

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
ФИЗТЕХ-ШКОЛА РАДИОТЕХНИКИ И КИБЕРНЕТИКИ

Изучение спектров атома водорода и молекулы йода

Работу выполнил:
Шурыгин Антон
группа Б01-909

Долгопрудный, 2021

Содержание

1	Теоретическая часть	3
1.1	Спектр водорода	3
1.2	Спектр йода	4
2	Экспериментальная установка	5
3	Ход работы и обработка данных	6
4	Вывод	11

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

1 Теоретическая часть

1.1 Спектр водорода

Атом водорода является простейшей квантовой системой, для которой уравнение Шрёдингера может быть решено точно. Это также верно для водородоподобных атомов, то есть атомов с одним электроном на внешней оболочке. Из решения уравнения Шрёдингера следует, что внешний электрон в таких атомах обладает дискретным энергетическим спектром:

$$E_n = -\frac{m_e(Ze^2)^2}{2\hbar^2} \frac{1}{n^2}, \quad (1)$$

где n есть номер энергетического уровня, Z есть зарядовое число ядра рассматриваемого атома, которое в случае атома водорода равно 1. При переходе электрона с n -го на m -й уровень излучается фотон с энергией

$$E_\gamma = E_n - E_m = \frac{m_e e^2}{2\hbar^2} Z^2 \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right). \quad (2)$$

Длина волны соответствующего излучения $\lambda_{n,m}$ связана с номерами уровней следующим соотношением:

$$\lambda_{n,m}^{-1} = \frac{m_e e^2}{4\pi\hbar^3 c} Z^2 \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) = R_y Z^2 \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad (3)$$

где $R_y = \frac{m_e e^2}{4\pi\hbar^3 c}$ есть постоянная Ридберга.

В данной работе будет исследоваться серия Бальмера атома водорода, в которой электроны совершают переходы с некоторого уровня n на уровень $m = 2$.

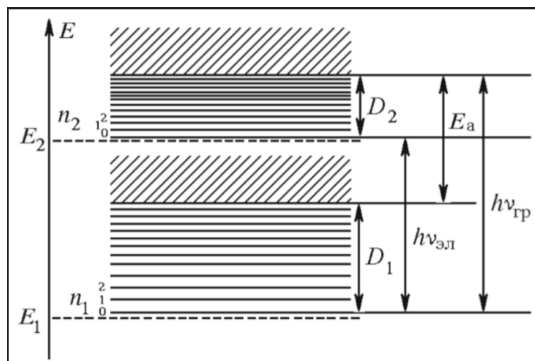


Рис. 1 : электронные и электронно-колебательные уровни двух-атомной молекулы

1.2 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.

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 ν_1 и ν_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

Для измерения длин волн спектральных линий в работе используется стеклянный-призмный монохроматор-спектрометр УМ-2, предназначенный для спектральных исследований.

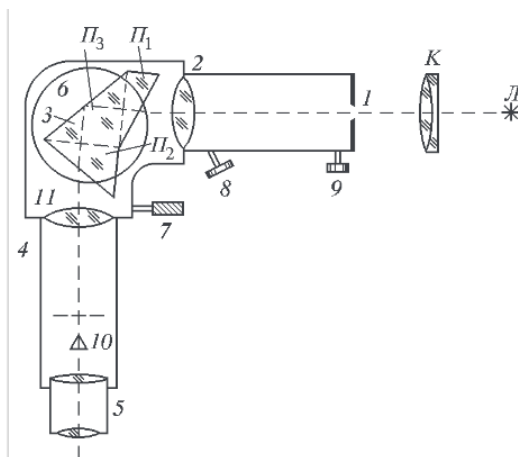


Рис. 2 Устройство монохроматора УМ-2

В работе спектр поглощения паров йода наблюдается визуально на фоне сплошного спектра лампы накаливания, питаемой от блока питания.

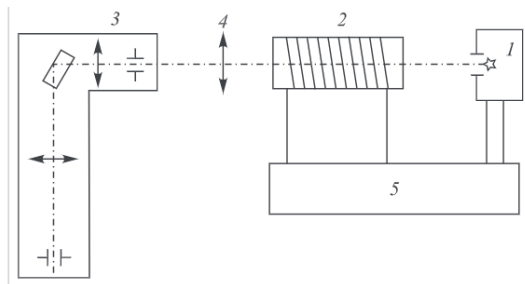


Рис. 3 Схема экспериментальной установки для изучения спектра поглощения паров йода

3 Ход работы и обработка данных

Калибровка спектрометра была выполнена по спектрам ртути и неона. По ртути следует калиброваться в коротковолновой части спектра, а по неону – в средней и длинноволновой.

Измерим положения трёх линий водорода из серии Бальмера — H_α , H_β , H_γ . Линии H_δ и более коротковолновые пронаблюдать не удалось ввиду их слабой интенсивности. Получили соответствующие показания спектрометра:

$$H_\alpha : (2792 \pm 5)$$

$$H_\beta : (1814 \pm 5)$$

$$H_\gamma : (1172 \pm 5)$$

Проградуируем спектрометр, для чего используем спектры неоновой и ртутной лампы, длины волн спектральных линий которых известны.

Получаем приближение полиномом второй степени:

$$f(x) = 0,00007x^2 - 1,1725x + 4369,6081$$

$\lambda, \text{Å}$	θ	σ_θ
7032	2942	5
6929	2914	5
6717	2850	5
6678	2830	5
6599	2804	5
6533	2782	5
6507	2770	5
6402	2735	5
6383	2724	5
6334	2708	5
6305	2696	5
6267	2682	5
6217	2664	5
6164	2638	5
6143	2630	5
6096	2614	5
6074	2602	5
6030	2584	5
5976	2558	5
5945	2548	5
5882	2516	5
5852	2498	5
5401	2242	5

Таблица 1 : калибровка для неона

$\lambda, \text{Å}$	θ	σ_θ
5790	2456	5
5461	2282	5
4395	1866	5
4047	1222	5

Таблица 2 : калибровка для ртути

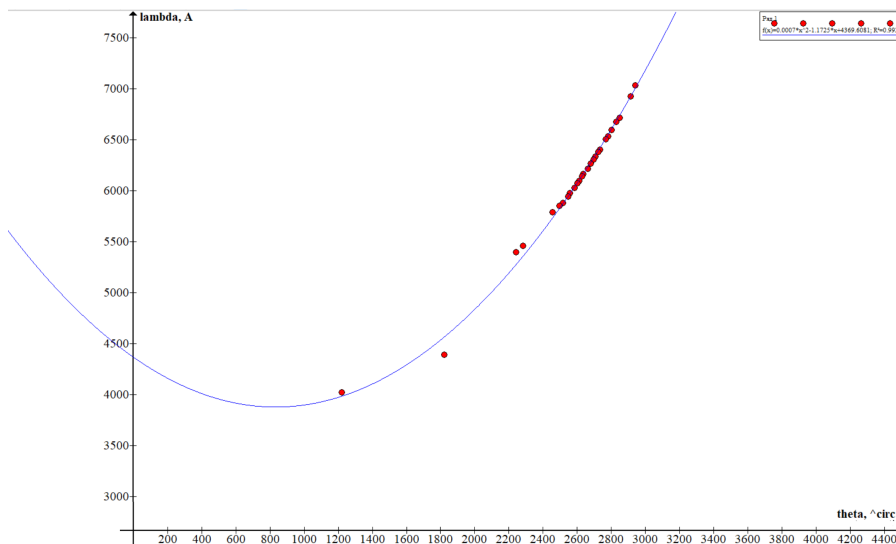


Рис. 4 : градуировка спектрометра

С учётом градуировки спектрометра получаем следующие длины волн для водорода:

$$H_{\alpha} = (650 \pm 15) \text{ нм}$$

$$H_{\beta} = (486 \pm 15) \text{ нм}$$

$$H_{\gamma} = (430 \pm 15) \text{ нм}$$

Для каждой линии определим константу Ридберга по формуле (3), учитывая, что $m = 2$, $Z = 1$, а также, что:

- для линии $H_{\alpha} \Rightarrow n = 3$
- для линии $H_{\beta} \Rightarrow n = 4$
- для линии $H_{\gamma} \Rightarrow n = 5$

Получаем следующие значения константы Ридберга:

$$Ry_{\alpha} = (1.114 \pm 0.05) \cdot 10^{-2} \text{ нм}^{-1}$$

$$Ry_{\beta} = (1.10 \pm 0.05) \cdot 10^{-2} \text{ нм}^{-1}$$

$$Ry_{\gamma} = (1.11 \pm 0.05) \cdot 10^{-2} \text{ нм}^{-1}$$

Возьмем среднее среди полученных значений константы Ридберга и определим её экспериментально полученное значение:

$$Ry_E = (1.105 \pm 0.05) \cdot 10^{-2} \text{ нм}^{-1}$$

Полученное значение вполне совпадает с табличным значением в пределах погрешности:

$$Ry = 1.097 \cdot 10^{-2} \text{ нм}^{-1}$$

Запишем показания спектрометра для следующих переходов в молекуле йода:

- $\theta_{1,0}$ – переход из первого колебательного уровня основного состояния в нулевой колебательный уровень возбуждённого состояния
- $\theta_{1,5}$ – переход из первого колебательного уровня основного состояния в пятый колебательный уровень возбуждённого состояния
- θ_g – переход из нулевого колебательного уровня основного состояния в область непрерывного спектра возбуждённого состояния

Получаем следующие данные:

$$\theta_{1,0} = (2700 \pm 5),$$

$$\theta_{1,5} = (2620 \pm 5),$$

$$\theta_g = (2000 \pm 5)$$

откуда находим соответствующие длины волн:

$$\lambda_{1,0} = (620 \pm 30) \text{ нм}, \lambda_{1,5} = (610 \pm 30) \text{ нм}, \lambda_g = (510 \pm 30) \text{ нм}.$$

Определим энергию колебательного кванта возбуждённого состояния молекулы по формуле:

$$h\nu_2 = \frac{h\nu_{1,5} - h\nu_{0,5}}{5}.$$

Итого:

$$h\nu_2 = (1.0 \pm 0.2) \cdot 10^{-2} \text{ эВ}$$

Вычислим:

- энергию электронного перехода $\Delta E = E_2 - E_1$
- энергию диссоциации D_1 в основном состоянии
- энергию диссоциации D_2 в возбуждённом состоянии

При условии, что известны энергия колебательного кванта основного состояния есть $h\nu_1 = 0,027 \text{ эВ}$, энергия возбуждения, то есть энергия перехода атома из области непрерывного спектра основного состояния в область непрерывного спектра возбуждённого состояния, равна $E_A = 0.94 \text{ эВ}$.

Имеем систему уравнений:

$$\begin{cases} D_1 + E_A = h\nu_g, \\ h\nu_g = D_2 + \Delta E, \\ h\nu_{1,0} = \Delta E + h\nu_2 - \frac{3}{2}h\nu_1, \\ h\nu_{1,5} = \Delta E + \frac{11}{2}h\nu_2 - \frac{3}{2}h\nu_1. \end{cases}$$

Из неё находим все необходимые величины:

$$\Delta E = (2.0 \pm 0.1) \text{ эВ}$$

$$D_1 = (1.5 \pm 0.1) \text{ эВ}$$

$$D_2 = (0.42 \pm 0.1) \text{ эВ}$$

4 Вывод

В работе исследовались сериальные закономерности в оптическом спектре водорода и спектр поглощения паров йода в видимой области.

Была построена градуировочная кривая по данным спектрам неона и ртути. Затем получены длины волн линий H_α , H_β и H_γ серии Бальмера:

$$H_\alpha = (650 \pm 15) \text{ нм}$$

$$H_\beta = (486 \pm 15) \text{ нм}$$

$$H_\gamma = (430 \pm 15) \text{ нм}$$

Вычислена постоянная Ридберга:

$$R_{yp} = (1.105 \pm 0.05) \cdot 10^{-2} \text{ нм}^{-1}$$

В пределах погрешности экспериментальное значение в пределах погрешности совпадает с теоретическим:

$$Ry_t = 1.097 \cdot 10^{-2} \text{ нм}^{-1}$$

Получены длины волн, соответствующие некоторым электронно-колебательным переходам из основного состояния в возбуждённое. Вычислены энергия колебательного кванта возбуждённого состояния молекулы,

$$h\nu_2 = (1.0 \pm 0.2) \cdot 10^{-2} \text{ эВ}$$

Энергия электронного перехода:

$$\Delta E = (2.0 \pm 0.1) \text{ эВ}$$

Энергии диссоциации молекулы в основном и в возбуждённом состояниях:

$$D_1 = (1.5 \pm 0.1) \text{ эВ}$$

$$D_2 = (0.42 \pm 0.1) \text{ эВ}$$