

Лабораторная работа 2.2-2.3

Изучение спектров атома водорода и молекулы йода

Васильев Михаил Владимирович
Студент 3 курса РТ

(Московский физико-технический институт)
(Dated: 16 сентября 2021 г.)

В работе исследуются: а) сериальные закономерности в оптическом спектре водорода; б) спектр поглощения паров йода в видимой области.

Оборудование: Спектрометр УМ-2, ртутная и неоновая лампы (для калибровки), водородная лампа, кристаллы йода.

I. Теоретическая часть.

A. Основные эффекты лабы.

В работе исследуется спектр серии Бальмера водорода и электронно-колебательный спектр йода с помощью спектрометра-монохроматора УМ-2.

На первом рисунке показаны 0 и 1 серии Деландра, их наложение, наблюдаемое через спектрометр, и положения 1,2 и 3, соответствующие энергиям $h\nu_{1,0}$, $h\nu_{1,5}$ и $h\nu_{\text{тр}}$. В монохроматоре спектр поглощения йода наблюдается как набор темных полос, перекрывающих непрерывный спектр, начинающийся с красного цвета.

На втором рисунке изображены линии H_α , H_β , H_γ , H_δ . Все линии, кроме последней, хорошо видны в спектрометре (H_δ -линию обнаружить не удалось).

B. Введение в основные теоретические вещи лабы.

В случае водорода уравнение Шредингера может быть решено точно. Его проквантованная энергия вы-

ражается формулой:

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

Из этой формулы с помощью постоянной Ридберга R можно получить выражение для длин волн:

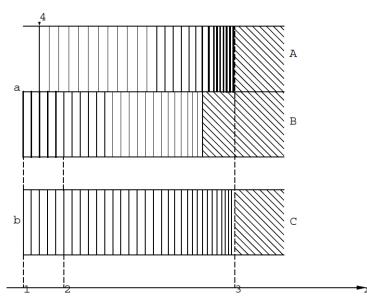
$$\frac{1}{\lambda_{mn}} = RZ^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (2)$$

При $n = 2$ получаем серию Бальмера. При этом $m = 3, 4, 5, 6$ соответствует $H_\alpha, H_\beta, H_\gamma, H_\delta$.

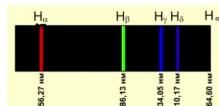
Для йода картина усложняется, так как уравнение Шредингера допускает для этой молекулы более сложные состояния, включающие, помимо стандартных электронных орбиталий, колебательные движения и вращение. Можно показать, что оценка для вклада энергий имеет вид:

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

Как видно из оценки (3), вклад вращательного движения очень мал - именно поэтому он не учитывается в лабораторной работе.



(a) Йод



(b) Водород

II. Экспериментальная установка и методика

Для измерения длин волн спектральных линий в работе используется стеклянно-призменный монохроматор-спектрометр УМ-2, предназначенный для спектральных исследований в диапазоне от 0,38 до 1,00 мкм. Призменный монохроматор УМ-2. В состав прибора УМ-2 входят следующие основные части (Рис. 2):

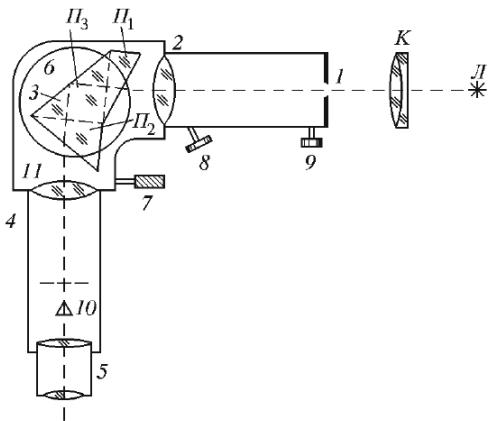


Рис. 2: Устройство монохроматора УМ-2

1. Входная щель 1, снабженная микрометрическим винтом 9, который позволяет открывать щель на нужную ширину. Обычная ширина щели равна 0,02 – 0,03 мм.
2. Коллиматорный объектив 2, снабженный микрометрическим винтом 8. Винт позволяет смещать объектив относительно щели при фокусировке спектральных линий различных цветов.
3. Сложная спектральная призма 3, установленная на поворотном столике 6. Призма 3 состоит из трех склеенных призм П1, П2 и П3. Первые две призмы с преломляющими углами 30° изготовлены из тяжелого флинта, обладающего большой дисперсией. Промежуточная призма П3 сделана из крона. Лучи отражаются от ее гипотенузной грани и поворачиваются на 90° . Благодаря такому устройству дисперсии призм П1 и П2 складываются.
4. Поворотный столик 6, вращающийся вокруг вертикальной оси при помощи микрометрического винта 7 с отчетным барабаном. На барабан нанесена винтовая дорожка с градусными делениями. Вдоль дорожки скользит указатель барабана. При вращении барабана призма поворачивается, и в центре поля зрения появляются различные участки спектра.

5. Зрительная труба, состоящая из объектива 4 и окуляра 5. Объектив создает изображение входной щели 1 различных цветов в своей фокальной плоскости. В этой же плоскости расположен указатель 10. Изображение щели рассматривается через окуляр 5. В случае необходимости окуляр может быть заменен

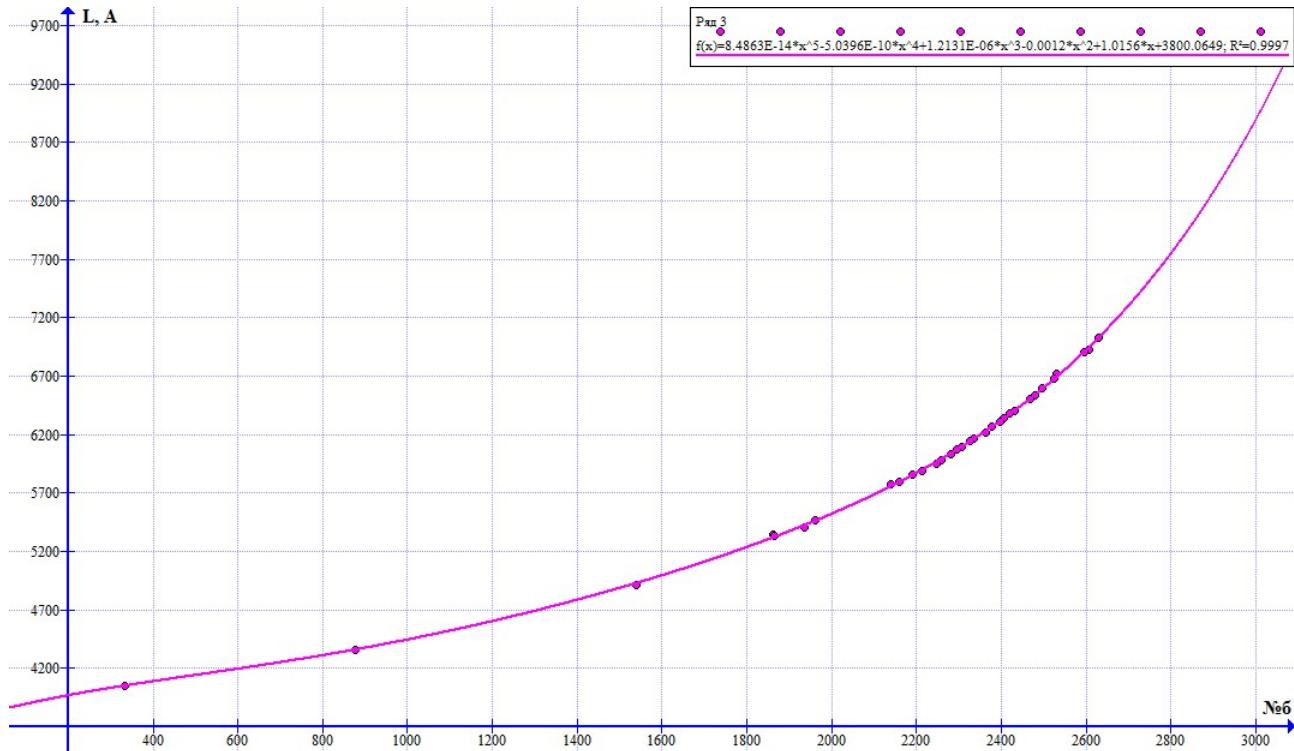
выходной щелью, пропускающей одну из линий спектра. В этом случае прибор служит монохроматором. В данной работе выходная щель не применяется.

6. Массивный корпус 11, предохраняющий прибор от повреждений и загрязнений.

7. Оптическая скамья, на которой могут перемещаться рейтеры с источником света Λ и конденсором К, служащим для концентрации света на входной щели.

8. Пульт управления, служащий для питания источников света и осветительной системы спектрометра. На пульте имеются гнезда для подключения осветителей (3,5 В), неоновой лампы и лампы накаливания. Тумблеры, расположенные на основании спектрометра, позволяют включать лампочки осветителей шкал и указателя спектральных линий. Яркость освещения указателя регулируется реостатом.

Спектрометр УМ-2 нуждается в предварительной градуировке. Для градуировки в коротковолновой части спектра удобно применять ртутную лампу П К-4, а в длинноволновой и средней части спектра неоновую лампу.



III. Основные результаты и их обсуждение

Все результаты измерений и вычислений сведены в таблицу.

При вычислении длин волн первых четырёх серий была использована степенная аппроксимация калибраторочных графиков спектров неона и ртути. Сравнивая их с эталонными значениями, видим, во-первых, что спектр ртути лучше аппроксимирует истинную зависимость длины волны от поворота барабана, во-вторых, γ линия хорошо аппроксимируется обоими спектрами. Ниже приведены погрешности аппроксимаций, полученные из погрешностей МНК.

Измерение сериального отношения и постоянной Ридберга показывают, что и в этом случае спектры неона и ртути дают хорошее приближение, из-за чего результаты вычислений хорошо сходятся с эталоном.

Внизу таблицы приведены измерения различных энергий для молекулы йода. Результаты вычислений верно отражают порядок полученных значений (тем не менее, нельзя достоверно ручаться про мантиссы, так как экспериментально было сложно определить, где начинается $h\nu_{1,0}$ и заканчивается $h\nu_{\text{тр}}$)

IV. Заключение

В работе были выполнены соединяющие задачи:

- 1) Исследована серия Бальмера водорода, вычислены длины волн и постоянная Ридберга
- 2) Исследован электронно-колебательный спектр йода, вычислены энергии перехода и диссоциации.

V. Данные

Градуировка спектроскопа по спектрам неона и ртути		
№л	№б	L, A
1	2630	7032
2	2606	6929
3	2596	6907
4	2530	6717
5	2524	6678
6	2496	6599
7	2478	6533
8	2468	6507
9	2430	6402
10	2420	6383
11	2406	6334
12	2396	6305
13	2378	6267
14	2362	6217
15	2334	6164
16	2326	6143
17	2306	6096
18	2294	6074
19	2282	6036
20	2258	5976
21	2246	5945
22	2214	5882
23	2190	5852
24	2158	5791
25	2138	5770
26	1960	5461
27	1936	5401
28	1862	5341
29	1864	5331
30	1540	4916
31	876	4358
32	332	4047

Измерение положения спектральных линий водорода					
№	№б	L, A	dL, A	$R * 10^6 m^{-1}$	$dR * 10^6 m^{-1}$
H1	2484	6562	12	10,97	0,02
H2	1488	4873	12	10,95	0,02
H3	842	4336	8	10,98	0,02
H4	404	4090	4	11,00	0,01

Измерение положения спектральных линий йода					
№	№б	L, A	dL, A		
h10	2252	5979	12		
h15	2124	5729	12		
hгр	1744	5167	10		

Различные энергии					
Название	Величина, ЭВ				
hU1		0,027			
hU2		0,018			
hUэл		0,009			
D1		1,47			
D2		2,4			