

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

ИЗОТОПИЧЕСКИЙ СДВИГ

Изотопические эффекты. Различие ядер изотопов проявляется в их спектрах. Самый простой из изотопических эффектов - эффект массы - состоит в учете движения ядра, проявляющегося в том, что во всех выражениях для энергии уровней (а значит и для длин волн спектральных линий) фигурирует **приведенная масса электрона и ядра** (см. формулу (3) и далее):

$$m = \frac{m_e}{1 + \frac{m_e}{M_{\text{я}}}} \approx m_e \left(1 - \frac{m_e}{M_{\text{я}}} \right); \quad (56)$$

$M_{\text{я}} \approx A \cdot M_p$ - масса ядра, A - массовое число ядра.

Следствием этого являются небольшие отличия параметров, зависящих от массы (энергий, размеров, и т.д.) в атомах различных изотопов одного и того же элемента. Порядок величины относительного изменения любого из этих параметров, например, энергии, очевидно, есть:

$$\frac{\delta E}{E} \approx \frac{m_e}{M_{\text{я}}} \cdot \frac{\delta M_{\text{я}}}{M_{\text{я}}} \sim \frac{m_e}{M_p} \cdot \frac{\delta M_{\text{я}}}{M_p} \cdot \frac{1}{A^2}. \quad (57)$$

Как видно , эффект массы наиболее значителен в легких атомах; для изотопов водорода $1/A^2 \sim 1$; для изотопов элементов конца периодической системы элементов $1/A^2 \sim 10^{-4}$). Для разности длин волн идентичных переходов в атомах водорода и дейтерия из (1) получим выражение

$$\frac{1}{\lambda_D} - \frac{1}{\lambda_H} = \frac{1}{\lambda_\infty} \cdot \left(\frac{1}{1 + \frac{m_e}{M_D}} - \frac{1}{1 + \frac{m_e}{M_H}} \right) =$$

$$= \frac{1}{\lambda_\infty} \cdot \frac{m_e}{M_H} \cdot \frac{M_D - M_H}{M_D} = \frac{\lambda_H - \lambda_D}{\lambda_H \cdot \lambda_D} \sim \frac{\Delta\lambda_{HD}}{\lambda_H^2};$$

здесь λ_∞ - длина волны перехода в случае бесконечной массы ядра; M_H , M_D - массы ядер водорода и дейтерия. Поскольку $M_D = 2M_H$, получаем окончательно:

$$\Delta\lambda_{HD} = \frac{1}{2} \cdot \lambda_H \frac{m_e}{M_H} \quad (59)$$

Именно эта величина и измеряется для двух линий серии Бальмера : H_α ($n = 3 \rightarrow n = 2$) и H_β ($n = 4 \rightarrow n = 2$).

Изменение числа нейтронов в ядре изменяет его форму и объем (т.е. электрический квадрупольный момент), а также спин и магнитный момент ядра. В соответствии с этим изменяется и сверхтонкая структура спектральных линий. Однако наблюдение этих эффектов требует спектроскопа сверхвысокого разрешения.

1. Методика эксперимента и описание установки.

Основными элементами установки, используемой в данной работе, являются (Рис.8):

1. Водородно - дейтериевая и ртутная лампы с источниками питания.
2. Спектральный прибор, дающий необходимое разрешение спектральных линий.

1.1 Водородно -- дейтериевая лампа . Используемая в данной работе водородно – дейтериевая лампа выполнена на базе водородной лампы ДВС-25, в которую, кроме водорода, добавляется некоторое количество дейтерия. Лампа представляет собой стеклянный баллон с впаянными внутрь электродами - катодом и анодом. Анод лампы имеет небольшое круглое отверстие посередине. Отверстие служит для вывода света из области разряда. Выходное окошко лампы выполнено из увиолевого стекла, пропускающего ультрафиолетовые лучи. При включении напряжения между электродами трубки зажигается разряд. Если давление

водорода и дейтерия в трубке достаточно, то в спектре свечения на фоне молекулярного спектра H_2 появятся яркие линии атомов водорода и дейтерия. В цепь катода подается переменное напряжение 6.3 В. Лампа питается постоянным напряжением от блока питания 15 (Рис.8).

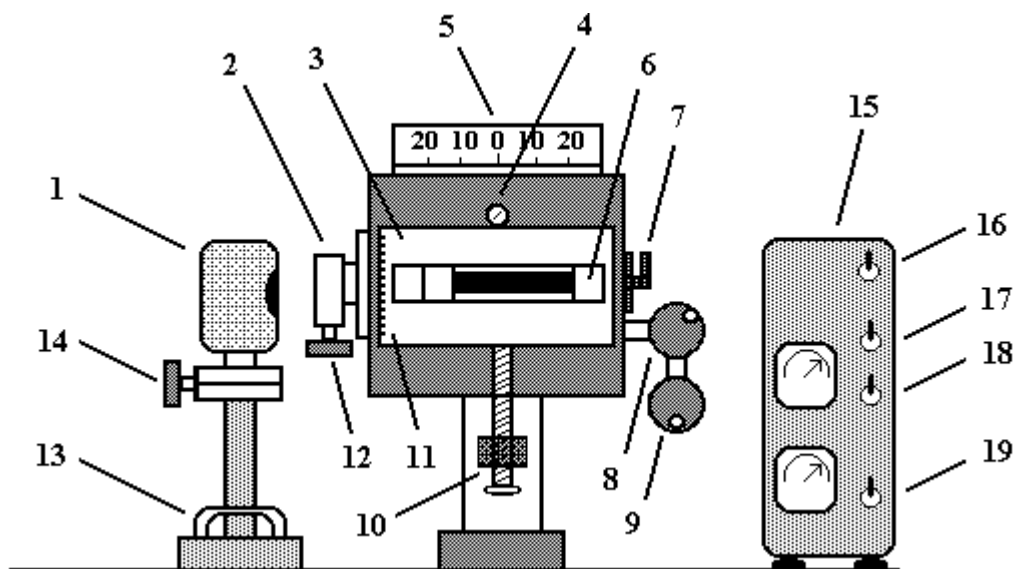


Рис.8 Общий вид установки.

1 - спектральная лампа; 2 – входная щель камеры УФ - 85; 3 – кассетная часть камеры; 4 - зажим кассеты; 5 - шкала поворота дифракционной решетки; 6 - шторки; 7 - ручка затвора кассетной части прибора; 8- ручка фокусировки изображения; 9 - маховик для поворота дифракционной решетки; 10 - винт для перемещения кассетной части; 11 - шкала; 12 - микрометрический винт для изменения ширины щели; 13 - скоба для перемещения ламп перед щелью; 14 – юстировочный винт; 15 - блок питания; 16 - тумблер включения блока питания; 17- переключатель питания на лампы : ртутной (положение ДРГС - 12) и водородной (положение ДВС - 25); 18 - тумблер включения анода; 19 - тумблер включения накала.

1.2 Ртутная лампа. Ртутная лампа типа ДРГС – 12 служит для получения спектра ртути, необходимого для снятия дисперсионной кривой спектрального прибора. Она представляет собой газоразрядную стеклянную трубку, наполненную парами ртути. Питание ртутной лампы аналогично питанию водородно - дейтериевой лампы. Оба источника света

заклучены в специальные защитные кожухи и устанавливаются на юстировочном устройстве.

Держатели ламп снабжены юстировочными винтами 14 (Рис.8), с помощью которых лампы выставляются на оптическую ось спектрографа (при правильном положении лампы достигается наибольшая яркость линий спектра). Смена ламп осуществляется перемещением каретки юстировочного устройства с помощью ручки 13.

1.3 Спектральный прибор. В качестве спектрального прибора используется автоколлимационная камера УФ - 85 (см.Рис.8,9) с фокусным расстоянием объектива около 1300 мм в комбинации с отражательной дифракционной решеткой, имеющей 600 штрихов на мм.

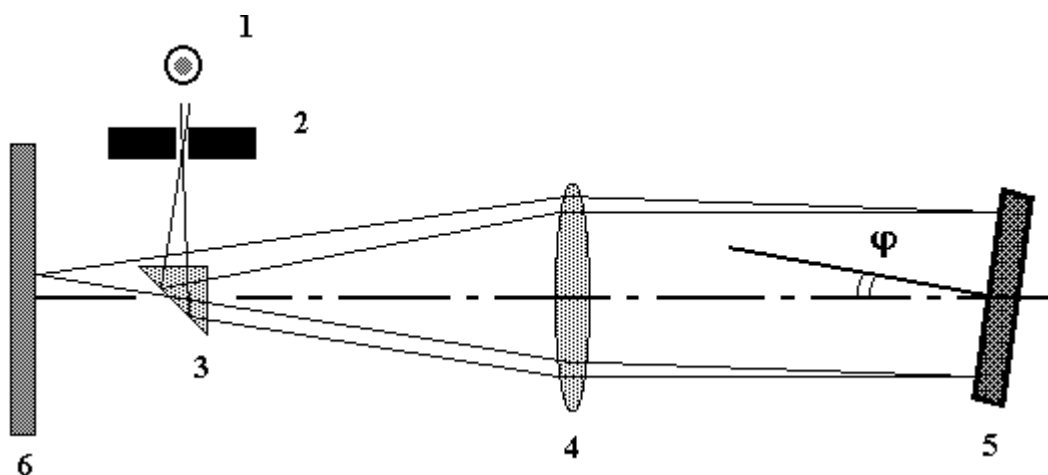


Рис.9 Принципиальная схема камеры УФ - 85:

1 - источник света ; 2 – входная щель ; 3 - поворотная призма; 4 - объектив; 5 - дифракционная решетка; 6 – фотодетектор (фотопластинка или линейка – ПЗС).

Источник света устанавливается перед щелью камеры. Ширина щели регулируется микрометрическим винтом 12 (Рис.8). Через щель свет попадает на поворотную призму (Рис.9), которая посылает его на объектив . Далее параллельный пучок света попадает на отражательную дифракционную решетку .

Разложенное на спектральные составляющие излучение фокусируется объективом в фокальной плоскости на фотодетектор - фотопластинку или линейку – ПЗС . **Камера УФ - 85 – автоколлимационная ; расстояния от щели и от фокальной плоскости до объектива одинаковы, поэтому они одновременно устанавливаются**

в фокусе объектива с помощью рукоятки 8 (Рис.8) при фокусировке. В зависимости от угла падения лучей света на дифракционную решетку в объектив попадают различные длины волн и фокусируются им в фокальной плоскости. Изменение угла падения осуществляется поворотом дифракционной решетки относительно вертикальной оси при помощи маховика 9 "поворот решетки", выведенного сбоку кассетной части прибора (Рис.8). Угол поворота решетки контролируется по шкале 5. Рамка кассетной части прибора 3 (Рис.8) с кассетой для пластинок или блоком линейки ПЗС перемещается в вертикальном направлении с помощью винта 10.

Задание.

1. Рассчитать длины волн H_{α} и H_{β} линий серии Бальмера и углы поворота решетки для их наблюдения на оптической оси камеры в первом и втором дифракционных порядках (ф-ла П 1.2).

2. Для реперных спектральных линий ртути – желтый дублет ($\lambda_1=5790,66 \text{ \AA}$, $\lambda_2=5769,60 \text{ \AA}$) и синий триплет ($\lambda_1=4358,33 \text{ \AA}$, $\lambda_2=4347,49 \text{ \AA}$, $\lambda_3=4339,22 \text{ \AA}$) - рассчитать углы поворота решетки для наблюдения линий на оптической оси камеры в первом и втором дифракционных порядках. Измерить расщепления в дублете и триплете для определения дисперсии в первом и втором дифракционных порядках.

3. Измерить изотопические дублеты H_{α} и H_{β} линий серии Бальмера в первом и втором дифракционных порядках.

4. Пользуясь формулой (59) вычислить величину изотопического сдвига $H_{\alpha} - D_{\alpha}$, $H_{\beta} - D_{\beta}$ линий. Вычислить, пользуясь формулой (41) расстояние между компонентами тонкой структуры линии H_{α} . Сравнить результаты расчета с данными эксперимента.

5. Пользуясь соотношением

$$\frac{m_e}{M_H} = 2 \frac{\Delta \lambda}{\lambda} ,$$

вычислить отношение масс электрона и протона, используя экспериментально найденные значения $\Delta \lambda$ и вычисленные значения $\Delta \lambda$. Сравнить результаты.

Задача №9 может выполняться в различных вариантах– с использованием многоканальной (ПЗС – линейка) или фотографической регистрации спектра ; конкретное задание и инструкции по выполнению задачи – непосредственно на установке.