

Работа 5.2.2

Изучение спектров атомов водорода и молекул йода

Работу выполнил Матренин Василий Б01-008

Цель работы: Произвести исследование спектральных закономерностей в оптических спектрах водорода и йода. По результатам измерений вычислить постоянную Ридберга для водорода и потенциал ионизации.

1 Теория

1.1 Спектр атомов водорода

Объяснение структуры спектра излучения атомов требует решения задачи о движении электрона в эффективном поле атома. Для атома водорода и водородоподобных (одноэлектронных) атомов определение энергетических уровней значительно упрощается, так как квантово-механическая задача об относительном движении электрона (заряд $-e$, масса m_e) и ядра (заряд Z_e , масса M) сводится к задаче о движении частицы с эффективной массой $\mu = m_e M / (m_e + M)$ в кулоновском поле $-Ze^2/n$. 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 $m, n \in \mathbb{Z}$, а R – постоянная Ридберга. Эта формула позволяет по энергиям перехода судить о расположении энергетических уровней атома водорода. На рисунке 1 изображены энергетические уровни и соответствующие им переходы, определяющие спектр.

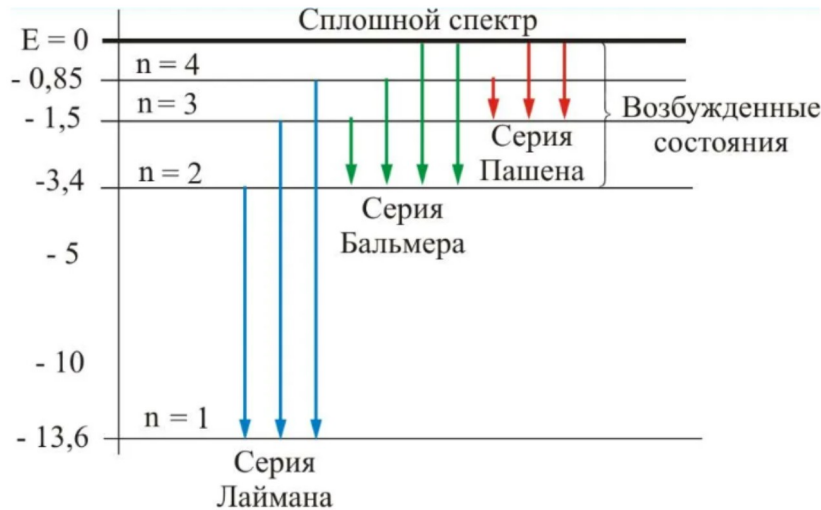


Рис 1. Энергетические уровни атома водорода

В данной работе изучается серия Бальмера, линии которой лежат в видимой области. Для серии Бальмера $n = 2$. Величина m для первых четырех линий этой серии принимает значение 3, 4, 5, 6. Эти линии обозначаются символами H_α , H_β , H_γ , H_δ .

Оценим энергии основного и возбужденного состояний водородоподобного атома. Чтобы найти основное состояние квантовой системы, надо минимизировать, с учетом соотношения неопределенностей, полную энергию. Потенциальная энергия электрона равна кулоновской энергии электрона в поле ядра с зарядом Ze . Так как электрон локализован в области размером r , то его импульс $p \simeq \hbar/r$, и полная энергия определяется выражением:

$$E = \frac{-Ze^2}{r} + \frac{\hbar^2}{2m_e r^2}. \quad (2)$$

Приняв за нуль производную этого выражения, получим:

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

Это значение радиуса первой орбиты для электрона в поле ядра с зарядом Z – боровского радиуса. Подставляя в (2) это значение, получим:

$$E = -RZ^2 \quad (4)$$

При этом:

$$R = \frac{m_e e^4}{2\hbar^2}. \quad (5)$$

Для возбуждённых состояний значения энергий можно найти аналогично, приняв во внимание, что $p \simeq n\hbar/r$ из условия, что на длине орбиты укладывается целое число волн де Бройля. Отсюда энергия n -го уровня равна:

$$E = \frac{-RZ^2}{n^2} \quad (6)$$

1.2 Спектр молекул йода

Спектр молекулярного йода представлен на рисунке 1.

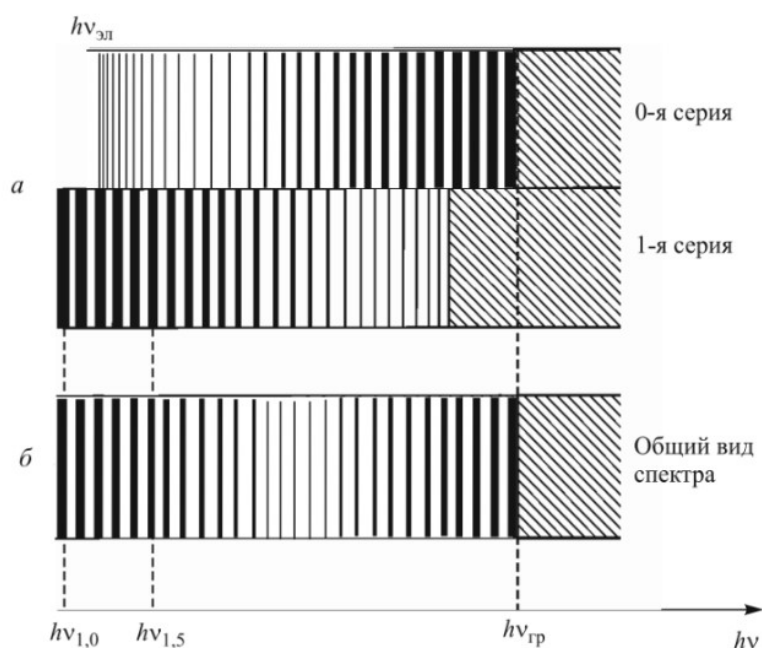


Рис 2. Спектральная картина йода

Массы ядер атомов велики по сравнению с массой электрона. Благодаря такой разнице в массах, скорости движения ядер в молекуле малы по сравнению со скоростями электронов. Это даёт возможность рассматривать электронное движение при неподвижных ядрах, расположенных на определенных расстояниях друг от друга. Определяя уровни энергии такой системы, мы найдем электронные термы молекул. Любой атом в молекуле находится в электрическом поле остальных ее атомов. Оно вызывает расщепление электронных уровней атомов в молекуле. Следует отметить, что при соединении атомов в молекулу заполненные оболочки атомов мало меняются. Существенно может измениться распределение электронной плотности в не до конца заполненных оболочках.

Для расчёта спектра поглощения йода необходимо учесть энергии колебательного и вращательного движения молекул. Видимый спектр состоит из 0-й и 1-й серий Деландра. 2-я серия в 10 раз менее интенсивная, чем 0-я, и поэтому ей пренебрегаем.

Энергетическое положение линий поглощения описывается выражением:

$$h\nu_{0n_2} = (E_2 - E_1) + h\nu_2 \left(n_2 + \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{2} h\nu_1. \quad (7)$$

2 Ход работы

2.1 Подготовка установки

Подготовили установку к работе.

2.2 Градуировка спектрометра

Проградуировали спектрометр по спектрам неона и ртути. Данные представлены в таблицах 1-2.

Таблица 1: Спектр неона

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Θ, \circ	2574	2554	2484	2476	2440	2422	2418	2380	2372	2352	2342	2328	2308
$\lambda, \text{\AA}$	7032	6929	6717	6678	6599	6533	6507	6402	6383	6334	6305	6267	6217

N	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Θ, \circ	2286	2276	2256	2246	2220	2200	2186	2156	2142	1884	1842	1834
$\lambda, \text{\AA}$	6164	6143	6096	6074	6030	5976	5945	5882	5852	5401	5341	5331

Таблица 2: Спектр ртути

N	K1	K2	1	2	3	4	5	6
Θ, \circ	2544	2318	2114	2104	1930	1488	выброс	838
$\lambda, \text{\AA}$	6907	6234	5791	5770	5461	4916	выброс	4047

2.3 Спектр водорода

Сняли спектр для водородной лампы. Данные представлены в таблице 3.

Таблица 3: Спектр водорода

N	H_α	H_β	H_γ	H_δ
Θ, \circ	2444	1456	814	не видно
$\lambda, \text{\AA}$	6600	4952	4020	не видно

2.4 График

График со всеми данными градуировки и линиями спектра для водородной лампы представлены на рисунке 3.

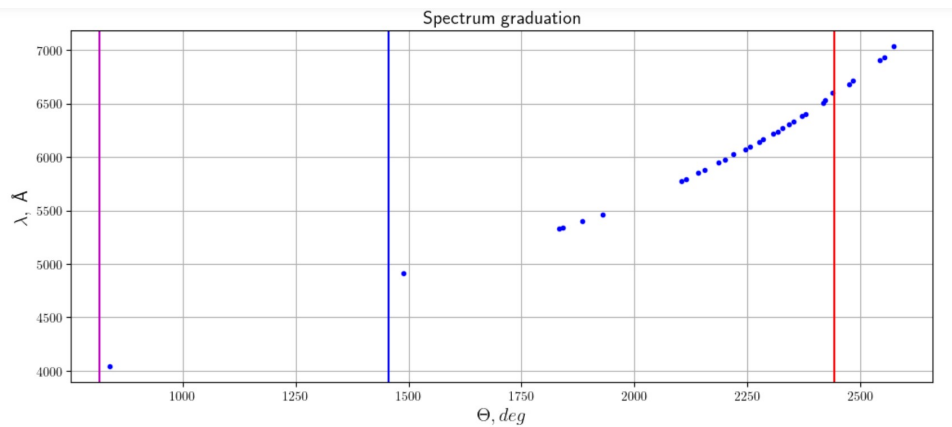


Рис 3. Все данные градуировки и линии спектра водородной лампы

3 Обработка данных

По полученным значениям спектра водорода посчитал постоянную Ридберга (формула (1)):

$$R_{\alpha} = (0.0109 \pm 0.0002) \text{ нм}^{-1}$$

$$R_{\beta} = (0.0108 \pm 0.0002) \text{ нм}^{-1}$$

$$R_{\gamma} = (0.0109 \pm 0.0002) \text{ нм}^{-1}$$

4 Вывод

В ходе данной работы был проградуирован спектрометр. И получены совпадающие с теорией значения постоянной Ридберга. Точность измерений и градуировки можно улучшить путем улучшения эргономики спектрометра (Проецировать изображение на поверхность?).