

Лабораторная работа № 24

Градуировка спектро스코па и определение длины волны спектральных линий

Цель: научиться пользоваться спектроскопом, провести градуировку, исследовать линейчатые спектры поглощения и излучения, ознакомиться с элементами качественного спектрального анализа.

Место проведения: кабинет физики.

Оборудование: спектроскоп, спектральные трубки, индукционная катушка, источник постоянного тока на 6 – 12 В, таблица длин волн спектральных линий газа в трубках (гелий, ртуть, водород и т.д.), источник света (лампа накаливания), спиртовая горелка, пробирка с раствором КМО₄.

Виды самостоятельной работы: проведение эксперимента, проведение градуировки, заполнение значениями физических величин таблицы.

Краткая теория

В соответствии с первым постулатом Бора существуют некоторые стационарные состояния атома, находясь в которых он не излучает энергии (постулат стационарных состояний). Стационарным состояниям атома соответствуют стационарные орбиты, по которым движутся электроны. При движении по стационарным орбитам, электроны, несмотря на наличие у них ускорения, не излучают электромагнитных волн.

Второй постулат Бора (правило квантования орбит): в стационарном состоянии атома электрон, двигаясь по круговой орбите, должен иметь квантованные значения момента импульса, удовлетворяющие условию:

$$m_e v_n r_n = \frac{nh}{2\pi},$$

где r_n – радиус n -ой орбиты; m_e – масса электрона; v_n – его скорость; $m_e v_n r_n$ – момент импульса (количество движения) электрона на этой орбите; n – целое число отличное от нуля.

Третий постулат Бора (условие частот Бора): атом излучает (поглощает) квант электромагнитной энергии, когда электрон переходит с орбиты с большим (меньшим) на орбиту с меньшим (большим) n . Энергия кванта равна разности энергий электрона на орбитах до и после перехода:

$$E = h\nu = E_m - E_n.$$

Частота кванта (фотона), возникающего или поглощаемого при переходе равна: $\nu = (E_m - E_n)/h$.

Абсолютная величина E_n называется энергией связи электрона в атоме, находящегося в состоянии с данным n . Наименьшее из E_n отвечает основному или нормальному состоянию системы. Атом в основном состоянии способен только поглощать энергию.

Состояние атома, в котором он имеет энергию большую, чем в основном состоянии, называется возбужденным. Спектры поглощения соответствуют переходам атомов из основного в возбужденное состояние. Спектры испускания (эмиссионные) – переходам из возбужденного состояния в основное. Спектр испускания атома является линейчатым. Изучение спектров газов показали, что каждому из них соответствует вполне определенный линейчатый спектр.

Спектры являются источниками различной информации. Для атомного спектрального анализа используются как спектры испускания, так и спектры поглощения. В медицинских целях эмиссионный анализ служит для определения микроэлементов в тканях организма, небольшого количества атомов металлов в консервированных продуктах с гигиенической целью, некоторых элементов в трупных тканях для целей судебной медицины.

Энергетический спектр свободной молекулы является более сложным, чем у атома. Он состоит из совокупности более или менее широких полос, которые представляют собой тесно расположенные линии. Сложность молекулярных спектров обусловлена большим разнообразием движений в молекуле и, следовательно, энергетических переходов.

Молекулярный спектр определяется наличием в молекуле движения электронов, колебательным движением атомов около их положения равновесия, вращательным движением молекулы как единого целого и вращением одних частей молекул относительно других – внутреннее вращение.

Этим трем видам движения соответствуют три типа уровней энергии: $E_{эл}$, $E_{кол}$, $E_{вр}$. Полная энергия молекулы равна их сумме:

$$E = E_{эл} + E_{кол} + E_{вр}. \quad (4)$$

Все виды внутренней энергии молекулы квантованы, т.е. они принимают дискретный ряд значений. Указанные три типа энергии не

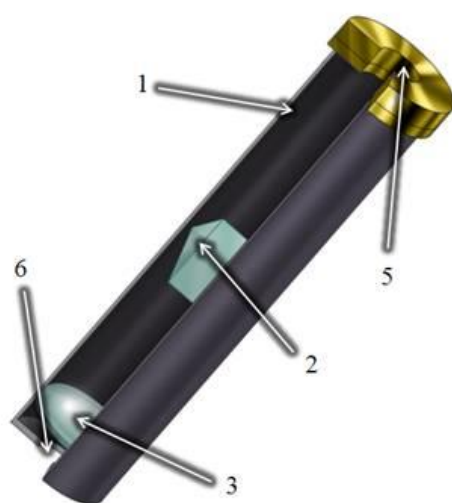
независимы. Поэтому запись полной энергии в виде суммы энергий (4) носит приближенный характер.

Электронно-колебательные спектры молекул связаны с электронными переходами в её атомах, колеблющихся около своих равновесных положений. Наложение колебательного спектра на электронный проявляется в том, что каждой линии электронного перехода соответствует ряд колебательных линий, образующих полосу. Вращательно-колебательные спектры молекул образуются при изменении колебательного состояния, которое практически всегда сопровождается изменением их вращательного состояния. Частота вращательного спектра по порядку величины в сотни и тысячи раз меньше, чем колебательного. Наложение линий вращательного спектра на линии колебательного спектра превращает их в полосы. Возникает линейчато-полосатая структура вращательно-колебательного спектра. При очень тесной связи между атомами, которая наблюдается в жидком и твердом состояниях вещества излучаемый спектр будет непрерывным (сплошным).

Изучение спектров молекул дает сведения того же характера, что и изучение атомных спектров. Дополнительными являются сведения об электронных уровнях в молекуле, о распределении плотности электронов в молекулах и природе химических связей.

Молекулярные спектры поглощения являются важным источником информации о биологически функциональных молекулах и широко используются в современных биологических и биофизических исследованиях.

Описание установки



Устройство спектроскопа прямого зрения

1. Металлическая трубка.
2. Призма.
3. Собирающая линза.
4. Подвижный держатель с винтом.
5. Коллиматорная щель.
6. Крышка с окулярным отверстием.

Рис. 1

Простейшим прибором, позволяющим проводить спектральный анализ, является спектроскоп (рис.1).

Дисперсия света осуществляется в призме 2. Дисперсией света называется явление зависимости показателя преломления n вещества от частоты света или от длины волны λ в вакууме: $n = f(\nu) = \varphi(\lambda)$, где ν – частота световой волны.

Лучи одного цвета будут выходить из призмы параллельными пучками и попадать в зрительную трубу 3. В фокальной плоскости линзы 6 собираются лучи одинаковых длин волн, образуя спектр, увеличенное изображение которого наблюдается через окулярную линзу 7.

Если в спектроскопе, имеющим коллиматорную и зрительную трубы, в фокальной плоскости линзы 6 поместить щелевую диафрагму, то передвигая щель вдоль спектра, можно выделить из спектра свет определенной длины волны. Такой спектральный прибор называется монохроматором.

Вместо линзы 7 можно расположить фотоприставку так, чтобы изображение спектра фокусировалось на нее. Спектральный прибор, предназначенный для фотографирования спектров, называется спектографом. Если после щели монохроматора расположить фотоприемник, то получится спектрофотометр, позволяющий анализировать интенсивность спектральных линий (точнее участков спектра в узком диапазоне длин волн).

Для того чтобы с помощью спектроскопа можно было определить длину волны линий исследуемого спектра, спектроскоп необходимо проградуировать, т.е. установить зависимость между длинами волн спектральных линий наблюдаемых в поле зрения возле указателя (маркёра) в виде линий или треугольного острия и делениями шкалы n отсчётного устройства спектроскопа.

Для градуировки используются линии спектров многих газов, которые хорошо известны, например, водорода. Проградуировать спектроскоп – значит построить график у которого на оси Y отложена длина волны, а на оси X показания шкалы n отсчётного механизма спектроскопа.

Для исследования линейчатого спектра какого-либо вещества с помощью спектроскопа получают спектр этого вещества и записывают в таблицу положение линий спектра на шкале спектроскопа. Для исследования спектров поглощения перед коллиматором необходимо поставить осветитель. В окуляр спектроскопа будет виден сплошной

спектр. Между щелью коллиматора и осветителем помещается исследуемое вещество, например, кювета с раствором крови. Те участки, которые поглощаются этим веществом, не будут видны. Записав границы поглощенных участков спектра или положение темных линий (линии поглощения) по шкале спектроскопа, с помощью градуировочной кривой определяют длины волн поглощения.

Спектральный анализ можно производить как по линейчатым спектрам испускания, так и по линейчатым спектрам поглощения. Существует каталог спектров испускания и поглощения всех элементов. Сравнивая полученный спектр с табличным, можно определить состав вещества (качественный анализ).

Количественный спектральный анализ проводится путем фотометрирования (определение интенсивности) спектральных линий: яркость линий пропорциональна количеству соответствующего элемента в исследуемом образце.

Порядок выполнения работы

Градуировка спектроскопа

1. Ознакомиться с устройством спектроскопа.
2. Определить цену деления отсчетного устройства спектроскопа.
3. Установить осветитель (лампу накаливания) перед трубой коллиматора спектроскопа с помощью окуляра добиться четкого изображения спектра и маркера (пилообразный выступ или нить) в поле зрения окуляра. Научиться снимать отсчет с отсчетного устройства в любом месте наблюдения спектра.

4. Перед коллиматором вместо осветителя поставить спектральную трубу с газом с известным спектром. Подключить высокое напряжение к спектральной трубке.

ВНИМАНИЕ! Соблюдать осторожность – высокое напряжение опасно для жизни!

5. Определить положение всех спектральных линий на шкале спектроскопа и данные наблюдений занести в таблицу:

Цвет	Длина волны λ , нм	Положение наблюдаемой спектральной линии по шкале спектроскопа n, мм

6. Выключить спектральную трубку.

7. Построить градуировочную кривую спектроскопа в координатах λ , n.

2. Исследование спектров испускания.

1. Спектральную трубку (гелий, неон) поместить перед щелью коллиматора, включить в сеть.
2. Определить положение линий спектра по шкале спектроскопа, данные занести в таблицу:

Вещество	Линии спектра (цвет или номер)	Положение линий на шкале спектроскопа n, мм	Длина волны λ , нм

3. Выключить источник тока.
4. С помощью полученной ранее градуировочной кривой определить длины волн в спектре исследуемого источника излучения.
5. Сопоставить полученные данные с табличными, если таковые имеются.
6. Прodelать то же самое для спектра излучения вещества, например, поваренная соль, помещенного в пламя спиртовой горелки.

3. Исследование спектров поглощения.

1. Между осветителем (лампой накаливания) и щелью коллиматора поместить исследуемое вещество (раствор $KmnO_4$).
2. По шкале спектроскопа определить положение поглощенных участков спектра. Данные занести в таблицу:

Вещество	Расположение поглощенных участков спектра по шкале спектроскопа n, мм	Длины волн и участки спектра, поглощенные данным веществом, нм

3. С помощью градуировочной кривой определить поглощенные длины волн и границы поглощенных участков спектра (нм). Результаты занести в таблицу.

4. Исследование спектра излучения лампы дневного света (элементы спектрального анализа).

Дополнительное оборудование: ртутно-кварцевая лампа ПРК, лампа дневного света (лампы помещены в футляры с отверстиями для

избежания большой освещенности рабочего места и поля зрения спектроскопа через линзы).

1. Расположить лампу дневного света перед щелью коллиматора, зажечь лампу.
2. Определить положение линий спектра по шкале спектроскопа. Данные занести в таблицу:

Источник излучения	Линии спектра	Положение на шкале спектроскопа n, мм

3. Вместо лампы дневного света перед щелью коллиматора поместить лампу ПРК. Включить ее.

Примечание. Избегать прямого попадания ультрафиолетового излучения ПРК в глаза.

4. Определить положение линий спектра паров ртути, находящихся в ПРК – лампе, и занести данные в таблицу.
5. Сопоставить спектры излучения лампы дневного света и лампы ПРК и сделать заключение, имеются ли в лампе дневного света пары ртути.

Требования к содержанию отчета

Структура отчёта:

- название лабораторной работы;
- цель работы;
- оборудование;
- ход работы;
- вывод;
- ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Из каких составных частей состоит спектроскоп и каково их назначение?
2. Вычертить ход лучей в спектроскопе.
3. Что такое спектр излучения?
4. Что такое спектр поглощения?
5. Объяснить происхождение линейчатых, сплошных и полосатых спектров.

6. Что такое спектральный анализ?

7. Как произвести качественный спектральный анализ?

Количественный анализ?

8. Как градуировать спектроскоп?

9. Как определить длину волны линии в спектре излучения какого-либо вещества?