

Отчет о выполнении лабораторной работы 2.2/2.3
"Изучение спектров атома водорода и молекулы
йода"

Калашников Михаил, Б03-2026

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

В работе используются:

- стекляннно-призмный монохроматор-спектрометр УМ-2;
- собирающая линза;
- неоновая лампа;
- ртутная лампа ДРШ;
- водородная лампа;
- лампа накаливания К12;
- кювета с йодом;

1. Теоретические сведения

1.1. Спектр водорода

Атом водорода является простейшей атомной системой. Поэтому спектр водорода является предметом тщательного экспериментального и теоретического исследования. Энергии квантов спектральных линий атома водорода описываются формулой:

$$E = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right),$$

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



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

В данной работе будет изучена серия Бальмера, линии которой лежат в видимой области спектра. Для первых четырех линий серии Бальмера величины n и m принимают значения 2 и 3, 4, 5, 6 соответственно. Эти линии обозначаются символами H_α , H_β , H_γ , H_δ .

1.2. Спектр йода

Молекулы обладают более богатым спектром возбужденных состояний, чем изолированные атомы. В молекулах могут возбуждаться дополнительные степени свободы: колебания составляющих их атомов относительно друг друга и вращения молекул относительно различных осей.

Можно показать, что характерная энергия вращательных движения в 10^6 раз меньше энергии электронных переходов, и поэтому наблюдение вращательных переходов оптическими спектрометрами невозможно. В видимой области наблюдается наложение колебательного спектра на электронный. Каждой линии электронного перехода соответствует ряд колебательных линий, образующих полосу.

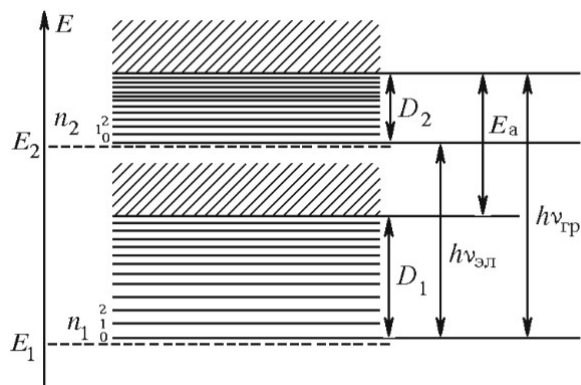


Рис. 2: Электронные и электронно-колебательные энергетические уровни двухатомной молекулы

Штриховыми линиями показаны электронные уровни, а сплошными – колебательные подуровни этих состояний. С ростом квантовых чисел n_1 и n_2 колебательные уровни сближаются и переходят в непрерывный спектр, области которого заштрихованы на рисунке. Так же растет и амплитуда колебаний, при достижении некоторой максимальной амплитуды происходит диссоциация молекулы.

2. Экспериментальная установка

В работе используется стеклянно-призмный монохроматор-спектрометр УМ-2, предназначенный для спектральных исследований в диапазоне от 0.38 до 1.00 мкм. Рассмотрим основные элементы монохроматора:

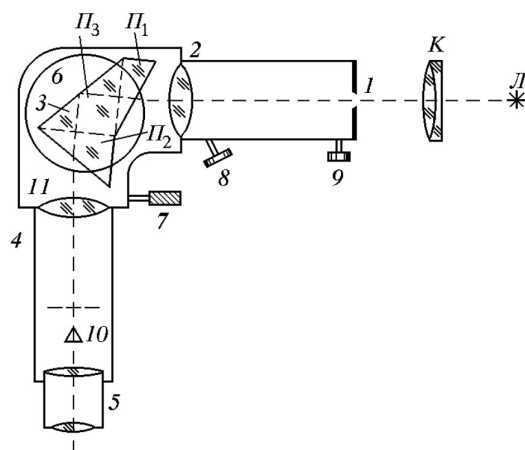


Рис. 3: Схема экспериментальной установки

1. Входная щель 1, снабженная микрометрическим винтом 9, позволяющим регулировать ширину открытия щели.
2. Коллиматорный объективный 2, снабженный микрометрическим винтом 8, позволяющим смещать объектив при фокусировке спектральных линий различных цветов.
3. Спектральная призма 3, установленная на поворотном столике 6.

4. Поворотный столик 6, вращающийся при помощи микрометрического винта 7 с отсчетным барабаном.
5. Зрительная труба из объектива 4 и окуляра 5. В фокальной плоскости объектива расположено острие указателя.
6. Корпус 11.
7. Оптическая скамья, на которой могут перемещаться рейтеры с линзой-конденсером, различными источниками света и кюветой с йодом.

3. Проведение эксперимента

3.1. Подготовка установки к работе

1. Ознакомимся с устройством и принципом работы спектрометра
2. Включим неоновую лампу. Отцентрируем оптическую систему
3. Расположим конденсор так, чтобы получить резкое изображение источника в центре колпачка, прикрывающего входную щель. Закрепим рейтеры.
4. Вращая глазную линзу окуляра, настроимся на резкое изображение кончика указателя.
5. Вращая барабан, подведем указатель к одной из ярких линий неона. Перемещая коллиматор, получим четкое изображение линии.
6. Установим ширину входной щели так, чтобы получить наиболее резкое изображение спектральных линий.

3.2. Градуировка спектрометра

1. Откалибруем спектрометр по спектру неона при помощи таблицы с расположением спектральных линий.
2. Прделаем то же самое по спектру ртути с помощью ртутной лампы.

3.3. Спектр водорода

1. Установим на скамью водородную лампу и включим ее в сеть.
2. Измерим положение линий H_α , H_β , H_γ , H_δ .

3.4. Спектр йода

1. Установим на лампу накаливания K12 и кювету с йодом. Отцентрируем полученное изображение на колпачке входной щели.
2. Настроим установку так, чтобы на ярком фоне непрерывного спектра наблюдались темные полосы поглощения.
3. Определим деления барабана монохроматора, соответствующие линиям: $\nu_{1,0}$ – самой длинноволновой видимой линии поглощения, $\nu_{1,5}$ – шестой по счету длинноволновой видимой линии поглощения и $\nu_{гр}$ – границе схождения спектра.

4. Обработка результатов

1. Построим калибровочную кривую. Для этого отложим на графике точки, полученные при измерении спектров неона и ртути. Через точки проведем функцию, заданную дисперсионной формулой Гартмана:

$$\lambda = \lambda_0 + C/(d - d_0),$$

где λ_0 , C и d_0 – три постоянные, подбираемые с помощью МНК.

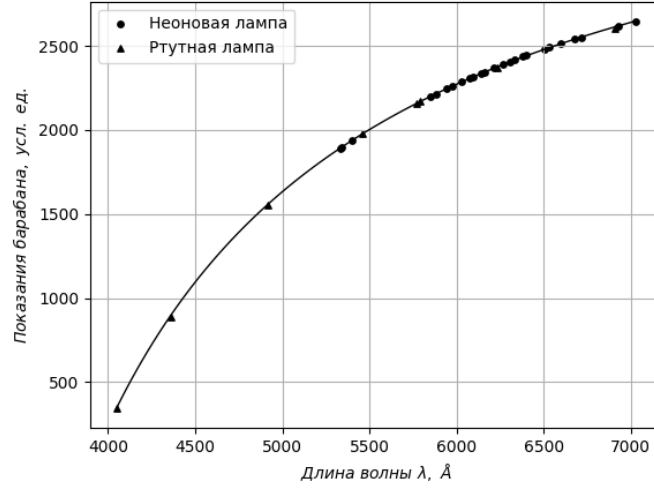


Рис. 4: Калибровочная кривая монохроматора-спектрометра

2. По калибровочной кривой определим длины волн линий H_α , H_β , H_γ , H_δ . Погрешность найдем по формуле погрешности косвенных измерений:

$$\sigma_\lambda = \sqrt{\sigma_{\lambda_0}^2 + \left(\frac{\lambda - \lambda_0}{C}\right)^2 (\sigma_C^2 + (\lambda - \lambda_0)^2 \sigma_{d_0}^2)}$$

$$\lambda_{H_\alpha} = (653 \pm 4) \text{ нм}, \quad \lambda_{H_\beta} = (486 \pm 2) \text{ нм},$$

$$\lambda_{H_\gamma} = (433.7 \pm 1.7) \text{ нм}, \quad \lambda_{H_\delta} = (409.8 \pm 1.5) \text{ нм}.$$

3. Убедимся в том, что отношения длин волн линий соответствуют формуле серийной закономерности ($m \geq 3$):

$$\frac{\lambda_{H_m}}{\lambda_{H_{m+1}}} = \frac{\frac{1}{2^2} - \frac{1}{(m+1)^2}}{\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2}} = \frac{(m-1)m^2(m+3)}{(m-2)(m+1)^2(m+2)}$$

$$\left(\frac{\lambda_{H_\alpha}}{\lambda_{H_\beta}}\right)_{th} = 1.35, \quad \frac{\lambda_{H_\alpha}}{\lambda_{H_\beta}} = 1.343 \pm 0.014,$$

$$\left(\frac{\lambda_{H_\beta}}{\lambda_{H_\gamma}}\right)_{th} = 1.12, \quad \frac{\lambda_{H_\beta}}{\lambda_{H_\gamma}} = 1.120 \pm 0.009,$$

$$\left(\frac{\lambda_{H_\gamma}}{\lambda_{H_\delta}}\right)_{th} \approx 1.058, \quad \frac{\lambda_{H_\gamma}}{\lambda_{H_\delta}} = 1.059 \pm 0.008.$$

4. Отложим на графике точки зависимости энергии перехода ($E = h\frac{c}{\lambda}$) от параметра $1/2^2 - 1/m^2$. По наклону прямой, проведенной через точки определим постоянную Ридберга. Получим:

$$R = (13.529 \pm 0.016) \text{ эВ}.$$

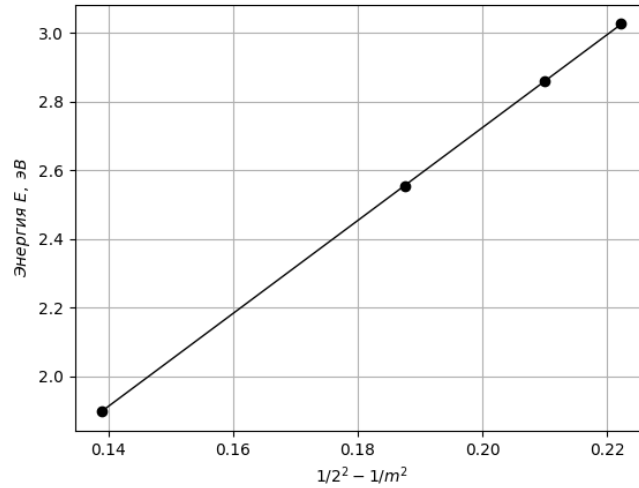


Рис. 5: Зависимость энергии перехода от параметра

5. Воспользуемся калибровочной кривой для определения длин волн линий $\lambda_{1,0}$, $\lambda_{1,5}$, $\lambda_{\text{гp}}$:

$$\lambda_{1,0} = (607 \pm 3) \text{ нм}, \quad \lambda_{1,5} = (584 \pm 3) \text{ нм}, \quad \lambda_{\text{гp}} = (500 \pm 2) \text{ нм}.$$

6. Вычислим энергию колебательного кванта возбужденного состояния молекулы йода:

$$h\nu_2 = \frac{h\nu_{1,5} - h\nu_{1,0}}{5} = (0.015 \pm 0.004) \text{ эВ}.$$

Также вычислим энергию $h\nu_{\text{гp}} = h\frac{c}{\lambda_{\text{гp}}} = (2.481 \pm 0.011) \text{ эВ}$.

7. Зная, что энергия колебательного кванта основного состояния $h\nu_1 = 0.027 \text{ эВ}$, а энергия возбуждения атома $E_A = 0.94 \text{ эВ}$, вычислим:

- (а) энергию электронного перехода:

$$h\nu_{\text{эл}} = E_2 - E_1 = h\nu_{1,0} + \frac{3}{2}h\nu_1 - \frac{1}{2}h\nu_2 = (2.077 \pm 0.012) \text{ эВ},$$

- (b) энергию диссоциации молекулы в основном состоянии:

$$D_1 = h\nu_{\text{гp}} - E_A = (1.541 \pm 0.011) \text{ эВ},$$

- (с) энергию диссоциации молекулы в возбужденном состоянии:

$$D_2 = h\nu_{\text{гp}} - h\nu_{\text{эл}} = (0.40 \pm 0.02) \text{ эВ}.$$

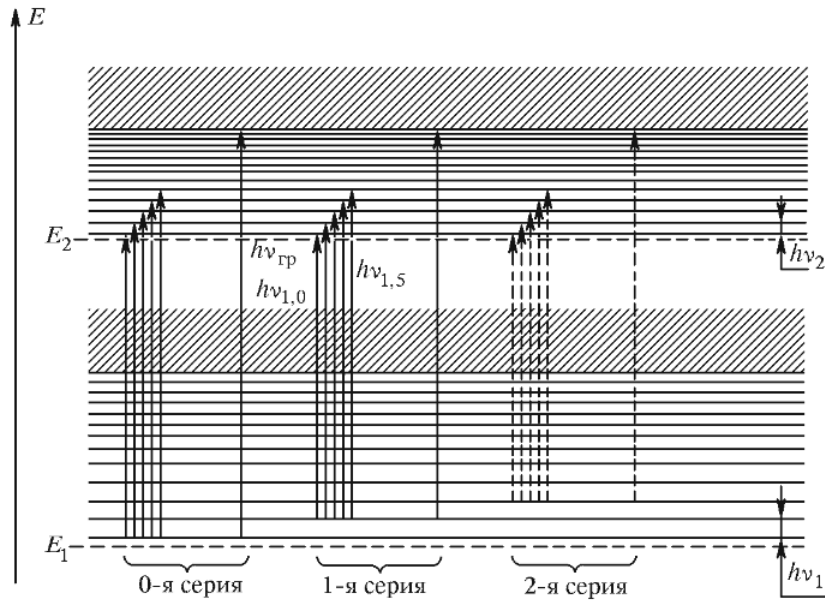


Рис. 6: К вычислению энергий перехода и диссоциации

5. Выводы

Длин волн спектральных линий серии Бальмера были найдены с высокой точностью – об этом можно судить по полученным в пункте 4.3 отношениям.

Сравним полученные во второй части работы результаты с табличными данными. В лабораторном практикуме приведены следующие значения D_1 и D_2 :

$$D_1 = 1.5425 \text{ эВ}, \quad D_2 = 0.69 \text{ эВ}$$

Можно сделать вывод о том, что в результате проделанной работы энергия диссоциации молекулы в основном состоянии найдена с более высокой точностью, по сравнению с энергией диссоциации в возбужденном состоянии.