

Лабораторная работа 5.2.2 - 5.2.3. Изучение спектров атома водорода и молекулы йода.

Вязовцев Андрей, Б01-005

20.09.22

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

В работе используются: установка для проведения опыта, водородная лампа, ртутная лампа, неоновая лампа, лампа накаливания и камера с парами йода.

Теоретическая справка:

Атом водорода является простейшей атомной системой, поэтому спектр атома водорода — предмет тщательного исследования. Длины волн спектральных линий водородноподобного атома описываются формулой:

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

где $R = 109677.6 \text{ см}^{-1}$ — постоянная Ридберга, а m и n — целые числа. Для объяснения этого явления стоит рассмотреть постулаты Бора:

1. В атоме осуществляются только некоторые стационарные орбиты, при движении по которым электрон не излучает энергии.
2. Из всех орбит реализуются только те, для которых момент количества движения кратен постоянной Планка.
3. Излучение или поглощение происходит при переходе между стационарными состояниями, при этом:

$$h\nu = E_2 - E_1$$

В случае молекул всё сложнее: они обладают более богатым спектром возбуждённых состояний. В первом приближении их волновую функцию можно разбить на три независимых: соответствующую электронным движениям, колебаниям и вращениям молекулы.

$$\psi = \psi_{\text{эл}} \cdot \psi_{\text{колеб}} \cdot \psi_{\text{вращ}}$$

При смещении атомов в молекуле из равновесных положений могут возникать колебания около положения равновесия. В результате действия различных сил образуется потенциальный минимум. Энергия колебаний квантуется:

$$E_{\text{колеб}} = \hbar\omega_0 \left(n + \frac{1}{2} \right) - \hbar\omega x_n \left(n + \frac{1}{2} \right)^2 \approx \hbar\omega_0 \left(n + \frac{1}{2} \right)$$

где x_n — коэффициент анахронизма, который, обычно, мал, а n — колебательное квантовое число.

Энергия вращения тоже квантуется:

$$E_{\text{вращ}} = \frac{\hbar^2}{2J} l(l+1), \quad l = 0, 1, \dots$$

Теперь рассмотрим оптические переходы в молекулах. С ростом n растёт амплитуда колебаний. При достижении некоторой максимальной амплитуды происходит разрыв связи между атомами, т. е. диссоциация молекулы. Наименьшая энергия, чтобы произошло такое — энергия диссоциации.

Экспериментальная установка:

На рис. 1 изображена схема установки. На ней:

- 1 — входная щель.
- 2 — коллиматорный объектив.
- 3 — сложная спектральная призма, склеенная из Π_1 , Π_2 и Π_3 .
- 4 — объектив зрительной трубы.
- 5 — окуляр зрительной трубы.
- 6 — поворотный столик для 3.
- 7 — микрометрический винт с отсчётным барабаном для 6.
- 8 — микрометрический винт для 2.

- 9 — микрометрический винт для 1.
- 10 — острие указателя.
- 11 — массивный корпус, спасающий установку от студентов.
- Л — источник света.
- К — конденсор (для концентрации света на входной щели).
- Оптическая скамья — нужна для размещения Л и К.
- Пульт управления.

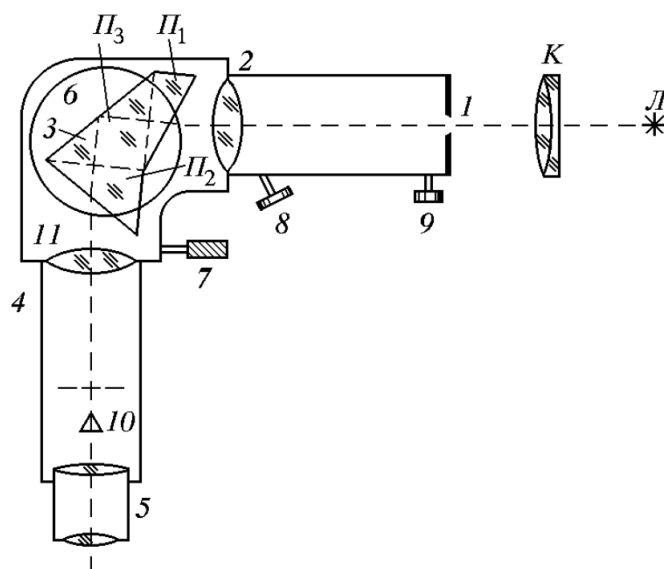


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

В случае с йодом схема немножко усложняется, т. к. вместо лампы с конкретным веществом будет использоваться источник белого света (лампа накаливания) (1), которая светит на кювету с йодом (2). Приблизительная схема установки изображена на рис. 2.

Ход работы:

1. Ознакомимся с принципом работы установки. Включим её и неоновую лампу в сеть, отцентрируем её по высоте. Конденсор расположим

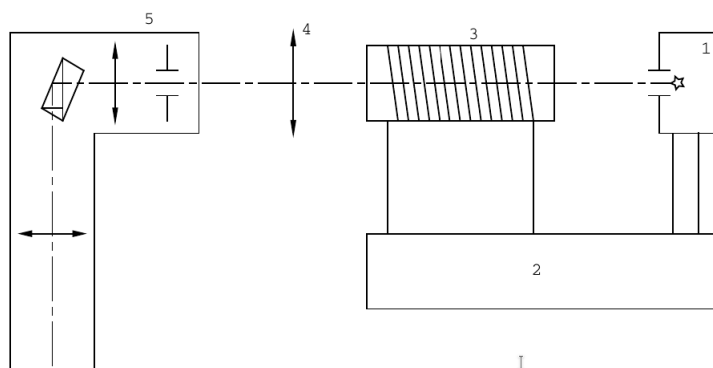


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

в 25 см от щели. Настроимся на резкое изображение кончика указателя, вращая глазную линзу окуляра. Отрегулируем яркость освещения указателя с помощью реостата.

2. Вращая барабан, настроимся на жёлтую линию неона (она одна из самых ярких). Перемещая коллиматор винтом 8, получим резкое изображение.

3. Найдём ноль микрометрического винта, для этого будем всё медленнее и медленнее открывать щель с помощью винта 9, фиксируя момент появления света. Получаем:

№	1	2	3
l , 10 мкм	20	19	17

Таблица 1. Настройка щели винта.

Итак, 170 мкм — ноль винта. Откроем щель на 0.05 мм, т. е. поставим винт 9 на значение 220 мкм.

4. Закончим настройку окуляра. Для этого сделаем резкость такой, чтобы параллакс (т. е. смещение указателя относительно линии при движении глаза) отсутствовал.

5. Теперь проведём градуировку спектрометра по спектрам неона и ртути. Для этого запишем расположение их спектральных линий на барабане и соответствующие им табличные значения длин волн. Результаты представлены в таблицах 2 и 3.

6. Перейдём к измерению линий спектра водорода. Результаты можно увидеть в таблице 4.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\lambda, \text{Å}$	7032	6929	6717	6678	6599	6533	6507	6402	6383
$\varphi, ^\circ$	2914	2888	2822	2808	2778	2758	2748	2712	2704

n	10	11	12	13	14	15	16	17
$\lambda, \text{Å}$	6334	6305	6267	6217	6164	6143	6096	6074
$\varphi, ^\circ$	2686	2674	2660	2640	2618	2608	2590	2578

n	18	19	20	21	22	23	24	25
$\lambda, \text{Å}$	6030	5976	5945	5882	5852	5401	5341	5331
$\varphi, ^\circ$	2558	2534	2518	2490	2474	2212	2172	2168

Таблица 2. Спектр неона.

n	K1	K2	1	2	3	4	5	6
$\lambda, \text{Å}$	6907	6234	5791	5770	5461	4916	4358	4047
$\varphi, ^\circ$	2880	2648	2444	2440	2250	1830	1164	614

Таблица 3. Спектр ртути.

n	H_α	H_β	H_γ	H_δ
$\varphi, ^\circ$	2768	1780	1136	718

Таблица 4. Спектр водорода.

7. Далее исследуем спектр йода. Т. к. установка слегка изменилась, произведём центровку заново. Сделаем три измерения, результаты находятся в таблице 5:

1. Самая длинноволновая хорошо видимая линия поглощения ($n_{1.0}$).
2. Шестая по счёту линия от выбранной ранее ($n_{1.5}$).
3. Граница схождения спектра, т. е. начало сплошного спектра поглощения ($n_{гр}$).

n	$n_{1.0}$	$n_{1.5}$	$n_{гр}$
$\varphi, ^\circ$	2630	2532	1960

Таблица 5. Спектр йода.

Обработка результатов:

8. Составим градуировочную кривую с помощью линий спектра неона и ртути. Исходя из предположения, что эта кривая задаётся формулой вида:

$$\lambda = ae^{b\varphi} + c$$

Найдём коэффициенты a , b и c с помощью МНК. Результаты представлены на рис. 3:

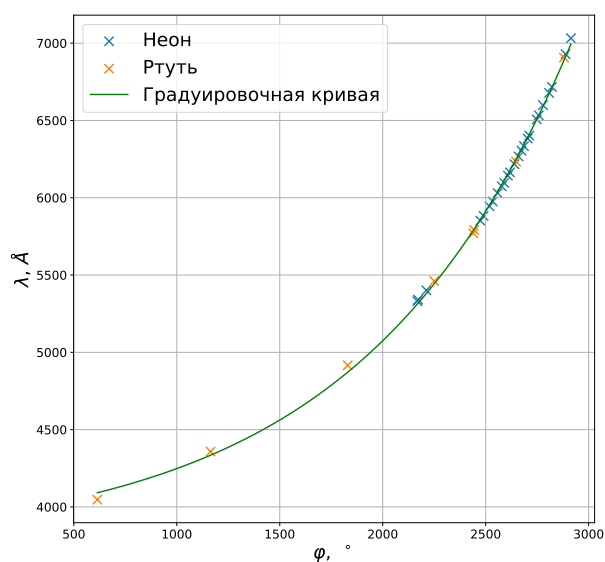


Рис. 3. Калибровочный график

$$a = (186 \pm 10) \text{Å}$$

$$b = (9.80 \pm 0.16) \cdot 10^{-4} \text{Å}$$

$$c = (3750 \pm 30) \text{Å}$$

9. С помощью этой кривой определим длины волн линий водорода:

$$\lambda_{\alpha} = (6560 \pm 300) \text{ \AA}$$

$$\lambda_{\beta} = (4810 \pm 120) \text{ \AA}$$

$$\lambda_{\gamma} = (4310 \pm 70) \text{ \AA}$$

$$\lambda_{\delta} = (4120 \pm 50) \text{ \AA}$$

Это довольно совпадает в рамках погрешности с табличными значениями: $\lambda_{\alpha} = 6562.8 \text{ \AA}$, $\lambda_{\beta} = 4861.4 \text{ \AA}$, $\lambda_{\gamma} = 4340.5 \text{ \AA}$, $\lambda_{\delta} = 4101.7 \text{ \AA}$.

10. Найдём постоянную Ридберга для каждого случая по формуле (??).

$$R_{\alpha} = (110000 \pm 5000) \text{ см}^{-1}$$

$$R_{\beta} = (111000 \pm 3000) \text{ см}^{-1}$$

$$R_{\gamma} = (110300 \pm 1800) \text{ см}^{-1}$$

$$R_{\delta} = (109000 \pm 1400) \text{ см}^{-1}$$

Учитывая, что $R = 109677.6 \text{ см}^{-1}$, можно сказать, что константа найдена верно в рамках погрешности.

11. Определим, аналогично предыдущим пунктам, длины волн для измерений у йода:

$$\lambda_{1.0} = 6200 \pm 300$$

$$\lambda_{1.5} = 6000 \pm 300$$

$$\lambda_{\text{гр}} = 5020 \pm 140$$

12. Вычислим энергию колебательного кванта в электронвольтах:

$$h\nu_2 = \frac{h\nu_{1.5} - h\nu_{1.0}}{5} = (15.0 \pm 1.7) \cdot 10^{-3} \text{ эВ}$$

13. Из информации, что $h\nu_1 = 0.027 \text{ эВ}$ (энергия колебательного кванта основного состояния), $E_A = 0.94 \text{ эВ}$ (энергия возбуждения атома), вычислим:

1. Энергию электронного перехода $h\nu_{\text{эл}}$:

$$h\nu_{\text{эл}} = h\nu_{1.0} - \frac{1}{2} \cdot h\nu_2 + \frac{3}{2} \cdot h\nu_1 = (2.04 \pm 0.10) \text{ эВ}$$

2. Энергию диссоциации молекулы в основном состоянии D_1 :

$$D_1 = h\nu_{\text{гp}} - E_A = (1.53 \pm 0.10) \text{ эВ}$$

3. Энергию диссоциации молекулы в возбуждённом состоянии D_2 :

$$D_2 = h\nu_{\text{гp}} - h\nu_{\text{эл}} = (0.43 \pm 0.10) \text{ эВ}$$