

Лабораторная работа №5.2.2(2.3)
Изучение спектров атомарного водорода и йода

Рожков А. В.

2 декабря 2025 г.

Цель работы: исследовать спектральные закономерности в оптических спектрах водорода; по результатам измерений вычислить постоянные Ридберга для водорода; исследовать спектр поглощения паров йода в видимой области; по результатам измерения вычислить энергию колебательного кванта молекулы йода и энергию её диссоциации в основном и возбужденном состояниях.

В работе используются: стеклянно-призмный монохроматор УМ-2, неоновая лампа, ртутная лампа ПРК-4, водородная лампа, кювета с кристаллами йода с лампой накаливания.

1 Теоретические сведения

Изучение спектра водорода

Атом водорода является простейшей квантовой системой, для которой уравнение Шрёдингера может быть решено точно. Это также верно для водородоподобных атомов, то есть атомов с одним электроном на внешней оболочке. Если считать ядро неподвижным, то эти энергетические уровни определяются выражением

$$E_n = -\frac{m_e(Ze^2)^2}{2\hbar^2} \frac{1}{n^2}, \quad (1)$$

где n есть номер энергетического уровня, Z есть зарядовое число ядра рассматриваемого атома, которое в случае атома водорода равно 1.

При переходе электрона с m -го на n -й уровень излучается фотон с энергией

$$E_\gamma = E_m - E_n = \frac{m_e e^2}{2\hbar^2} Z^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) = Ry Z^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right). \quad (2)$$

Длина волны соответствующего излучения λ_{mn} связана с номерами уровней следующим соотношением:

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

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

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

Спектр поглощения йода

В первом приближении энергия молекулы может быть представлена в виде:

$$E = E_{эл} + E_{колеб} + E_{вращ}, \quad (4)$$

где $E_{эл}$ есть энергия электронных уровней, $E_{колеб}$ есть энергия колебательных уровней, $E_{вращ}$ 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 ненаблюдаемы.

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 $h\nu_1$ и $h\nu_2$ 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.

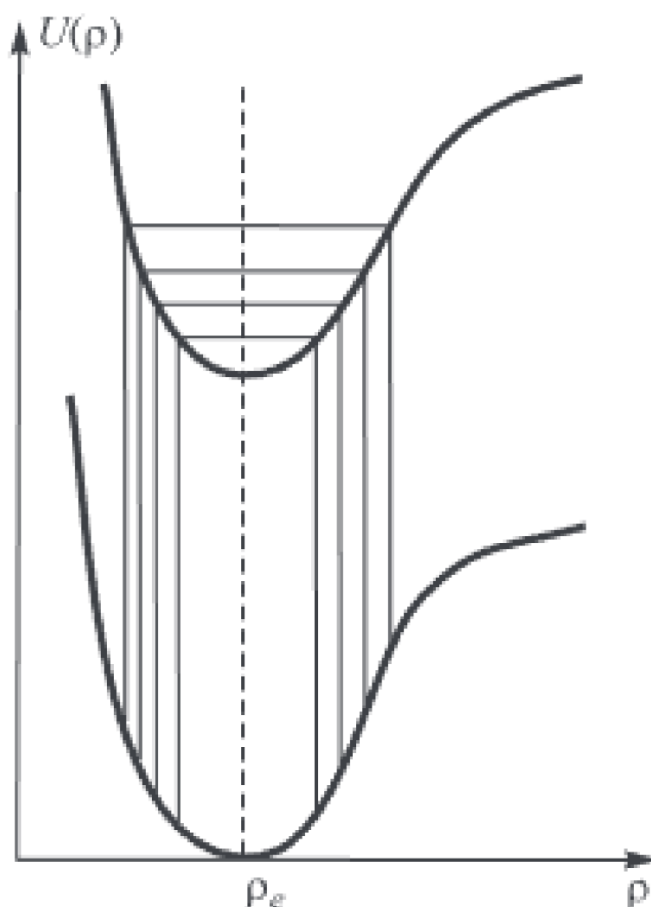


Рис. 1: Потенциальные кривые и характерные электронно-колебательные переходы

Серии Деландра в спектре йода

В данной работе изучается электронно-колебательный спектр поглощения паров йода I_2 в видимой области при температуре $T \approx 300$ К. Основной вклад дают переходы между колебательными подуровнями двух соседних электронных состояний:

$$(1, n_1) \rightarrow (2, n_2),$$

где индекс «1» обозначает основное электронное состояние, «2» — возбуждённое.

Все возможные линии поглощения удобно разбить на *серии Деландра*, каждая из которых соответствует фиксированному начальному колебательному уровню (например, $n_1 = 0$ или $n_1 = 1$), а конечный уровень $n_2 = 0, 1, 2, \dots$ меняется:

- 0-я серия: переходы из $n_1 = 0$ в $n_2 = 0, 1, 2, \dots$;
- 1-я серия: переходы из $n_1 = 1$ в $n_2 = 0, 1, 2, \dots$

При температуре около комнатной относительные заселённости колебательных уровней подчиняются распределению Больцмана:

$$N_n \propto e^{-E_n/kT}.$$

Расчёт показывает, что при $T \approx 300$ К выполняется примерно

$$N_0 : N_1 : N_2 \approx 1 : \frac{1}{3} : \frac{1}{10},$$

поэтому наибольший вклад дают 0-я и 1-я серии Деландра.

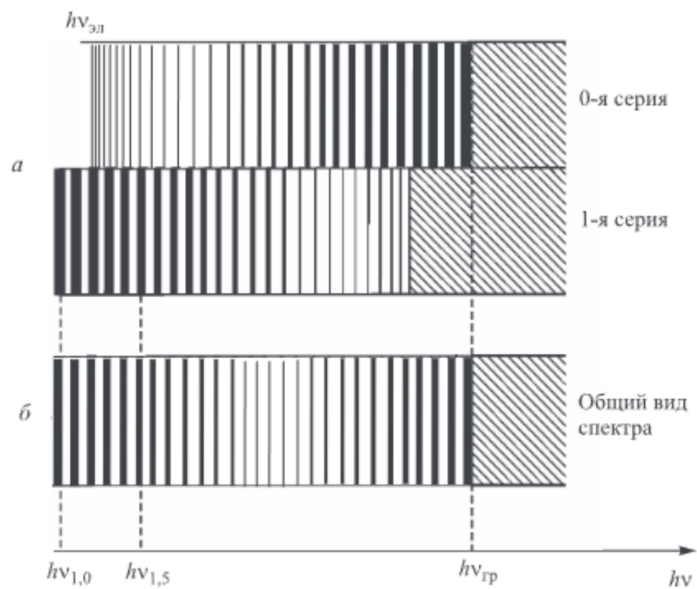


Рис. 2: Спектр поглощения паров йода

2 Экспериментальная установка

2.1 Измерение серии Бальмера

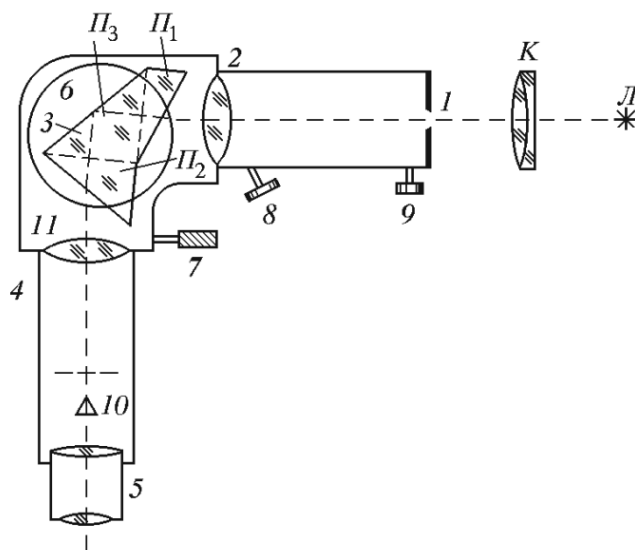


Рис. 3: Устройство монохроматора УМ-2

Для измерения длин волн спектральных линий используется монохроматор УМ-2, предназначенный для спектральных исследований в диапазоне от 0,38 до 1,00 мкм. Его устройство приведено на рис. 3.

В качестве источника используется водородная лампа в виде H-образной трубки, питаемая от катушки Румкорфа

2.2 Измерение изотопического сдвига

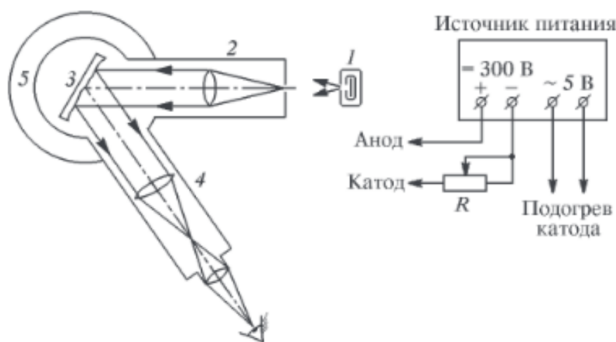


Рис. 4

Для наблюдения небольшого изотопического сдвига между линиями водорода и дейтерия используется отражательная дифракционная решётка с высокой дисперсией и гониометр

2.3 Измерение спектр поглощения паров йода

Для получения спектра поглощения необходимы: 1) источник сплошного спектра - лампа накаливания; 2) поглощающая среда - кювета с исследуемым веществом; 3) спектральный прибор, регистрирующий спектр поглощения - монохроматор УМ-2.

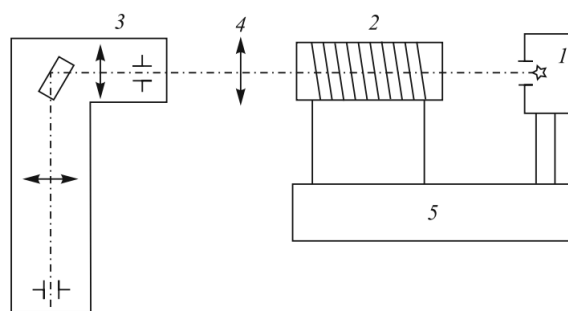


Рис. 5: Схема экспериментальной установки для получения спектра поглощения