

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3.08

### ИЗУЧЕНИЕ СПЕКТРОВ АТОМОВ РТУТИ И НЕОНА, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКРАНИРОВАННОГО ЗАРЯДА ЯДРА АТОМА НЕОНА

#### 1. Цель работы

Целью настоящей работы является изучение линейчатых спектров атомов, определение длин волн спектра неона с помощью построения градуировочного графика для монохроматора УМ – 2 по спектру ртути, определение экранированного заряда ядра атома неона.

#### 2. Краткая теория

Положение линий в атомных спектрах строго может быть объяснено только на основе квантовых представлений. Квантовая механика показывает, что энергия электронов в атоме может принимать не любые, а только некоторые определенные значения, образующие дискретный набор. Состояния с различными значениями энергии называются энергетическими уровнями. Каждое стационарное состояние электрона в атоме определяют четыре квантовых числа:

$n$  – главное квантовое число, возможные значения – целые положительные числа,  $n = 1, 2, 3, \dots$  ;

$\ell$  – орбитальное квантовое число. При данном  $n$  это число может принимать значения  $\ell = 0, 1, 2, \dots, n - 1$  (всего  $n$  значений). Орбитальное квантовое число определяет момент импульса электрона в атоме

$$L = \hbar \sqrt{\ell(\ell + 1)};$$

$m$  – магнитное квантовое число. При данном  $\ell$  квантовое число  $m$  может принимать  $(2\ell + 1)$  разных значений:  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm \ell$ . Магнитное квантовое число определяет проекцию момента импульса электрона в атоме на произвольное направление в пространстве

$$L_z = m \hbar;$$

$m_s$  – спиновое квантовое число, равное для электронов  $\pm 1/2$ . Спиновое квантовое число определяет проекцию собственного момента импульса электрона на произвольное направление в пространстве:

$$L_{s_z} = m_s \hbar.$$

Для обозначения главного квантового числа  $n$  используются целые положительные числа:  $n = 1, 2, 3 \dots \infty$ . Для обозначения числового значения орбитального квантового числа ( $\ell = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$ ) используются строчные буквы латинского алфавита:  $s, p, d, f, g, h, \dots$ , соответственно.

Энергия электрона в атоме водорода зависит только от главного квантового числа  $n$ . В многоэлектронных атомах энергия электронов определяется, в основном, двумя квантовыми числами:  $n$  и  $\ell$ .

Состояние, в котором электрон обладает минимальной энергией, называется основным состоянием ( $1s$  в атоме водорода). Чтобы перевести электрон из основного состояния в возбужденное (т.е. состояние с большей энергией), ему необходимо сообщить энергию. Передача энергии осуществляется, например, за счет теплового соударения атомов, столкновения атома с достаточно быстрым электроном, за счет

поглощения атомом фотона и так далее. При обратном переходе электрона, т.е. переходе с более высокого уровня на более низкий (по шкале энергий), атом излучает квант энергии, частота которого, а, следовательно, и длина волны, зависят от разности энергий уровней, между которыми происходит переход. Опыт показывает, что наличие свободных состояний на более низких энергетических уровнях – условие необходимое, но недостаточное, для переходов электронов, которые сопровождаются излучением. Излучение возникает лишь в том случае, если квантовые характеристики атома до и после излучения удовлетворяют правилам отбора. Эти правила следуют из законов сохранения, в частности, из закона сохранения момента импульса.

Правила отбора состоят в том, что разрешены только такие переходы, при которых орбитальное квантовое число изменяется на единицу, а магнитное квантовое число – на единицу или не изменяется:  $\Delta \ell = \pm 1$ ,  $m = 0, \pm 1$ . Главное квантовое число при этом может претерпевать любые изменения. Правилами отбора запрещен, например, переход  $2s \rightarrow 1s$ , при котором  $\Delta \ell = 0$ .

Спектры испускания и поглощения светящихся газов являются линейчатыми, причем линии, определяющие длину волны излученного (поглощенного) кванта энергии, расположены в спектре группами или сериями. Длины волн всех линий спектра водородного атома могут быть точно представлены так называемой серийной формулой:

$$\frac{1}{\lambda} = R \cdot \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right), \quad (3.08.1)$$

где  $\lambda$  – длина волны перехода,  $n_1$  и  $n_2$  – целые положительные числа, определяющие, соответственно, серию и линию в серии

наблюдаемого спектра, и равные главным квантовым числам состояний, между которыми происходит переход электрона,

$R = 1,0973731 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$  – постоянная Ридберга.

Формула (3.08.1) применима не только к атому водорода, но и к водородоподобной системе, состоящей из ядра с зарядом  $Ze$  и одного электрона, вращающегося вокруг ядра ( $Z$  – атомный номер элемента,  $e$  – заряд электрона). В этом случае формула (8.1) имеет вид:

$$\frac{1}{\lambda} = Z^2 R \cdot \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (3.08.2)$$

У нейтрального атома неона десять электронов ( $Z = 10$ ) и спектр однократно ионизированного атома неона с достаточной точностью можно описать формулой (3.08.2), учитывая экранирующее действие других электронов на заряд ядра:

$$\frac{1}{\lambda} = (Z - \sigma)^2 R \cdot \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right), \quad (3.08.3)$$

В этой формуле  $\sigma$  – постоянная экранирования. Смысл постоянной экранирования заключается в том, что в тяжелом атоме, содержащем  $Z$  электронов, на электрон, совершающий переход, действует не весь заряд ядра  $Ze$ , а эффективный заряд  $(Z - \sigma)e$ , ослабленный экранирующим действием остальных электронов, остающихся в оболочке.

## 2. Выполнение работы

**Необходимые приборы:** монохроматор – УМ-2, ртутная лампа ДРШ-250, неоновая лампа, пульт управления.

**Описание прибора.** Для измерения длин волн спектральных линий в работе используется стеклянно-призменный монохроматор УМ-2, предназначенный для спектральных

исследований в диапазоне длин волн от 380 до 1000 нм. В состав прибора входят следующие основные части (рис. 1):

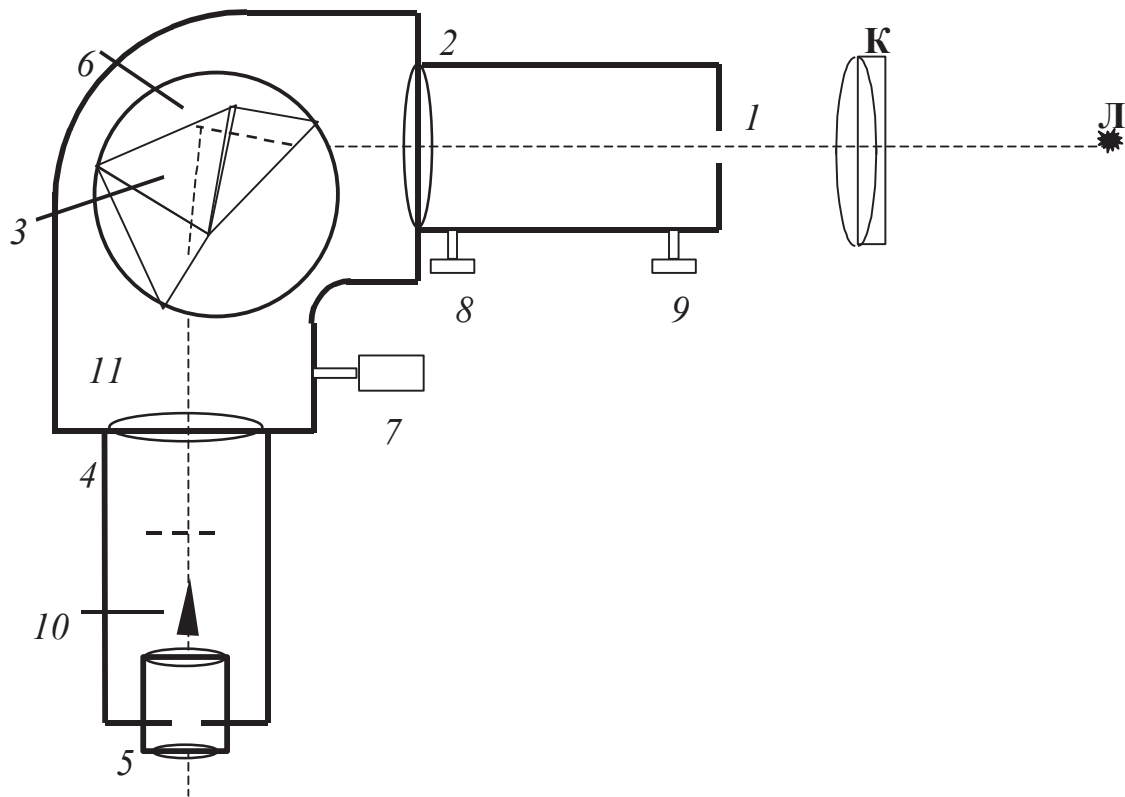


Рис. 1. Схема монохроматора УМ-2

1. входная щель 1, снабжённая микрометрическим винтом 9, рабочая ширина щели равна 0,02 – 0,03 мм;

2. коллиматорный объектив 2, снабжённый микрометрическим винтом 8. Винт 8 позволяет смещать объектив относительно щели при фокусировке спектральных линий;

3. сложная спектральная призма 3, установленная на поворотном столике 6;

4. поворотный столик 6, который вращается вокруг вертикальной оси при помощи вертикального микрометрического винта 7 с отсчётным барабаном;

5. зрительная труба, состоящая из объектива 4 и окуляра 5. Объектив 4 даёт изображение входной щели в своей фокальной

плоскости. В этой плоскости расположен указатель 10. Изображение рассматривается через окуляр 5;

6. массивный корпус 11, предохраняющий прибор от повреждений и загрязнений;

7. оптическая скамья, на которой могут перемещаться рейтеры с источником света  $L$  и конденсатором  $K$ , служащим для концентрации света на входной щели. Источник света рекомендуется располагать на расстоянии 40 – 50 мм от щели, а конденсор на расстоянии 13 – 15 см от источника. В этом случае проходящий через входную щель световой пучок хорошо заполняет конденсор и призму;

9. пульт управления, служащий для питания источника света и осветительной системы монохроматора. На пульте имеются гнезда для включения осветителей: неоновой лампы, лампы накаливания и ртутной лампы (ртутная лампа зажигается при нажатии кнопки на пульте). Тумблеры, расположенные на основании спектрометра, позволяют включать лампочки осветителей шкал и указателя спектральных линий. Яркость освещения указателя регулируется реостатом.

Спектрометр **УМ – 2** относится к числу точных приборов, он требует бережного и аккуратного обращения.

**Порядок выполнения работы.** Проведите градуировку спектрометра, используя ртутную лампу. Установите перед конденсором ртутную лампу, зажгите её (включите тумблер на пульте управления и нажмите кнопку).

Включите освещение указателя зрительной трубы и освещение микрометрического винта (на основании спектрометра).

Смотря в окуляр зрительной трубы спектрометра, вращением барабана 7 добейтесь совмещение острия указателя с серединой спектральной линии и против черты индекса произведите отсчёт по барабану.

Данные записать в таблицу 1.

Таблица 1

Спектральные линии ртути и результаты градуировки

№	Яркость и окраска линий	$\lambda$ , нм	$\varphi$ , град
1	Яркая, красная	692,0	
2	Яркая, жёлтая, двойная	577,0 579,0	
3	Яркая, зелёно-жёлтая	546,1	
4	Слабая, голубая	491,6	
5	Яркая, сине-фиолетовая	435,8	
6	Слабая, фиолетовая	404,7	

По данным таблицы 1 постройте градуированную кривую. Её следует строить на листе миллиметровой бумаги. По оси **OX** откладывают градусные деления  $\varphi$  барабана, а по оси **OY** длину волн соответствующих линий.

Перед конденсором установите неоновую лампу, подключите её к блоку питания. Сфокусировав изображение лампы на щель, наблюдайте спектр в окуляре зрительной трубы. Совмещая остриё указателя с серединой соответствующей спектральной линии, произведите отсчёт по шкале барабана.

Получите отсчёты и занесите в таблицу 2.

Таблица 2

## Характеристики линий неона и результаты измерений

№	Яркость и окраска линий	$n_1$	$n_2$	$\varphi$	$\lambda_{\text{экс}}$ , нм
1	Яркая, красная	2	3		
2	Жёлтая	2	4		
3	Зелёная, правая из двух одинаковых линий	2	5		

Воспользовавшись градуировочным графиком, определите длины волн в спектре неона  $\lambda_{\text{экс}}$ .

Подставив поочередно полученные значения  $\lambda_{\text{экс}}$  и соответствующие значения  $n_1$  и  $n_2$ , приведённые в таблице 2, в формулу (3.08.3), вычислите три значения ( $Z$ -б). Определите три значения экранированного заряда ядра атома неона по формуле:

$$Q = (Z - \sigma) \cdot e. \quad (3.08.4)$$

Из полученных значений рассчитайте среднее арифметическое значение  $\langle Q \rangle$  среднеарифметическую абсолютную погрешность:

$$E = \frac{\langle \Delta Q \rangle}{\langle Q \rangle}, \quad (3.08.5)$$

Запишите окончательный результат в виде:

$$Q = \langle Q \rangle \pm \langle \Delta Q \rangle. \quad (3.08.6)$$



## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ.

1. Что называется энергетическим уровнем?
2. Пояснить смысл постоянной экранирования?
3. Чем определяется длина волны спектральной линии атома?
4. Какие значения может принимать орбитальное квантовое число?
5. Пояснить устройство монохроматора УМ-2.
6. Рассказать порядок выполнения работы.
7. Как построить градуировочную кривую?
8. Задача. Используя принцип Паули, указать, какое максимальное число электронов в атоме могут иметь одинаковыми следующие квантовые числа: 1)  $n, \ell, m_\ell, m_s$ ; 2)  $n, \ell, m_\ell$ ; 3)  $n, \ell$ ; 4)  $n$ .
9. Задача. В атоме вольфрама электрон перешёл с  $M$  – слоя на  $L$  – слой. Принимая постоянную экранирования равной 5,5, определить длину волны  $\lambda$  испущенного фотона. Порядковый номер вольфрама в таблице Менделеева  $Z = 74$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трофимова Т. И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1985 – 432с.
2. Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 3. – М.: 1982 – 304с.
3. Ландсберг Г. С. Оптика. М.: Недра, 1976 – 928 с.