

Работа 2.2

Изучение спектров атомов водорода и молекулы йода

Борисов Владимир
группа 825

26 сентября 2020 г.

Теория

Атом водорода является простейшей атомной системой; для него уравнение Шредингера можно решить точно.

С одной стороны задача об относительном движении электрона и ядра может быть легко сведена к задаче о движении частицы с эффективной массой $\mu = m_e M / (m_e + M)$ в кулоновском поле $-Ze^2/r$. Однако это решение не является простым, так как длины волн спектральных линий описываются формулой

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

где R — константа Ридберга, а m и n — целые числа.

Физический смысл этой формулы объясняется тремя постулатами Бора:

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 света связана с разностью энергий атома в стационарных состояниях соотношением

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

где ν — частота излучаемой линии.

Из этих постулатов и кулоновского взаимодействия легко понять, какие это энергетические уровни, а именно

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

А из формулы (4) мы легко можем определить частоты излучения.

Из рис.1 видно, что линии в спектре водорода можно расположить по сериям; для всех линий n постоянно, а m меняется от $n + 1$ до ∞ .

В данной работе мы изучаем серию Бальмера, линии которой лежат в видимой области.

Для серии Бальмера $n = 2$, а $m = 3, 4, 5, 6$. Эти линии обозначаются $H_\alpha, H_\beta, H_\gamma, H_\delta$.

Проводя нехитрые преобразования можно вычислить, что энергия основного состояния водородоподобного атома равна

$$E = -RZ^2 \quad (5)$$

И подобными же преобразованиями можно получить, что энергия возбужденного атома равна

$$E_n = -R \frac{Z^2}{n^2} \quad (6)$$

Поскольку по факту, у нас движение зависит от массы ядра, то имеет место так называемый *изотопический сдвиг*, то есть различие в спектральных линиях у различных ядер, легко показать, что она выражается как

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{m_e}{m_p} \frac{A_D - A_H}{A_D A_H} \approx \frac{m_e}{2M_H} \quad (7)$$

Для измерения длин волн в работе используется стеклянно-призмный монохроматор-спектрометр. Основные его элементы:

- 1) Входная щель с микрометрическим винтом,
- 2) Коллиматорный объектив с микрометрическим винтом,
- 3) Спектральная призма, Поворотный столик, вращающийся при помощи вертикального микрометрического винта,
- 4) Зрительная труба,
- 5) Оптическая скамья.

Молекулярный спектр йода можно наблюдать при помощи

- 1) источника сплошного спектра — лампы накаливания;
- 2) поглощающую среду — кювету с йодом;
- 3) спектральный прибор — монохроматор.

Кювета подогревается нихромовой спиралью, подключенной вместе с лампой накаливания к блоку питания, линза используется как конденсатор.

В результате подогревания кристаллы йода частично возгоняются, образуя пары с легкой фиолетовой окраской.

Ход работы

Изучение спектра атомов водорода

Для начала проведем градуировку барабана монохроматора по спектрам ртутной и неоновой ламп.

Барабан, °	Δ Барабана, °	λ , Å	$\Delta\lambda$, Å
636	1	4047	5
1192	1	4358	5
1857	1	4916	5
2282	1	5461	5
2461	1	5770	5
2472	1	5791	5
2506	1	5945	5
2524	1	5976	5
2552	1	6030	5
2566	1	6074	5
2592	1	6096	5
2610	1	6143	5
2622	1	6164	5
2640	1	6217	5
2674	1	6234	5
2915	1	6907	5

Таблица 1: Данные для градуировки

Погрешность барабана берется из половины цены деления, а погрешность длины волны мы берем из того факта, что при градуировке неоновой лампой спектр был частый, из-за чего были не очень хорошо различимы различные оттенки одного цвета, из-за чего берем за погрешность длины волны максимальное расстояние между соседними спектрами. Так же на график не имеет смысла наносить кресты ошибок, поскольку относительная погрешность меньше сотой процента.

Градуировка получается нелинейная, в итоге мы ее аппроксимируем полиномом

$$y = A + Bx + Cx^2 + Dx^3,$$

где $A = 3600 \pm 160$, $B = 0,9 \pm 0,3$, $C = (-4 \pm 2) \cdot 10^{-4}$, $D = (1,8 \pm 0,4) \cdot 10^{-7}$.

Далее померяем спектры водорода и, зная соответствующие длины волн получим их из графика градуировки, занесем данные в таблицу. Так же для каждого H посчитаем R_H , посчитаем среднее и занесем все в таблицу.

R_H получаем из формулы (1), замечая, что для всех H $n = 2$, а $m = 3, 4, 5$ и $Z = 1$ для водорода.

	H_γ	H_β	H_α
Барабан, °	1164	1801	2801
Δ Барабан, °	1	1	1
λ_{th} , нм	434,05	486,13	656,28
λ , нм	434	484	658
$\Delta\lambda$, нм	0,5	0,5	0,5
$\varepsilon(\lambda)$, нм	0,000115	0,004382	0,002621
$\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2}$	0,210	0,188	0,139
$R_H, 10^6 \text{ м}^{-1}$	10,972	11,02	10,94
$\Delta R_H, 10^6 \text{ м}^{-1}$	0,012	0,05	0,03
$H_{av}, 10^6 \text{ м}^{-1}$	10,98		
$\Delta H_{av}, 10^6 \text{ м}^{-1}$	0,03		

Таблица 2: итоговые данные измерения R_H

В итоге мы получаем, что

$$R = (10,98 \pm 0,03) \cdot 10^6 \text{м}^{-1}$$

$$R_{th} = 10,9737 \cdot 10^6 \text{м}^{-1}$$

В итоге получаем, что измеренная R с точностью до ошибки равна теоретической.

Проведем теперь измерения спектра йода. Определим деления барабана, отвечающие $h\nu_{1,0}, h\nu_{1,5}, h\nu_{\text{гр}}$. Запишем их в таблицу. Далее вычислим различные энергии возбужденного йода и энергии диссоциации молекул в основном и возбужденном состоянии, все запишем в таблицу, как и промежуточные данные.

Так же нам понадобятся некоторые теоретические факты, такие как
Для возбужденного кванта

$$h\nu_2 = (h\nu_{1,5} - h\nu_{1,0})/5$$

и для основного состояния

$$h\nu_1 = 0,027\text{eV}$$

А энергия возбуждения равна $E_A = 0,94\text{eV}$.

Так же мы знаем, что $h\nu_{\text{гр}} = h\nu_e + D_2 = D_1 + E_a$ и $h\nu_{0,n_2} = h_e + h\nu_2 \left(n_2 + \frac{1}{2}\right) - 1/2\nu_1$

	1,0	1,5	гр
Барабан, °	2643	2557	2011
λ , нм	618	591	509
$\Delta\lambda$, нм	1	1	1
$h\nu$, eV	2,007	2,099	2,437
$\Delta h\nu$, eV	0,003	0,004	0,005
$h\nu_2$, eV	$0,0183 \pm 0,0001$		
$h\nu_{el}$, eV	$1,99 \pm 0,01$		
D_1 , eV	$1,50 \pm 0,01$		
D_2 , eV	$0,45 \pm 0,01$		

Таблица 3: Итоговая таблица для спектра йода

Вывод

Мы получили спектральные линии водорода, по которым смогли измерить постоянную Ридберга и убедились в теоретическом значении этой константы. Так же мы измерили некоторые энергии для возбуждения атома йода, которые довольно точны.