

# Лабораторная работа № 2.2-2.3

## Изучение спектров атомов водорода и гелия

Григорий Чирков

16 сентября 2017 г.

### 1 Теория

#### 1.1 Атомарный спектр

Длины волн спектральных линий водородоподобного атома описывается формулой

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

где  $R$  – константа, называемая постоянной Ридберга, а  $m$  и  $n$  – целые числа.

Формула (1) известна в спектроскопии очень давно. Она была выведена эмпирически и называлась *обобщенной формулой Бальмера*. Эта формула достаточно точно описывает спектральные линии водорода при  $R = 109677.6 \text{ см}^{-1}$ . Однако физический смысл формулы был непонятен в то время.

Для объяснения спектра атома водорода Нильс Бор в 1913г. предложил теорию атома, в основу которой положил три постулата:

1. Из всех возможных с точки зрения классической физики орбит в атоме осуществляются только некоторые стационарные орбиты, при движении по которым, вопреки представлениям классической электродинамики, электрон не излучает энергии.
2. Из всех возможных орбит в атоме осуществляются только те, для которых момент количества движения равен целому кратному величины постоянной Планка  $\hbar = h/2\pi$ , т.е.

$$L = n\hbar \quad (2)$$

3. Излучение или поглощение энергии происходит при переходе атома из одного стационарного состояния в другое, а частота излучаемого(поглощаемого) света связана с разностью энергий атома в стационарных состояниях соотношением

$$h\nu = E_2 - E_1, \quad (3)$$

где  $\nu$  – частота излучаемой линии.

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

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

Знание энергетических состояний атома позволяет в соответствии с формулой (4) определить возможные частоты его излучения и объяснить наблюдаемые спектральные закономерности (см. рис. 1.1).

## 1.2 Молекулярный спектр

Молекулы обладают более богатым спектром возбужденных состояний, чем изолированные атомы. В то время как возбуждения атомов – это переходы их электронов на более высоко расположенные энергетические уровни, в молекулах могут возбуждаться дополнительно колебательные степени свободы: колебания составляющих их атомов друг относительно друга и вращательные, т.е. вращения молекул относительно различных осей. В первом приближении энергия молекулы может быть представлена в виде

$$E = E_{\text{эл}} + E_{\text{колеб}} + E_{\text{вращ}}. \quad (5)$$

Можно получить следующую оценку характерных частот этих колебаний:

$$\omega_{\text{эл}} : \omega_{\text{колеб}} : \omega_{\text{вращ}} \approx 1 : 10^{-3} : 10^{-6} \quad (6)$$

Характерная энергия вращательных движений в  $10^6$  раз меньше энергии электронных переходов, и поэтому наблюдение вращательных переходов оптическими спектрометрами невозможно. Реально в видимой области наблюдаются электронно-колебательные спектры молекул. В спектре излучения происходит наложение колебательного спектра на электронный, и проявляется это в том, что каждой линии электронного перехода соответствует ряд колебательных линий, образующий полосу. На рис. 1.2 схематически изображены энергетические уровни молекулы без учета вращательной структуры.

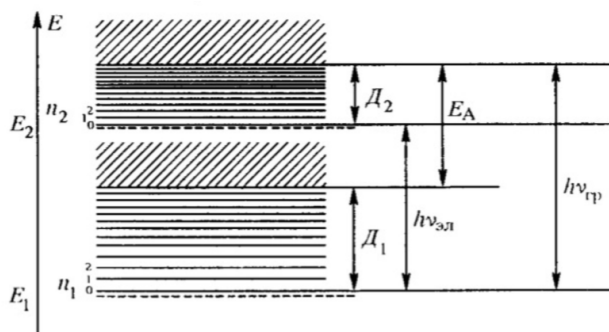


Рис. 2: Электронные и электронно-колебательные энергетические уровни двухатомной молекулы



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

## 2 Установка

Для исследования атомарного спектра водорода и молекулярного спектра йода в работе используется призмный монохроматор УМ-2.

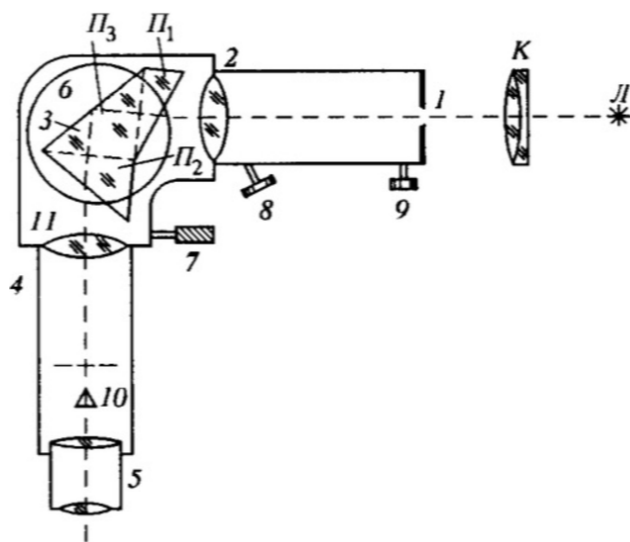


Рис. 3: Схема УМ-2

Основные части монохроматора:

1. Входная щель 1, снабженная микрометрическим винтом 9.
2. Коллиматорный объектив 2, снабженный микрометрическим винтом 8.
3. Сложная призма 3, установленная на поворотном столике 6.
4. Поворотный столик 6, вращающийся вокруг вертикальный при помощи микрометрического винта 7 с отсчетным барабаном.
5. Зрительная труба, состоящая из объектива 4 и окуляра 5.

Монохроматор калибруется с помощью неоновой и ртутной ламп.

### 2.1 Спектр атома водорода

В качестве источника света используется водородная лампа. С помощью монохроматора измеряются линии оптического диапазона из спектра *излучения* водорода (из серии Бальмера).

## 2.2 Молекулярный спектр йода

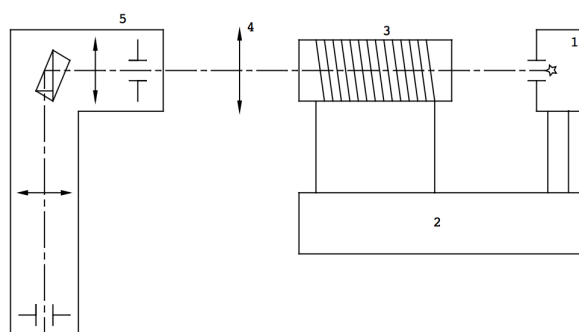


Рис. 4: Схема установки для исследования спектра йода

Спектр *поглощения* паров йода наблюдается визуально на фоне непрерывного спектра лампы 1.

## 3 Ход работы

1. Проградуировать монохроматор с помощью неоновой и ртутной ламп.
2. Определить координаты линий балмеровской серии атомарного водорода
3. Определить координаты нескольких линий молекулярного спектра йода

## 4 Обработка результатов

1. Градуировка монохроматора:

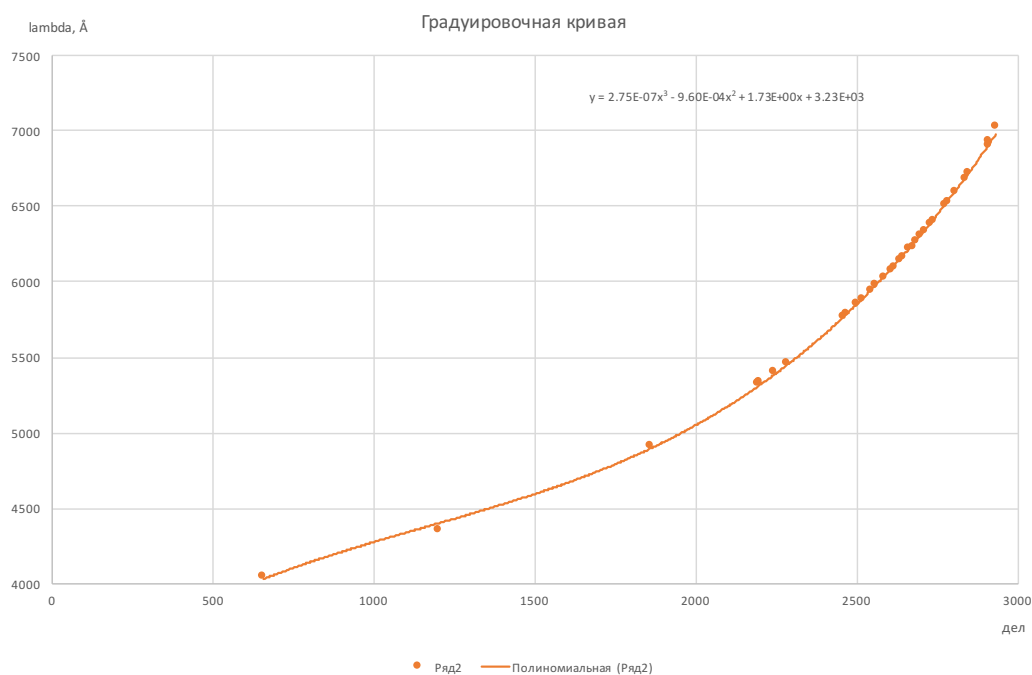


Рис. 5: Градуировочная кривая

2. Определим координаты линий бальмеровской серии атомарного водорода:

Линия	Монохроматор	Длина волны, нм	Справочное значение, нм	$R, cm^{-1}$
$H_\alpha$	$2796^\circ$	657.3	656.3	109537
$H_\beta$	$1806^\circ$	484.3	486.1	110122
$H_\gamma$	$1172^\circ$	438.2	434.1	108679

$$\sigma_\lambda = 1.5nm$$

Убедимся, что отношение длин волн водородных линий соответствует формуле серийной закономерности:

$$\frac{H_\alpha}{H_\beta} = 1.357 \approx 1.350 = \frac{\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2}}{\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}} \quad \frac{H_\beta}{H_\gamma} = 1.105 \approx 1.120 = \frac{\frac{1}{2^2} - \frac{1}{5^2}}{\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2}}$$

Вычислим постоянную Ридберга:  $R = 109446 \pm 1000 cm^{-1}$

3. Вычисление энергии колебательного кванта молекулы йода и энергии ее диссоциации:

Линия	Монохроматор	Длина волны, нм
$h\nu_{1,0}$	$2554^\circ$	596.8
$h\nu_{1,5}$	$2450^\circ$	575.0
$h\nu_{гр}$	$2710^\circ$	634.1

$$\sigma_\lambda = 1.5nm$$

- Энергия колебательного кванта:

$$h\nu_2 = \frac{h\nu_{1,5} - h\nu_{1,0}}{5} = 15.7 \pm 0.5 \text{ мэВ}$$

- Энергия электронного перехода:

$$h\nu_{0,1} = h\nu_{эл} + \frac{3}{2}h\nu_2 - \frac{1}{2}h\nu_1$$

$$h\nu_{эл} = h\nu_{1,0} - \frac{3}{2}h\nu_2 + \frac{1}{2}h\nu_1 = 2.07 \pm 0.6 \text{ эВ}$$

- Энергия диссоциации молекулы в основном состоянии  $D_1$ :

$$D_1 = h\nu_{гр} - E_A = 1.47 \pm 0.08 \text{ эВ}$$

- Энергия диссоциации молекулы в возбужденном состоянии  $D_2$ :

$$D_2 = h\nu_{гр} - h\nu_{эл} = 10.32 \pm 0.04 \text{ эВ}$$

## 5 Вывод

В ходе эксперимента были исследованы спектры водорода и йода. Из формулы (1) была вычислена постоянная Ридберга:

$$R_{\text{эксп}} = 109446 \pm 1000 \text{ cm}^{-1}$$

$$R_{\text{теор}} = 109737 \text{ cm}^{-1}$$

Были исследованы энергии различных состояний молекулы йода:

- Энергия колебательного кванта:

$$h\nu_2 = 15.7 \pm 0.5 \text{ мэВ}$$

$$h\nu_1 = 27 \text{ мэВ}$$

- Энергия электронного перехода:

$$h\nu_{\text{эл}} = 2.07 \pm 0.6 \text{ эВ}$$

- Энергия диссоциации:

$$D_1 = 1.47 \pm 0.08 \text{ эВ}$$

$$D_2 = 0.32 \pm 0.04 \text{ эВ}$$

Все полученные значения выглядят достоверно: постоянная Ридберга совпадает с табличным значением с точностью до погрешности, энергии колебательного кванта совпадают по порядку величины, энергия диссоциации близка к термохимическим данным.