

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

Отчёт по лабораторной работе 5.2.2
Изучение спектров атома водорода и молекул йода

Выполнил студент:
Сериков Василий Романович
группа: Б03-102

Москва, 2023 г.

Аннотация

Цель работы:

Исследовать сериальные закономерности в оптическом спектре водорода. Исследовать поглощения паров йода в видимой области.

Теория

Атом водорода является простейшей квантовой системой, для которой уравнение Шредингера может быть решено точно. Это также верно для водородоподобных атомов, то есть атомов с одним электроном на внешней оболочке. Из решения уравнения Шредингера 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:

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

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

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

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 не наблюдаемы.

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.

Изучение молекулярного спектра йода в данной работе проводится с помощью источника сплошного спектра - лампы накаливания. Кристаллы йода подогреваются в результате этого частично возгоняются, образуя пары. Спектрометр позволяет визуально наблюдать линии поглощения молекул йода на фоне сплошного спектра излучения лампы.

Экспериментальная установка:

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

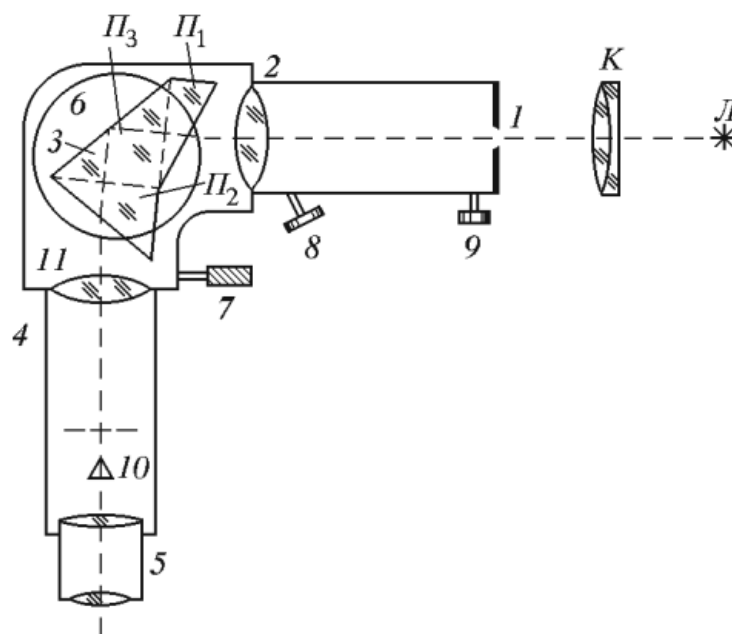


Рис. 1: Схема установки

Ход работы:

1. Проградуируем спектрометр по спектру неона. Расположение спектральных линий неона и длины волн приведем на Рис 2. Полученные данные занесем в таблицу 1.

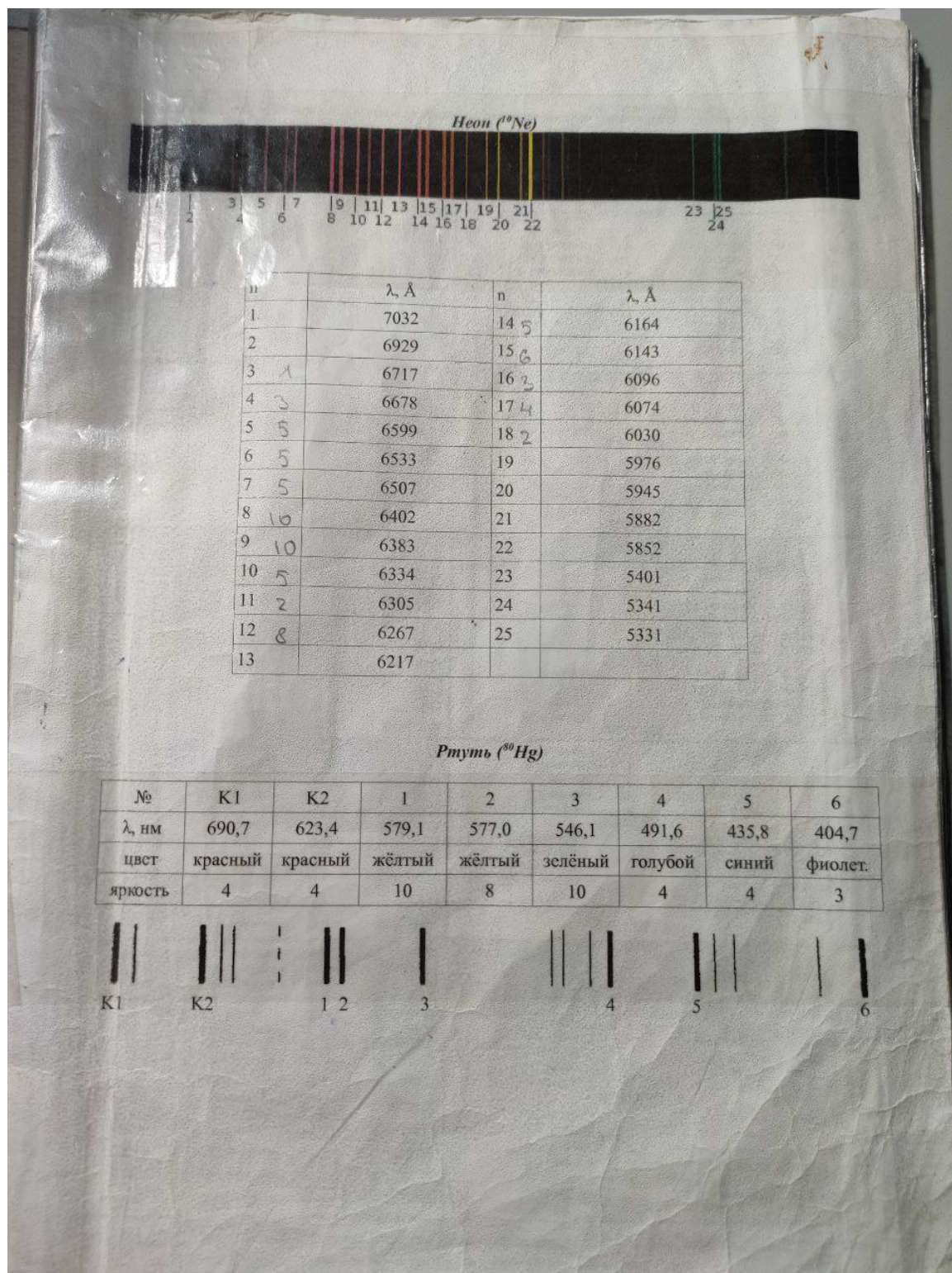


Рис. 2: Расположение спектральных линий неона и длины волн линий неона. Расположение спектральных линий ртути, длины волн основных спектральных линий ртути.

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$\theta, ^\circ$	2632	2600	2538	2524	2496	2476	2464	2418	2414	2398	2388	2368	2350
№	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
$\theta, ^\circ$	2328	2314	2300	2290	2268	2240	2224	2198	2182	1914	1872	1868	

Таблица 1: Значения угла барабана при различных спектральных линиях неона. $\sigma_\theta = \pm 2^\circ$

2. Проградуируем спектрометр по спектру ртути. Расположение спектральных линий ртути и длины волн основных спектральных линий приведем на Рис 2. Полученные данные занесем в таблицу 2.

№	K1	K2	1	2	3	4	5	6
$\theta, ^\circ$	2588	2354	2146	2136	1954	1526	852	290

Таблица 2: Значения угла барабана при различных спектральных линиях ртути. $\sigma_\theta = \pm 2^\circ$

3. По полученным данным построим градуировочную кривую. По оси X отложим углы барабана, а по оси Y - длины волн соответствующих линий. Полученный график приведем на Рис 3.

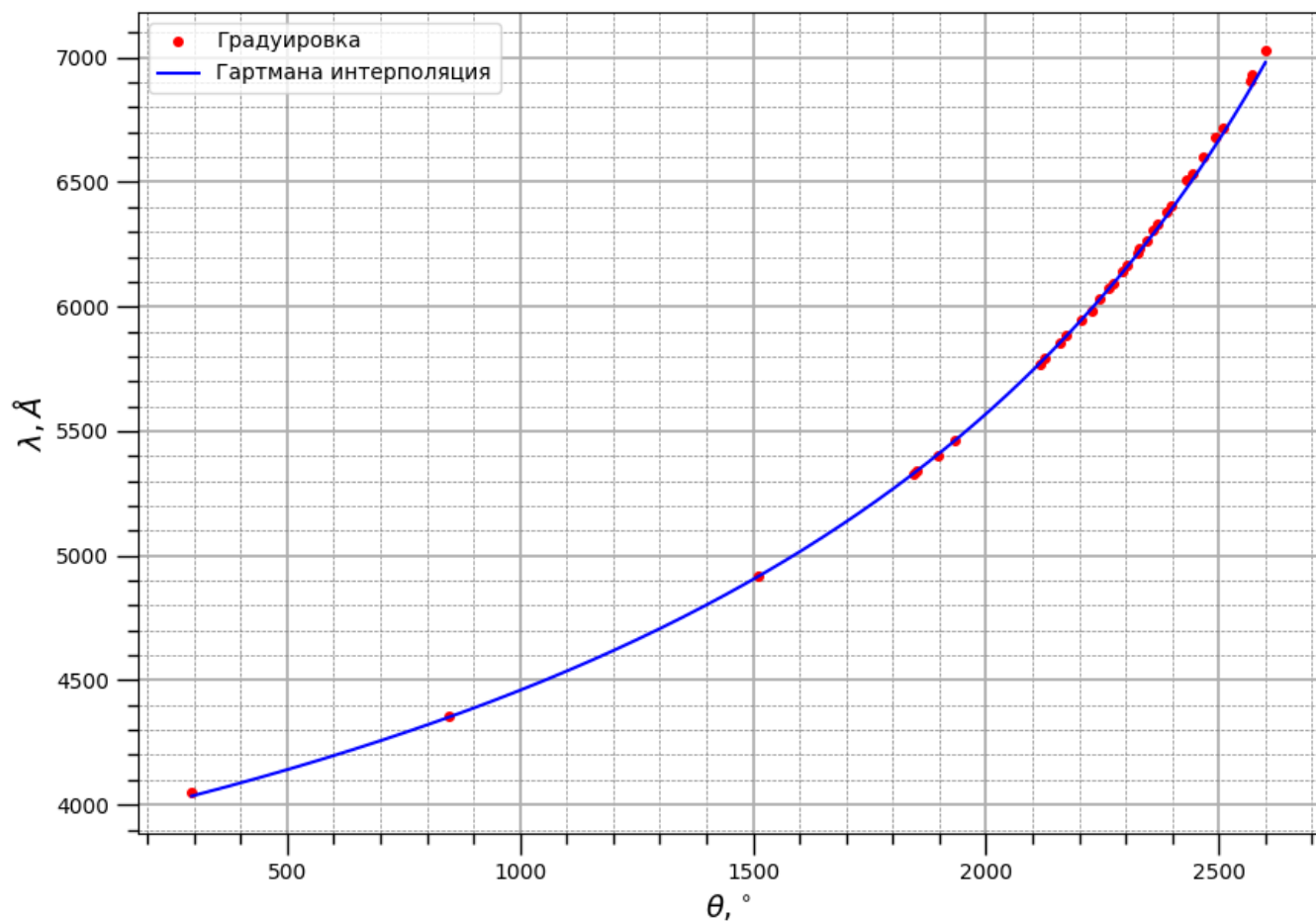


Рис. 3: Интерполяция Гартмана

4. Измерим спектр водородной лампы для линий H_α , H_β , H_γ , H_δ . По градуировочной кривой определим значения длин волн соответствующих спектральных линий. Для каждой наблюдаемой линии определим постоянную Ридберга. Определим ее среднее значение и погрешность. Полученные данные занесем в таблицу 3.

№	H_α	H_β	H_γ	H_δ
$\theta, ^\circ$	2482	1470	822	400
$\lambda, \text{\AA}$	6549 ± 6	4867 ± 2	4348 ± 1	4098 ± 1
$\lambda, \text{\AA}(\text{табл.})$	6562 ± 6	4861 ± 2	4340 ± 1	4102 ± 1
$R, \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$	$1,0992 \pm 0,0003$	$1,0927 \pm 0,0003$	$1,0973 \pm 0,0003$	$1,0972 \pm 0,0003$
$\overline{R}, \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$	$1,0961 \pm 0,0005$			

Таблица 3: Значения угла барабана при различных спектральных линиях водорода. $\sigma_\theta = \pm 2^\circ$

Расчет Ридберга проводится по формуле:

$$\lambda_{n,m}^{-1} = \frac{m_e e^2}{4\pi\hbar^3 c} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (6)$$

Расчет погрешности проводился по формулам:

$$\sigma_{\bar{R}} = \sqrt{\frac{1}{k(k-1)} \sum_{i=1}^k (\bar{R} - R_i)^2} = 0,002 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1} \quad (7)$$

$$\sigma_{\bar{R}_\Sigma} = \sqrt{\sigma_{\bar{R}}^2 + \sigma_{\lambda_{n,m}^{-1}}^2}, \quad \sigma_{\lambda_{n,m}^{-1}} \cdot R = \sigma_R \cdot \lambda \quad (8)$$

градуировочная кривая интерполирована функцией:

$$\lambda = \lambda_0 + \frac{C}{d - d_0} \quad (9)$$

Погрешность определения λ :

$$\sigma_\lambda = \frac{C}{(d - d_0)^2} \cdot \sigma_d \quad (10)$$

5. Определим деления барабана монохроматора, соответствующие: а) линии $h\nu_{1,0}$ - одной из самых длинноволновых хорошо видимых линий поглощения ($n_1, 0$), б) линии $h\nu_{1,5}$ - шестой по счету от выбранной длинноволновой линии ($h\nu_{1,5}$), в) $h\nu_{\text{гр}}$ - границе схождения спектра (началу сплошного спектра поглощения). По градуировочной кривой определим значения длин волн соответствующих спектральных линий. Полученные данные занесем в таблицу 4.

№	$h\nu_{1,0}$	$h\nu_{1,5}$	$h\nu_{\text{гр}}$
$\theta, ^\circ$	2404	2354	1664
$\lambda, \text{\AA}$	6436 ± 5	6309 ± 5	5111 ± 3

Таблица 4: Значения угла барабана при различных спектральных линиях йода

6. Вычислим энергию колебательного кванта возбужденного состояния молекулы йода.

$$h\nu_2 = (h\nu_{1,5} - h\nu_{1,0})/5 = (1,9111 - 1,9495)/5 = 0,00769 \pm 0,00002 \text{ эВ}$$

Погрешность считается по формуле:

$$\sigma_E = \frac{hc}{\lambda^2} \cdot \sigma_\lambda \quad (11)$$

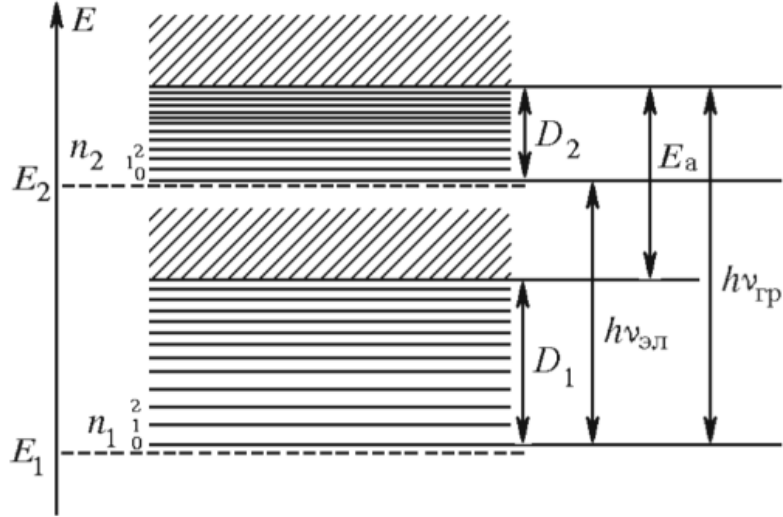


Рис. 4: Электронные и электронно колебательные энергетические уровни двухатомной молекулы

7. По полученным данным и известным значениям энергии колебательно кванта в основном состоянии $h\nu_1 = 0,027$ эВ, энергия возбужденного атома $E_a = 0,94$ эВ, вычислим:

а) энергию электронного перехода $h\nu_{эл}$,

$$h\nu_{1,0} = h\nu_{эл} + h\nu_2(0 + \frac{1}{2}) - h\nu_1(1 + \frac{1}{2})$$

$$h\nu_{эл} = 1,911 - \frac{1}{2} \cdot 0,0076 + \frac{3}{2} \cdot 0,027 = 1,942 \pm 0,003 \text{ эВ}$$

б) энергию диссоциации молекулы в основном состоянии D_1 ;

$$D_1 = h\nu_{гр} - E_a = 2,450 - 0,940 = 1,510 \pm 0,002 \text{ эВ}$$

в) энергию диссоциации молекулы в возбужденном состоянии D_2 .

$$D_2 = h\nu_{гр} - h\nu_{эл} = 2,450 - 2,116 = 0,508 \pm 0,005 \text{ эВ}$$

Обсуждение результатов и выводы:

	$R, \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$	$D_1, \text{ эВ}$	$D_2, \text{ эВ}$
эксперимент	$1,0961 \pm 0,0005$	$1,510 \pm 0,002$	$0,508 \pm 0,005$
табл. данные	1,0973	1,543	0,536

Таблица 5: Значения угла барабана при различных спектральных линиях йода

В ходе данной работы мы исследовали серийные закономерности в оптическом спектре водорода. Также исследовали поглощения паров йода в видимой области. Построили градуировочную кривую спектрометра по измерениям спектра неона и ртути.

По результатам измерений мы определили константу Ридберга $\bar{R} = 1,0961 \pm 0,0005 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$. В пределах погрешности значение не совпадает с теоретическим $R = 1,0973 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$, хотя находится достаточно близко.

Получили энергию колебательного кванта возбужденного состояния молекулы йода $h\nu_2 = 0,00769 \pm 0,00002 \text{ эВ}$, энергию электронного перехода $h\nu_{\text{эл}} = 1,942 \pm 0,003 \text{ эВ}$ и энергии диссоциации молекулы в основном $D_1 = 1,510 \pm 0,002 \text{ эВ}$ и в возбужденном состоянии $D_2 = 0,508 \pm 0,005 \text{ эВ}$.

Используемый нами спектрометр позволяет получать значения длин волн с достаточно большой точностью, поэтому дальнейшие расчеты, использующие градуировочную кривую также имеют высокую точность. Соответственно, последующие расчеты хорошо согласуются с теоретическими оценками.