

Отчёт по лабораторной работе № 5.2.2 и № 5.2.3.
Изучение спектров атома водорода и молекулы йода.

Плюскова Н.А. Б04-004

27 января 2023 г.

1. Аннотация

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

С помощью информации о спектральных линиях неона и ртути будет проградуирован спектрометр и построен соответствующий график.

Мы получим длины волн линий H_α , H_β , H_γ и H_δ серии Бальмера, вычислим постоянную Ридберга.

Получим длины волн, соответствующие некоторым электронно-колебательным переходам из основного состояния в возбуждённое. Вычислим энергию колебательного кванта возбуждённого состояния молекулы, энергию электронного перехода и энергию диссоциации молекулы в основном и в возбуждённом состояниях.

2. Теоретические сведения

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 - постоянная Ридберга, а m, n - целые числа.

Использование постулатов Бора с учётом кулоновского взаимодействия между ядром и электроном позволяет легко определить возможные энергетические состояния водородоподобного атома. Если считать ядро неподвижным, то эти энергетические состояния определяются выражением

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



Рис. 1: Уровни энергии атома водорода и образование спектральных серий

Знание энергетических состояний атома позволяет в соответствии с формулой (2) определить возможные частоты его излучения и объяснить наблюдаемые закономерности.

В данной работе изучается серия Бальмера, линии которой лежат в видимой области, и изотопический сдвиг между линиями водорода. Для серии Бальмера в формуле (1) $n = 2$. Величина m для первых четырёх линий этой серии принимает значение 3, 4, 5, 6.

Боровский радиус (радиус первой орбиты) для электрона в поле ядра с зарядом Z :

$$r_B = \frac{\hbar^2}{Zm_e e^2} \quad (3)$$

Энергия основного состояния:

$$E = -\frac{m_e e^4}{2\hbar^2} Z^2 = -RZ^2 \quad (4)$$

Аналогичным образом могут быть найдены энергии возбуждённых состояний. Дискретные значения энергии электрона в атоме получаются из того условия, что на длине орбиты, по которой движется электрон, должно укладываться целое число волн де Бройля. Если радиус орбиты равен r , то n -му состоянию электрона соответствует условие

$$2\pi r = \lambda n (n \in \mathbb{N}); m_e v_n = \frac{nh}{2\pi r} \quad (5)$$

Аналогично пп. (3)-(4):

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

$$E = -\frac{m_e e^4}{2\hbar^2} \frac{1}{n^2} Z^2 = -R \frac{Z^2}{n^2} \quad (7)$$

3. Экспериментальная установка

Для измерения длин волн спектральных линий в работе используется стеклянно-призмный монохроматор-спектрометр УМ-2, предназначенный для спектральных исследований в диапазоне от 0,38 до 1 мкм

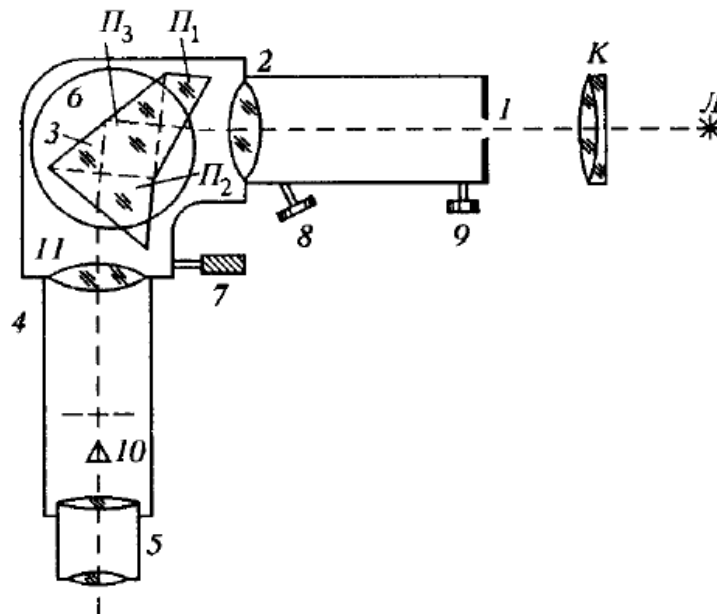


Рис. 2: Устройство монохроматора УМ-12

Спектрометр нуждается в дополнительной градуировке, проводящейся по спектру ртутной лампы с известными длинами волн спектральных линий.

Для наблюдения спектра водорода используется установка, изображённая на Рис. 2А. Источником света для наблюдения служит водородная трубка Н-образной формы, в состав газа которой добавлены водные пары для увеличения яркости интересующих нас линий. Источник Л помещается на оптическую скамью вместе с конденсором К, так что свет концентрируется на входной щели 1. Далее через коллиматорный объектив 2 свет попадает на сложную спектральную призму, состоящую из призм Π_1 , Π_2 и Π_3 . Первые две призмы обладают большой дисперсией, а промежуточная Π_3 поворачивает лучи – такое устройство позволяет складывать дисперсии Π_1 и Π_2 . После прохождения призмы свет попадает в зрительную трубу 4-5, объектив которой даёт изображение входной щели различных цветов. На Рис. 2Б изображена схема установки, используемой для наблюдения

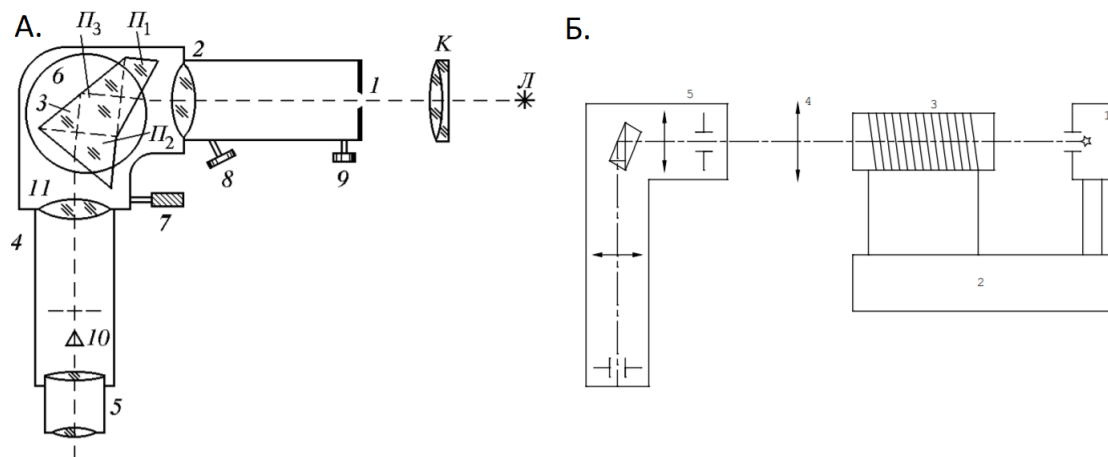


Рис. 3: Установки для наблюдения линий А. водорода; Б. йода.

спектра йода. Спектр поглощения паров йода наблюдается визуально на фоне сплошного спектра лампы накаливания 1, питаемой от блока питания 2. Кювета 3 с кристаллами йода подогревается нихромовой спиралью, подключённой вместе с лампой накаливания к блоку питания. Линза 4 используется как конденсор. В результате подогрева кристаллы йода частично возгоняются, образуя пары с лёгкой фиолетовой окраской. Спектрометр 5 позволяет визуально наблюдать линии поглощения молекул йода на фоне сплошного спектра излучения лампы накаливания видимой области.

4. Ход работы

Проградуируем спектрометр по спектру неона и ртути:

Ртуть		
$\lambda, \text{Å}$	$\theta, ^\circ$	$\sigma_\theta, ^\circ$
6907	2919	1
6234	2687	
5791	2481	
5770	2470	
5461	2292	
4916	1868	
4358	1206	
4047	651	

Таблица 1: Градуировка спектрометра по спектру ртути

Неон		
$\lambda, \text{Å}$	$\theta, ^\circ$	$\sigma_\theta, ^\circ$
7032	2956	1
6929	2926	
6717	2860	
6678	2848	
6599	2820	
6533	2798	
6507	2790	
6402	2752	
6383	2745	
6334	2727	
6305	2715	
6267	2699	
6217	2679	
6164	2658	
6143	2647	
6096	2630	
6074	2618	
6030	2596	
5976	2574	
5945	2560	
5882	2529	
5852	2514	
5401	2250	
5341	2210	
5331	2202	

Таблица 2: Градуировка спектрометра по спектру неона

По полученным данным построим градуировочную кривую:

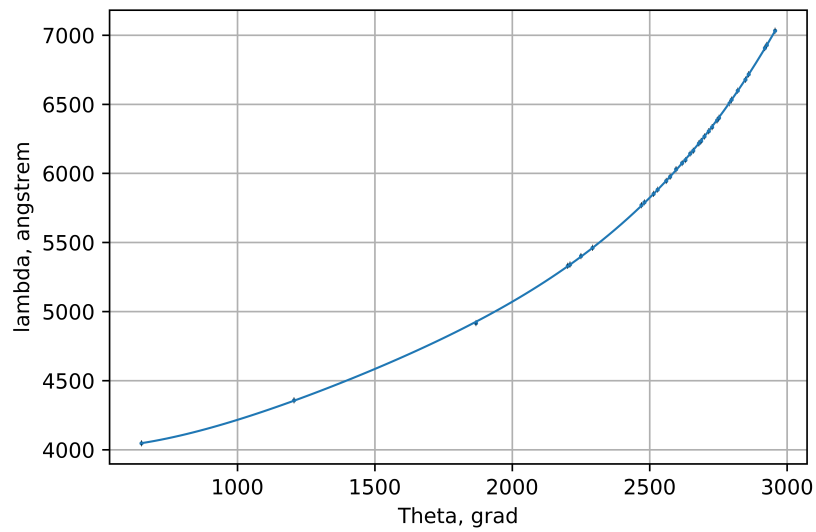


Рис. 4: Градуировочная кривая $\lambda(\theta)$

Получаем нелинейную градуировку, которую аппроксимируем полиномом 5 степени:

$$y = A + Bx + Cx^2 + Dx^3 + Ex^4$$

$$A = 4228; B = -1,1; C = 1,7 * 10^{-3}; D = -7,2 * 10^{-7}; E = 1,3 * 10^{-10}$$

Измерим положения линий $H_\alpha, H_\beta, H_\gamma, H_\delta$ водорода и с помощью градуировочной кривой найдем длины волн этих линий:

	$\theta, ^\circ$	λ, A°	σ_λ, A°
H_α	2808	6684,4	2,9
H_β	1816	4938,6	1,1
H_γ	1170	4358,6	0,8
H_δ	762	4102,2	0,5

Таблица 3: Положение линий водорода и их длины волн

Воспользуемся формулой (1), чтобы найти постоянную Ридберга для спектральных линий водорода:

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

	$R * 10^6, m^{-1}$	$\sigma_R * 10^6, m^{-1}$
H_α	10,84	0,04
H_β	10,8	0,02
H_γ	10,93	0,02
H_δ	10,97	0,01

Получим $R \approx (10,89 \pm 0,04) * 10^6 m^{-1}$, что в пределах 2σ сходится с табличным значением $R = 10,97 * 10^6 m^{-1}$

Погрешность измерения постоянной Ридберга считалась по формуле:

$$\sigma_R = \frac{\sigma_{\lambda_{mn}}}{\lambda_{mn}^2 Z^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)}$$

Для йода найдем длину волны одной из самых длинноволновых хорошо видимых линий поглощения, шестую длинноволновую линию от нее и границы схождения спектра:

	$\theta, ^\circ$	λ, A°	σ_λ	$h\nu, \text{эВ}$	$\sigma_{h\nu}, \text{эВ}$
$h\nu_{(1,0)}$	2658	6282,8	2,5	1,977	0,081
$h\nu_{(1,5)}$	2552	6039,7	2,2	2,057	0,073
$h\nu_{gr}$	2054	5215,4	1,3	2,382	0,068

Вычислим энергию колебательного кванта возмущенного состояния молекулы йода по формуле:

$$h\nu_2 = \frac{h\nu_{1,5} - h\nu_{1,0}}{5} = (0,016 \pm 0,002) \text{ эВ}$$

Погрешность измерения энергии колебательного кванта возмущенного состояния посчитали следующим образом:

Зная, что $h\nu_1 = 0,027 \text{ эВ}$ - энергия колебательного кванта основного состояния, а $E_A = 0,94 \text{ эВ}$ - энергия возмущения атома, а также следующие соотношения:

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

Найдем $h\nu_{el}$ - энергию электронного перехода, D_1 - энергию диссоциации молекулы в основном состоянии, D_2 - энергию диссоциации молекулы в возбужденном состоянии. Решая систему уравнений, получим:

$$\nu_{el} = (2.006 \pm 0.008) \text{ эВ}, \quad D_1 = (1.442 \pm 0.006) \text{ эВ}, \quad D_2 = (0.376 \pm 0.013) \text{ эВ}$$

5. Выводы

В работе был исследован спектр водорода и спектр поглощения паров йода, по которым была построена градуировочная кривая.

Мы получили длины волн спектральных линий водорода из серии Бальмера и вычислили постоянную Ридберга $R \approx (10,89 \pm 0,04) * 10^6 m^{-1}$, которая в пределах 2σ сходится с табличным значением $R = 10,97 * 10^6 m^{-1}$

Получены длины волн, соответствующие некоторым электронно-колебательным переходам из основного состояния в возбуждённое. Вычислены энергия колебательного кванта возбуждённого состояния молекулы, энергия электронного перехода, энергии диссоциации молекулы в основном и в возбуждённом состояниях:

$$h\nu_{el} = (2.006 \pm 0.008) \text{ эВ}, \quad D_1 = (1.442 \pm 0.006) \text{ эВ}, \quad D_2 = (0.376 \pm 0.013) \text{ эВ}$$

$$h\nu_{1,0} = (1.977 \pm 0.081) \text{ эВ}, \quad h\nu_{1,5} = (2.057 \pm 0.073) \text{ эВ}, \quad h\nu_{gr} = (2.382 \pm 0.068) \text{ эВ}$$