

Работа 5.2.2(3)
Изучение спектров атомов водорода и йода

Колесников Иван, Шаратов Денис, Б05-004

Содержание

1	Аннотация	2
2	Теоретические сведения	2
3	Результаты измерений и обработка данных	2
3.1	Калибровочные измерения	2
3.2	Исследование спектров водорода и йода	3
4	Вывод	4
5	Приложение	4

1 Аннотация

Цель работы: исследовать спектральные закономерности в оптических спектрах водорода и дейтерия, вычислить постоянные Ридберга, потенциалы ионизации и изотопические сдвиги линий для этих изотопов водорода; исследовать спектр поглощения паров йода в видимой области, вычислить энергию колебательного кванта молекулы йода и энергию её диссоциации в основном и возбужденном состоянии.

В работе используются: призмный монохроматор; неоновая, ртутная, водородная лампы; кювета с парами йода; лампа накаливания.

2 Теоретические сведения

В первом приближении энергия молекулы может быть представлена в виде

$$E = E_{\text{эл}} + E_{\text{колеб}} + E_{\text{вращ}}. \quad (1)$$

На языке волновых функций это приближение выглядит как

$$\psi = \psi_{\text{эл}} \cdot \psi_{\text{колеб}} \cdot \psi_{\text{вращ}}. \quad (2)$$

Длины волн спектральных линий водородоподобного атома описываются формулой

$$\frac{1}{\lambda_{mn}} = RZ^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (3)$$

где R — постоянная Ридберга, m, n — целые числа.

Энергия колебательного кванта возбужденного состояния молекулы йода выражается формулой

$$h\nu_2 = \frac{h\nu_{1,5} - h\nu_{1,0}}{5}. \quad (4)$$

3 Результаты измерений и обработка данных

3.1 Калибровочные измерения

Используя неоновую и ртутную лампы, проведём градуировочные измерения. Результаты представлены в таблице 1. По этим данным построим градуировочную кривую (рис. 1). Погрешность измерения угла барабана составляет $\approx 1^\circ$. Погрешность определения длины волны равна $\pm 5 \text{ \AA}$.

Неон			Ртуть		
Угол барабана, $^\circ$	λ , \AA	Полоса	Угол барабана, $^\circ$	λ , \AA	Полоса
2008	5852	22	2612	6907	K1
1947	5401	23	2380	6234	K2
1912	5341	24	2175	5791	1
2260	5945	20	2164	5770	2
2314	6074	17	1988	5461	3
2326	6096	16	1578	4916	4
2344	6143	15	908	4358	5
2354	6164	14	366	4047	6
2396	6267	12			
2422	6334	10			
2448	6402	8			
2486	6507	7			
2544	6678	4			
2622	6929	2			

Таблица 1: Градуировка угла барабана по спектрам неона и ртути

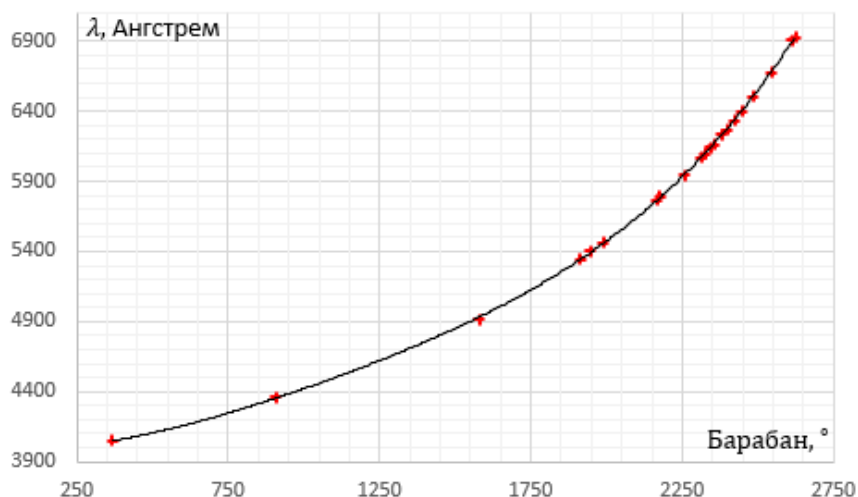


Рис. 1: График калибровки барабана

3.2 Исследование спектров водорода и йода

Водород			Йод		
Угол барабана, °	λ , Å	Полоса	Угол барабана, °	λ , Å	Полоса
2499	6550	H_α	2338	6140	$h\nu_{1,0}$
1514	4860	H_β	2243	5920	$h\nu_{1,5}$
879	4340	H_γ	1840	5245	$h\nu_{гр}$
464	4095	H_δ	1718	5090	$h\nu_{гр}$

Таблица 2: Результаты измерений спектров водорода и йода

В работе исследуется серия Бальмера: $n = 2$, $m = 3, 4, 5, 6$ для $H_\alpha, H_\beta, H_\gamma, H_\delta$ соответственно. Найдём значения R для различных линий водорода. Результаты представлены в таблице 3.

λ , Å	Полоса	R , Å ⁻¹	σ_R , Å ⁻¹
6550	H_α	$1.099 \cdot 10^{-3}$	$8.4 \cdot 10^{-7}$
4860	H_β	$1.097 \cdot 10^{-3}$	$1.13 \cdot 10^{-6}$
4340	H_γ	$1.097 \cdot 10^{-3}$	$1.26 \cdot 10^{-6}$
4095	H_δ	$1.099 \cdot 10^{-3}$	$1.34 \cdot 10^{-6}$

Таблица 3: Результаты измерения постоянной Ридберга

Таким образом, получим

$$R = (1.0980 \pm 0.0006) \cdot 10^{-3} \text{ Å}^{-1}. \quad (5)$$

Используя калибровочный график (рис. 1), вычислим энергии для йода. Результаты представлены в таблице 4.

λ , Å	Полоса	E , эВ	σ_E , эВ
6140	$h\nu_{1,0}$	2.020	$1.6 \cdot 10^{-3}$
5920	$h\nu_{1,5}$	2.095	$1.8 \cdot 10^{-3}$
5245	$h\nu_{гр}$	2.365	$2.3 \cdot 10^{-3}$
5090	$h\nu_{гр}$	2.437	$2.4 \cdot 10^{-3}$

Таблица 4: Результаты измерения энергий кванта йода для различных спектральных линий

Произведём расчёты:

1. $h\nu_2 = 0.015 \pm 0.002$ эВ — энергия колебательного кванта возбужденного состояния молекулы йода.
2. $h\nu_{эл} = h\nu_{1,5} - \frac{h\nu_1}{2} = 2.081 \pm 0.002$ эВ.
3. $D_1 = h\nu_{гр} - E = 1.496 \pm 0.002$ эВ — энергия диссоциации молекулы в основном состоянии ($E = 0.94$ эВ).
4. $D_2 = h\nu_{гр} - h\nu_{эл} + 5.5h\nu_2 = 0.4375$ эВ — энергия диссоциации молекулы в возбужденном состоянии.

4 Вывод

В работе были изучены спектры водорода и йода; экспериментально проверена справедливость формулы Бальмера и найдена постоянная Ридберга, которая хорошо приближает табличное значение ($R = 10967758,341 \text{ м}^{-1}$); оценены энергии квантов возбужденного состояния молекулы, энергия диссоциации частиц и энергия электронного перехода.

5 Приложение

$$f := \frac{1}{\lambda} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)^{-1}$$

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

$$\sigma := \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{x} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_y}{y} \right)^2}^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{x^2} + \frac{\sigma_y^2}{y^2}}$$

$$H_{\alpha} := \text{evalf}(\text{subs}(\{n = 2, m = 3, \lambda = 6550\}, f))$$

$$H_{\alpha} = 1.09923664 \times 10^{-3}$$

$$H_{\alpha} \sigma := \text{evalf}(\text{subs}(\{x = 6550, \sigma_x = 5, \sigma_y = 0, \text{val} = H_{\alpha}\}, \sigma))$$

$$H_{\alpha} \sigma = 8.39111940 \times 10^{-7}$$

$$H_{\beta} := \text{evalf}(\text{subs}(\{n = 2, m = 4, \lambda = 4860\}, f))$$

$$H_{\beta} = 1.09739369 \times 10^{-3}$$

$$H_{\beta} \sigma := \text{evalf}(\text{subs}(\{x = 4860, \sigma_x = 5, \sigma_y = 0, \text{val} = H_{\beta}\}, \sigma))$$

$$H_{\beta} \sigma = 1.12900585 \times 10^{-6}$$

$$H_{\gamma} := \text{evalf}(\text{subs}(\{n = 2, m = 5, \lambda = 4340\}, f))$$

$$H_{\gamma} = 1.09721308 \times 10^{-3}$$

$$H_{\gamma} \sigma := \text{evalf}(\text{subs}(\{x = 4340, \sigma_x = 5, \sigma_y = 0, \text{val} = H_{\gamma}\}, \sigma))$$

$$H_{\gamma} \sigma = 1.26407037 \times 10^{-6}$$

$$H_{\delta} := \text{evalf}(\text{subs}(\{n = 2, m = 6, \lambda = 4095\}, f))$$

$$H_{\delta} = 1.09890110 \times 10^{-3}$$

$$H_{\delta} \sigma := \text{evalf}(\text{subs}(\{x = 4095, \sigma_x = 5, \sigma_y = 0, \text{val} = H_{\delta}\}, \sigma))$$

$$H_{\delta} \sigma = 1.34175958 \times 10^{-6}$$

$$E := \frac{3 \cdot 10^8}{\lambda} \cdot 4.135 \cdot 10^{-15} \cdot 10^{10}$$

$$E = \frac{1.24050000 \times 10^4}{\lambda}$$

$$E_{10} := \text{evalf}(\text{subs}(\lambda = 6140, E))$$

$$E_{10} = 2.02035831 \times 10^0$$

$$E_{15} := \text{evalf}(\text{subs}(\lambda = 5920, E))$$

$$E_{15} = 2.09543919 \times 10^0$$

$$E_{\text{border}_1} := \text{evalf}(\text{subs}(\lambda = 5245, E))$$

$$E_{\text{border}_1} = 2.36510963 \times 10^0$$

Рис. 2: Подсчёт величин и их погрешностей

$$E = \frac{3 \cdot 10^8}{\lambda} \cdot 4.135 \cdot 10^{-15} \cdot 10^{10}$$

$$E = \frac{1.24050000 \times 10^4}{\lambda}$$

$$E_{10} := \text{evalf}(\text{subs}(\lambda = 6140, E))$$

$$E_{10} = 2.02035831 \times 10^0$$

$$E_{15} := \text{evalf}(\text{subs}(\lambda = 5920, E))$$

$$E_{15} = 2.09543919 \times 10^0$$

$$E_{\text{border}_1} := \text{evalf}(\text{subs}(\lambda = 5245, E))$$

$$E_{\text{border}_1} = 2.36510963 \times 10^0$$

$$E_{\text{border}_2} := \text{evalf}(\text{subs}(\lambda = 5090, E))$$

$$E_{\text{border}_2} = 2.43713163 \times 10^0$$

$$E_{10} \sigma := \text{evalf}(\text{subs}(\{x = 6140, \sigma_x = 5, \sigma_y = 0, \text{val} = E_{10}\}, \sigma))$$

$$E_{10} \sigma = 1.64524292 \times 10^{-3}$$

$$E_{15} \sigma := \text{evalf}(\text{subs}(\{x = 5920, \sigma_x = 5, \sigma_y = 0, \text{val} = E_{15}\}, \sigma))$$

$$E_{15} \sigma = 1.76979661 \times 10^{-3}$$

$$E_{\text{border}_1} \sigma := \text{evalf}(\text{subs}(\{x = 5245, \sigma_x = 5, \sigma_y = 0, \text{val} = E_{\text{border}_1}\}, \sigma))$$

$$E_{\text{border}_1} \sigma = 2.32329040 \times 10^{-3}$$

$$E_{\text{border}_2} \sigma := \text{evalf}(\text{subs}(\{x = 5090, \sigma_x = 5, \sigma_y = 0, \text{val} = E_{\text{border}_2}\}, \sigma))$$

$$E_{\text{border}_2} \sigma = 2.39403893 \times 10^{-3}$$

Рис. 3: Подсчёт величин и их погрешностей