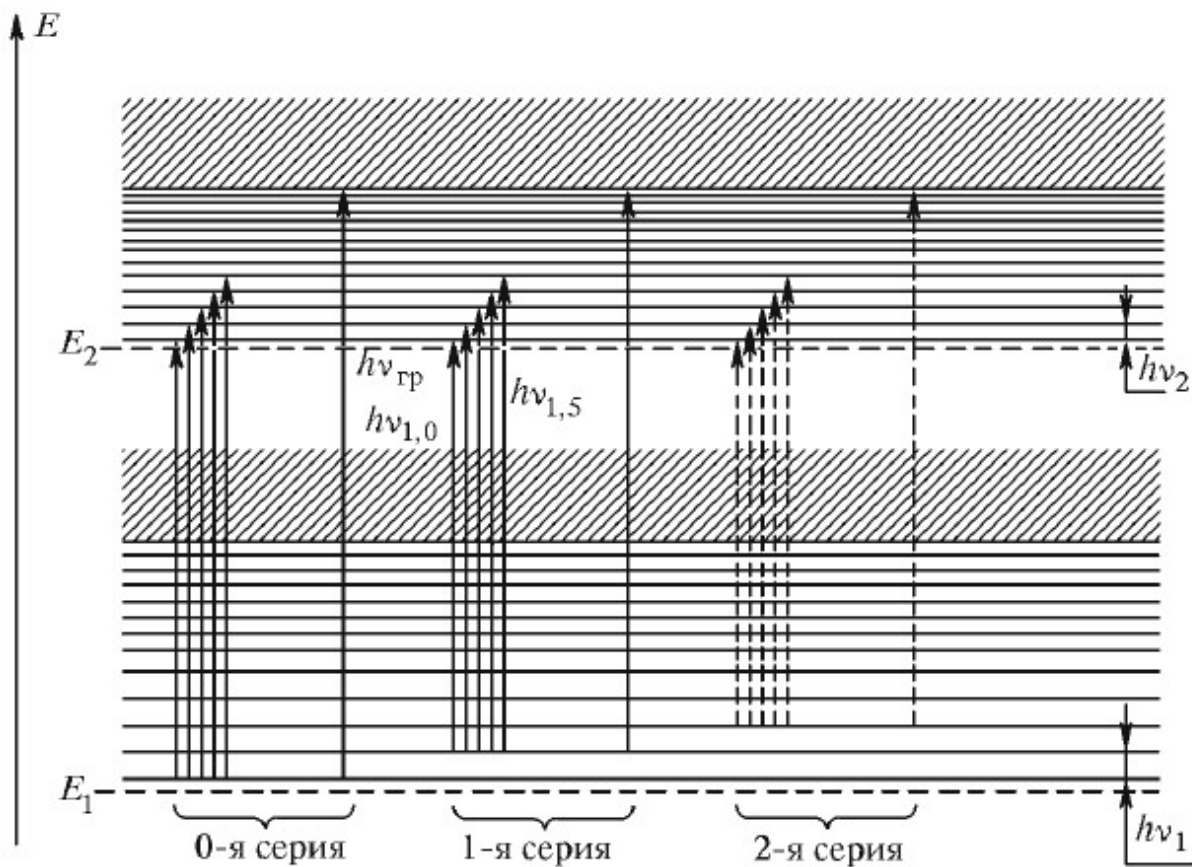


Рисунок 5 – Структура электронно-колебательного спектра поглощения молекулы йода в видимой области

Далее были посчитаны постоянные Ридберга для каждой длины волны по формуле (1)

$$R_{\text{ср}} = 11099502 \pm 109945 \text{ м}^{-1}$$

$$R_{\text{теор}} = 10967760$$

$$\varepsilon = 1,2\%$$

После этого водородная лампа была заменена на лампу накаливания. Для определения длин волн в спектре йода был использован график на рис. 6. Длины волн в спектре йода:

$$\lambda_1 = 6201 \pm 274 \text{ Å}$$

$$\lambda_2 = 5972 \pm 262 \text{ Å}$$

$$\lambda_3 = 5188 \pm 214 \text{ Å}$$

$$E_{10} = h\nu_{1,0} = 2,00 \pm 0,09 \text{ эВ}$$

$$E_{15} = h\nu_{1,5} = 2,08 \pm 0,09 \text{ эВ}$$

$$E_{\text{гр}} = 2,3 \pm 0,1 \text{ эВ}$$

Энергия колебательного кванта возбужденного состояния

$$E_2 = \frac{E_{15} - E_{10}}{5} = 0,015 \pm 0,025 \text{ эВ}. \quad (13)$$

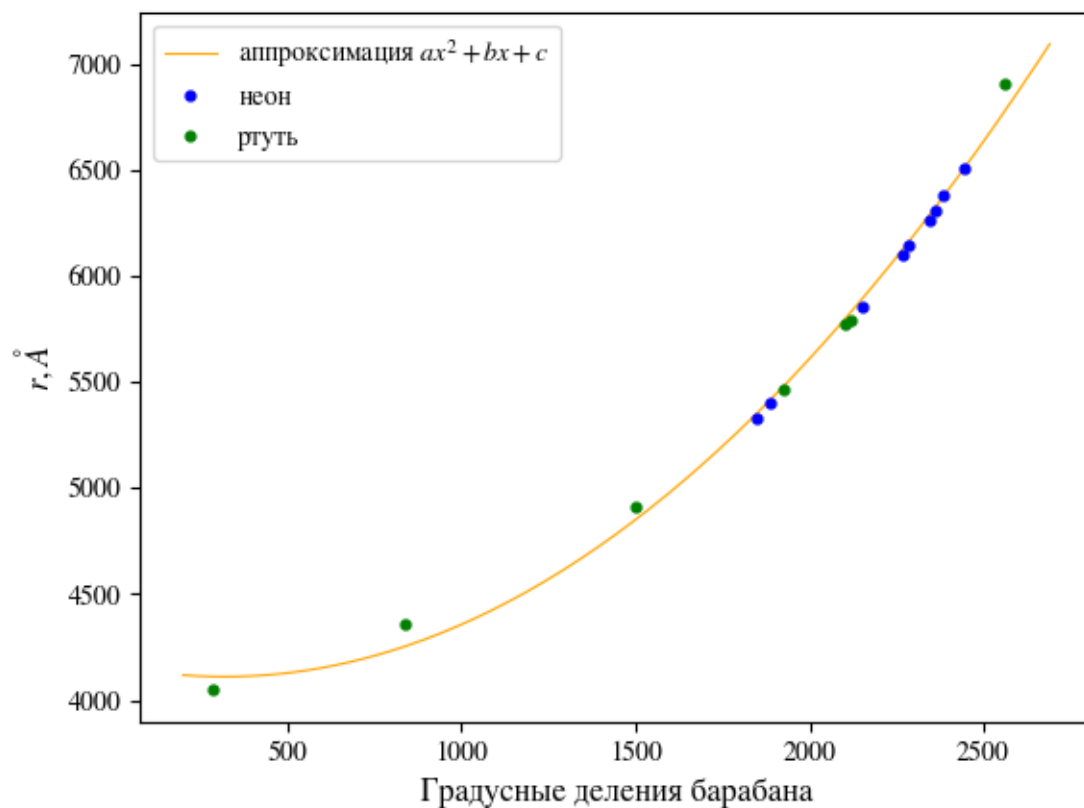


Рисунок 6 – Калибровочный график

Энергия электронного перехода

$$E_{\text{эл}} = 2,0 \pm 0,1 \text{ эВ} \quad (14)$$

Энергии диссоциации молекулы в основном и в возбужденном состояниях:

$$D_1 = 1,5 \pm 0,1 \text{ эВ}$$

$$D_2 = 0,4 \pm 0,14 \text{ эВ}$$

4 Вывод

В ходе лабораторной работы наблюдались спектры атома водорода и молекулы йода, были рассчитаны длины волн всех линий спектров. Также была посчитана постоянная Ридберга с ошибок в 1,2 %, далее были рассчитаны различные энергии для молекулы йода.

5 Литература

1. Лабораторный практикум по общей физике: Квантовая физика: Учеб. пособие для вузов /Игошин Ф.Ф., Самарский Ю.А., Ципенюк Ю.М.
2. [Дополнительное описание](#)