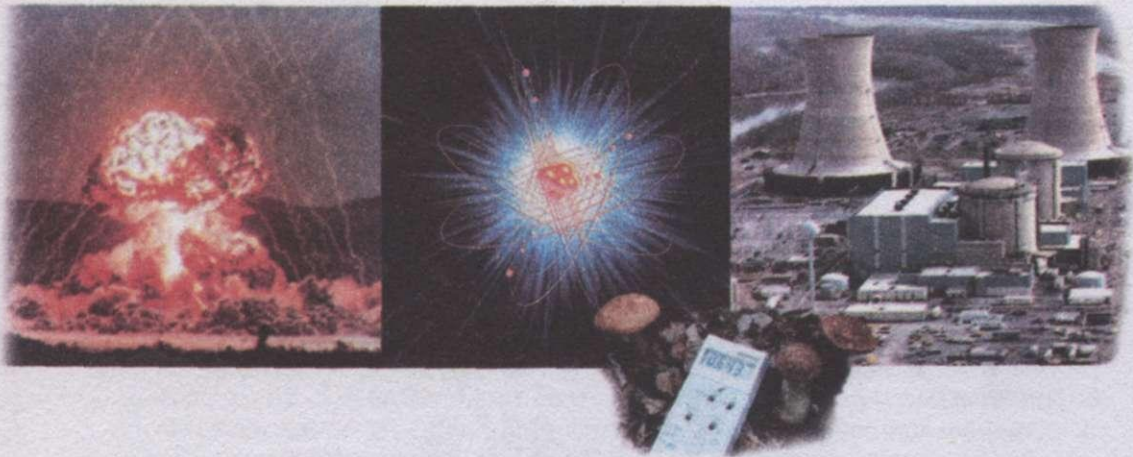


# АТОМНА І ЯДЕРНА ФІЗИКА





## Розділ 5 Атомна і ядерна фізика

- Історія вивчення атома
- Квантові постулати Бора
- Модель атома Гідрогену за Бором. Труднощі теорії Бора
- Спектроскоп. Спектральний аналіз
- Рентгенівське випромінювання
- Атомне ядро. Ядерні сили. Енергія зв'язку атомних ядер
- Радіоактивність. Закон радіоактивного розпаду
- Ядерні реакції
- Ланцюгова реакція поділу ядер Урану
- Фізичні основи ядерної енергетики
- Дія радіоактивного випромінювання на живий організм
- Елементарні частинки, їх класифікація та характеристика

### § 43. ІСТОРІЯ ВИВЧЕННЯ АТОМА

З попередніх класів вам вже багато відомо про атом, його будову і властивості. Тому ми коротко зупинимося на історичних етапах вивчення атома.

**Г. Гейгер**, колега та учень знаменитого фізика **Е. Резерфорда**, згадуючи якось про важливу подію в історії фізики, що відбулася у перших числах 1911 р., написав у листі до іншого учня свого вчителя, **Дж. Чедвіка**: «Одного разу Резерфорд увійшов у мою кімнату у досить гарному настрої і сказав, що він тепер знає, який вигляд має атом...»

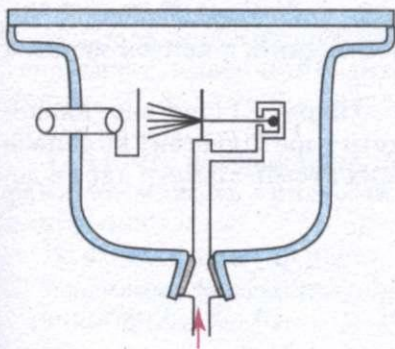
Модель Резерфорда була не першою в історії фізики. Учитель Резерфорда, **Дж. Томсон**, який відкрив існування в атомах електронів — найменших частинок, що несуть негативний заряд, пропонував вважати атом позитивно зарядженою кулею-сферою, в якій «плавають» електрони. Позитивний заряд в уяві Томсона був розподілений по всьому об'єму кулі.

Німецький фізик **Ф. Ленард** у 1903 р. запропонував модель «пустого» атома, всередині якого літають якісь ніким не встановлені (ні раніше, ні тепер) нейтральні частинки, складені із взаємно зрівноважених позитивних та негативних зарядів. Ленард навіть придумав назву для цих неіснуючих частинок — дінаміді.

Проте модель атома Резерфорда була єдиною, право на існування якої доводилося строгими, простими і красивими дослідами. До свого відкриття Резерфорд прийшов не відразу. Працюючи майже все перше десятиліття XX ст. у Канаді (до переїзду в Англію) разом із хіміком **Ф. Содді**, Резерфорд вивчав явище радіоактивного розпаду атомів Радію, відкрите в останні роки XIX ст. у Франції **А. Беккерелем** та подружжям **Кюрі**. Як відомо, **П. Кюрі** і **М. Склодовська-Кюрі**, пропускаючи випромінювання від радію через магнітне поле, встановили, що частина променів відхиляється вгору від початкової траєкторії, а шлях інших залишається прямолінійним.

Резерфорд та Содді помістили шматок радію у більш сильне магнітне поле, ніж в експериментах, описаних вище, і з подивом помітили, що та частина випромінювання, яка до цього часу, вважалася, рухається прямолінійно, також розділилася на дві складові: одна частина летіла і далі прямолінійно, а інша — поверталася вниз від уявної лінії між полюсами магніту. Таким чином, із атомів Радію спонтанно випромінюються три види частинок або променів: негативно заряджені (ті, що відхиляються вгору), нейтральні і позитивно заряджені.

Знаючи силу магнітного поля та величину відхилення в полі частинок-променів, використовуючи спектральний аналіз (де природу речовини визначають за характерним для неї світінням), Резерфорд і Содді довели, що позитивно заряджена частина випромінювання, що отримала назву  $\alpha$ -випромінювання, являє собою потік йонізованих атомів Гелію. Знаменитий англійський хімік **В. Рамзай** підтвердив висновки молодих учених.



Мал. 186

Всі експерименти і досліди Е. Резерфорда було виконано досить просто (мал. 186).  $\alpha$ -випромінювання від шматка радію, відхилене магнітним полем, проходило через тоненьку фольгу з алюмінію, міді, свинцю та інших металів і попадало на напівпрозорий екран, покритий шаром люмінофора.

У місцях попадання  $\alpha$ -частинок екран світився точковими спалахами. Кількість спалахів залежала від атомної маси елемента, з якого була зроблена фольга, — чим елемент важчий, тим менше і рідше світився екран.

Резерфорд попросив одного із своїх учнів, який спостерігав за спалахами (під час проведення цих дослідів ученому допомагали Гейгер і Марсден), особливо уважно слідкувати за віддаленими від центра частинами екрана, де, як спочатку здавалося, спалахи не відбуваються. До великої радості та гордості Резерфорда, ці спалахи, хоча їх було і небагато, вдалося помітити. Крім того, дослідники зареєстрували, що деякі із  $\alpha$ -частинок відскакують назад, і тому екран потрібно ставити перед фольгою, щоб було видно ці незвичайні випадки (мал. 187).

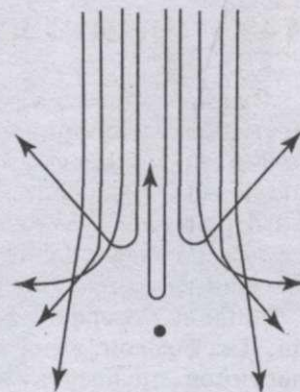
Одна із восьми частинок, що пролітала, поверталася назад. Можна лише дивуватися, як вченим вдалося не лише розгледіти це, а й підрахувати число таких випадків.

Це могло означати лише одне: в центрі будь-якого атома є маленьке, щільне, позитивно заряджене ядро, що відхиляє пролітаючу  $\alpha$ -частинку (також позитивно заряджену) близько від нього на досить великі кути, а інколи і взагалі повертає назад до джерела частинок, — і тоді виникають спалахи у дальніх частинах екрана, або на екрані, розміщеному перед фольгою.

Результати дослідів, які привели Резерфорда до планетарної будови атома, вчений виклав у великій статті «Розсіювання альфа- і бета-частинок у Речовині і Структура Атома», опублікованій у травні 1911 р. в англійському «Філософському журналі».

Резерфорд продовжував працювати далі, і завдяки клопіткій роботі він виводить формулу, що зв'язує число  $\alpha$ -частинок, відхилених на певний кут, із зарядом ядер речовини фольги-мішені. Тепер вже можна було дослідно визначити природу матеріалу мішені. У руках дослідників з'явився перший ядерний метод хімічного аналізу!

Вдалося нарешті оцінити розміри найменшого ядра — Гідрогену, навколо якого обертається лише один електрон. Діаметр ядра Гідрогену виявився трохи більшим, ніж  $1,3 \cdot 10^{-13}$  см. У більш важких атомів діаметр ядра в декілька тисяч разів більший.



Мал. 187

### ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Хто з учених займався вивченням будови атома?
2. Які існували моделі атома?
3. У чому суть дослідів Резерфорда?
4. Які розміри має атом Гідрогену?

**§ 44. КВАНТОВІ ПОСТУЛАТИ БОРА**

Отже, тепер вам відомо, що англійський фізик Е. Резерфорд у 1911 р. експериментально довів існування в атомі позитивно зарядженого ядра. Виявлення атомного ядра привело Резерфорда до припущення, що атом складається з центрального ядра, в якому зосереджені майже вся маса атома і весь його позитивний заряд. Навколо ядра, подібно до планет навколо Сонця, рухаються окремі електрони. Число електронів у кожному атомі таке, що їх сумарний негативний заряд дорівнює позитивному заряду ядра, тому в цілому атом нейтральний. Ця модель будови атома отримала назву планетарної.

Дослід Резерфорда, звичайно, нічого не говорив про рух електронів. Але оскільки статична модель атома, що складається з позитивного ядра і електронів, неможлива (електрони притягнуться до позитивного ядра!), Резерфорд припустив, що електрони рухаються навколо ядра.

Подальше вивчення планетарної моделі атома Резерфорда показало, що в рамках класичної фізики вона суперечить ряду відомих експериментальних фактів.

Перша суперечність полягає в тому, що, згідно з теорією Максвелла, будь-який електричний заряд, що рухається прискорено, повинен безперервно випромінювати електромагнітні хвилі. Електрони, які обертаються навколо ядра, рухаються з доцентровим прискоренням і, отже, згідно з електродинамікою Максвелла, повинні безперервно випромінювати електромагнітні хвилі, у той час як у нормальному стані атоми не випромінюють.

Другою суперечністю є те, що повсякденний досвід свідчить про стійкість атомів. Проте внаслідок випромінювання електромагнітних хвиль енергія електронів повинна безперервно зменшуватися і вони повинні наближатися до ядра і врешті-решт «впасти» на нього. Розрахунки показують, що процес «падіння» електронів на ядро має завершитися за  $10^{-8}$  с. Таким чином, факт тривалого існування атомів несумісний з планетарною моделлю атома Резерфорда, якщо її розглядати з позиції класичної електродинаміки.

Ці суперечності свідчать про те, що класична електродинаміка і механіка Ньютона непридатні до пояснення явищ в атомі.

Тому видатний датський фізик **Н. Бор** у 1913 р. запропонував новий підхід до пояснення випромінювання світла атомами, який заснований на квантових уявленнях **М. Планка**.

Н. Бор залишив планетарну модель, але доповнив її положеннями, які, хоча і суперечать класичній електродинаміці Максвелла, відповідають дослідним даним. Ці положення, названі **постулатами Бора**, можна сформулювати таким чином.

**1. Атоми, не зважаючи на те, що електрони в них рухаються з прискоренням, можуть тривалий час знаходитися в станах, в яких вони не випромінюють.**

Ці стани отримали назву — **стаціонарний, або дозволений стан**.

**У кожному із стаціонарних станів атом може мати тільки строго певну енергію:  $E_1, E_2, E_3, \dots$**

Цим енергіям відповідають, як виявилось, стаціонарні, або дозволени, орбіти електронів, радіуси яких відносяться як квадрати чисел натурального ряду:

$$R_1 : R_2 : R_3 : \dots = 1^2 : 2^2 : 3^2 : \dots$$

2. Атом може переходити з одного стаціонарного стану в інший стаціонарний стан. Під час переходу атома з  $m$ -го стаціонарного стану з більшою енергією в  $n$ -й стан з меншою енергією атом випромінює. Частота випромінювання визначається формулою

$$\nu = \frac{E_m - E_n}{h},$$

де  $h$  — стала Планка,  $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  Дж  $\cdot$  с =  $4,136 \cdot 10^{-15}$  еВ  $\cdot$  с.

Для переходу атома із стаціонарного стану з меншою енергією в стаціонарний стан з більшою енергією атому необхідно передати порцію (квант) енергії:

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

Стан атома, якому відповідає найменша енергія  $E_1$ , називають **основним станом**, а стани, яким відповідають вищі енергії ( $E_2, E_3, \dots$ ), — **збудженими**.

Існування в атомі стаціонарних станів з різними енергіями отримало блискуче експериментальне підтвердження у тому ж 1913 р. у дослідях, проведених **Дж. Франком** і **Г. Герцем**.

Якщо постулати Бора справедливі, то при зіткненні з електроном атом повинен забирати енергію не від будь-яких електронів, а тільки від тих, які у момент зіткнення мають кінетичну енергію, що дорівнює різниці енергій атома в двох його стаціонарних станах:

$$\frac{m_e v^2}{2} = E_m - E_n.$$

У цьому випадку зіткнення атома з електроном буде непружним. Зіткнення атома з електронами, енергія яких менша за  $E_m - E_n$ , повинно відбуватися без передачі енергії атому (пружне зіткнення).

Якщо ж постулати Бора несправедливі, то зіткнення атома з електронами завжди повинне супроводжуватися передачею енергії.

У своїх дослідях Франк і Герц «обстрілювали» електронами атоми ртуті. Для цього з посудини, в якій знаходилася крапелька ртуті (мал. 188), ретельно відкачували повітря. Простір усередині трубки було заповнено в основному розрідженими парами ртуті. Джерелом електронів слугував підігрівний катод  $K$ . Прискорюючу напругу  $U$  підводили до ділянки катод  $K$  — циліндр  $A$ , що є в даному випадку анодом. Прискорюючу напругу можна було регулювати за допомогою потенціометра  $R$ . Набута електроном в прискорюючому полі кінетична енергія дорівнює роботі поля:

$$\frac{m_e v^2}{2} = eU.$$

Усередині циліндра електричного поля немає, і електрони, що влітають у нього, рухаються за інерцією з постійною швидкістю, але можуть стикатися з атомами ртуті.

Оскільки циліндр має достатньо велику довжину, то електрон під час руху в ньому неодмінно зазнає принаймні одне зіткнення з атомом. Для того, щоб встановити, якими є зіткнення електронів з атомами — пружними або непружними, — Франк і Герц застосували дотепний експериментальний метод, що отримав назву — **метод гальмівного поля**.

Ідея цього методу полягає в наступному. Якщо на електрод  $B$ , що знаходиться за циліндром зіткнень (мал. 188), названий колектором, подати невеликий (близько  $0,5\text{ В}$ ) негативний потенціал щодо циліндра, то електричне поле між циліндром зіткнень і колектором гальмуватиме рух електронів, які вилітають з циліндра. Подолати це гальмівне поле і досягти колектора можуть тільки ті електрони, кінетична енергія яких більша за  $0,5\text{ еВ}$ .

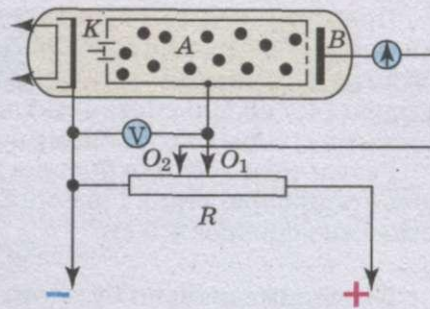
Під час досліду виявилось, що при плавному збільшенні напруги між катодом і циліндром сила струму в колі колектора, вимірювана мікроамперметром, змінюється так, як показано на графіку (мал. 189).

Спочатку зі зростанням прискорюючої напруги сила струму збільшується (ділянка  $OA$ ). Це означає, що зіткнення електронів з атомами ртуті відбуваються без передачі енергії (пружні зіткнення) і електрони, які вилітають з циліндра, долають гальмівне електричне поле на ділянці циліндр — колектор. Проте при прискорюючій напрузі  $4,9\text{ В}$  (точка  $A$  на графіку) сила струму в колі колектора різко зменшується.

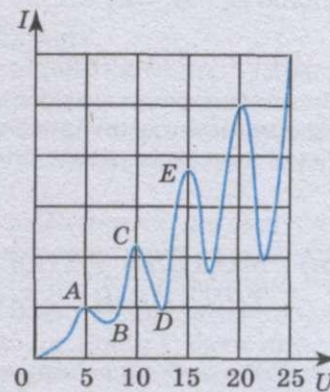
*Про що свідчить цей факт? Йому може бути тільки одне пояснення. При кінетичній енергії, яка сягнула значення  $4,9\text{ еВ}$ , зіткнення електронів з атомами ртуті набули непружного характеру і атоми, забравши у електронів їх кінетичну енергію, перейшли у новий стаціонарний стан. Електрони ж, що віддали повністю свою кінетичну енергію, дифундують з циліндра, але не можуть подолати гальмівне електричне поле і врешті-решт осідають на циліндр.*

При подальшому збільшенні напруги між катодом і циліндром сила струму в колі колектора знову зростає. Це означає, що при енергіях, більших за  $4,9\text{ еВ}$ , електрони, зазнавши непружних зіткнень з атомами і віддавши їм частину своєї енергії, зберігають ще достатню енергію для подолання гальмівного поля між циліндром і колектором. Наприклад, при напрузі між катодом і циліндром  $6\text{ В}$  електрон, що влітає в циліндр, має енергію  $6\text{ еВ}$ . Зіткнувшись з атомом ртуті, електрон віддає атому  $4,9\text{ еВ}$  і буде мати енергію  $6\text{ еВ} - 4,9\text{ еВ} = 1,1\text{ еВ}$ , якої досить для подолання гальмівного поля. Тому при напругах між катодом і циліндром, більших за  $4,9\text{ В} + 0,5\text{ В} = 5,4\text{ В}$ , сила струму в колі колектора знов зростає (ділянка  $BC$ ).

Проте при напрузі  $9,8\text{ В}$  знову спостерігається різке зменшення сили струму в колі колектора (ділянка  $CD$ ). Це викликано тим, що при такій напрузі кожен з електронів зазнає по два зіткнення з атомами і, віддавши кожному атому по  $4,9\text{ еВ}$ , не може подолати гальмівне поле між циліндром і колектором.



Мал. 188



Мал. 189

При напругах, більших за 9,8 В, сила струму в колі колектора знову почне зростати (ділянка  $DE$ ). Проте при напрузі 14,7 В знову спостерігатиметься зменшення сили струму в колі колектора. Це відбувається тому, що при енергії 14,7 еВ більшість електронів зазнають послідовно зіткнення з трьома атомами і, віддавши кожному по 4,9 еВ, не можуть подолати гальмівне поле.

Результати дослідів Франка і Герца підтверджують, що атоми ртуті мають стаціонарні стани і різниця енергії між двома першими енергетичними станами дорівнює 4,9 еВ:

$$E_2 - E_1 = 4,9 \text{ еВ.}$$

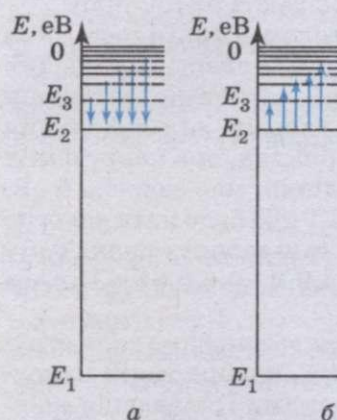
Експериментально було виявлено стаціонарні стани і у атомів інших елементів, а також виміряно різниці енергій між сусідніми станами. Так, виявилось, що для Калію  $E_2 - E_1 = 1,63 \text{ еВ}$ , для Натрію —  $E_2 - E_1 = 2,12 \text{ еВ}$ , для Гелію  $E_2 - E_1 = 21 \text{ еВ}$ .

### ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Вкажіть основні суперечності моделі атома Резерфорда положенням класичної фізики.
2. Сформулюйте постулати Бора і поясніть, для чого вони були введені.
3. Намалюйте схему і поясніть хід і результати дослідів Франка і Герца.

## § 45. МОДЕЛЬ АТОМА ГІДРОГЕНУ ЗА БОРОМ. ТРУДНОЩІ ТЕОРІЇ БОРА

Використовуючи закони механіки І. Ньютона і правило квантування, яке визначає можливі стаціонарні стани, Н. Бор зумів розрахувати допустимі радіуси орбіт електрона і енергії стаціонарних станів, які мають свій порядковий номер 1, 2, 3... . Мінімальний радіус орбіти визначає розміри атома. На мал. 190,  $a, б$  значення енергій стаціонарних станів (електрон-вольт) відкладено на вертикальних осях, у вигляді горизонтальних прямих наведено енергетичні стани або енергетичні рівні.



Мал. 190

Другий постулат Бора дає можливість розрахувати за відомими значеннями енергій стаціонарних станів частоти випромінювання атома Гідрогену. Теорія Бора узгоджує значення цих частот з експериментом. Усі частоти випромінювання атома Гідрогену приводять до ряду серій, кожна з яких утворюється під час переходу атома в один з енергетичних станів з усіх верхніх енергетичних станів (станів з більшою енергією).

Переходи до першого збудженого стану (на другий енергетичний рівень) з верхніх рівнів утворюють серію Бальмера. На мал. 190,  $a$  ці переходи зображено стрілками.

Червона, зелена і дві сині лінії у видимій частині спектра Гідрогену (мал. 191) відповідають переходам

$$E_3 \rightarrow E_2, E_4 \rightarrow E_2, E_5 \rightarrow E_2, E_6 \rightarrow E_2.$$





Мал. 191

Цю серію названо ім'ям **І. Бальмера**, який ще в 1885 р. на основі експерименту встановив, що частоти чотирьох ліній у видимій частині спектра Гідрогену можуть бути розраховані за такою формулою:

$$\nu = R \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right),$$

де  $R$  — деяка стала величина, яку називають сталою Рідберга;  $n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$ ;  $m \geq n + 1$ .

Ця формула отримала назву — **формула Бальмера**.

Поглинання світла — процес, протилежний випромінюванню. Атом, коли поглинає світло, переходить з нижчих енергетичних станів на вищі. При цьому він поглинає ті самі частоти, які випромінює під час переходу з вищих енергетичних рівнів на нижчі. На мал. 190, б стрілками показано переходи атома з одних станів на інші з поглинанням світла.

На основі двох постулатів і правила квантування Бор визначив радіус атома Гідрогену і енергії стаціонарних станів атома. Це дало можливість обчислити частоти електромагнітних хвиль, що їх випромінює і поглинає атом.

Найбільший успіх теорія Бора, як уже зазначалося, мала при застосуванні до атома Гідрогену, для якого виявилось можливим побудувати кількісну теорію спектра. Проте побудувати кількісну теорію вже для наступного за Гідрогеном атома Гелію за допомогою постулатів Бора не вдалося. Щодо Гелію і складніших атомів теорія Бора давала змогу робити лише якісні висновки.

Справа в тому, що теорія Бора половинчаста, внутрішньо суперечлива. З одного боку, для побудови теорії атома Гідрогену використовують звичайні закони механіки Ньютона і давно відомий закон Кулона, а з другого — вводяться квантові постулати, зовсім не зв'язані з механікою Ньютона та електродинамікою Максвелла. Введення у фізику квантових уявлень вимагало радикальної перебудови механіки і електродинаміки, що й відбулося на початку другої чверті ХХ ст., коли було створено нові фізичні теорії: квантову механіку і квантову електродинаміку.

Постулати Бора виявилися цілком правильними. Проте вони вже виступали не як постулати, а тільки як наслідки основних принципів цих теорій. Правило ж квантування Бора виявилось наближеним висновком, який не завжди є застосовним.

Уявлення про певні орбіти, по яких рухається електрон в атомі Бора, дуже умовне. Насправді ж рух електрона в атомі має мало спільного з рухом планет по орбітах. Якби атом Гідрогену в найнижчому енергетичному стані можна було сфотографувати з великою витримкою, то ми побачили б хмарку неоднакової освітленості. Більшу частину часу електрон перебуває на певній відстані від ядра. Цю відстань грубо можна вважати радіусом орбіти. Фотографія атома була б зовсім не схожою на звичний малюнок Сонячної системи, а швидше нагадувала б розпливчасту пляму, нібито фотографували метелика, який безладно пурхає біля ліхтаря.

Тепер, спираючись на квантову механіку, можна дати відповідь на будь-яке запитання, що стосується будови і властивостей електронних оболонок атомів. Але кількісна теорія дуже складна і ми не будемо її торкатися. Якісну характеристику електронних орбіт атомів наведено в курсі хімії.

### ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. У чому виявляються суперечності між постулатами Бора і законами класичної фізики?
2. Яке випромінювання відбувається під час переходів електрона в атомі Гідрогену на нижчий енергетичний рівень? Зобразіть ці переходи стрілками на схемі енергетичних рівнів.

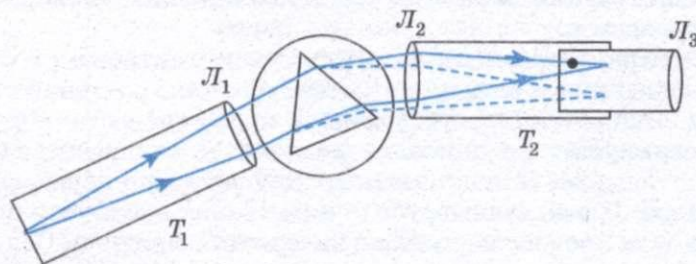
## § 46. СПЕКТРОСКОП. СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ

Явище дисперсії світла покладено в основу пристрою призматичних спектральних приладів: спектроскопів і спектрографів. Схема призматичного спектроскопа показана на мал. 192. Він складається з труби коліматора  $T_1$ , трикутної призми і зорової труби  $T_2$ . Досліджуване світло, пройшовши через щілину і лінзу  $L_1$  труби коліматора, падає на призму, в якій відбувається спектральне розкладання світла. Лінза  $L_2$  зорової труби  $T_2$  дає зображення спектра, яке розглядається через лінзу  $L_3$  як через лупу. У спектрографах спектр фотографується на кольорову або високочутливу чорно-білу плівку. Для цього фотоапарат встановлюється на місце ока спостерігача.

Поставимо перед щілиною спектроскопа електричну лампу розжарення і за допомогою спектроскопа вивчатимемо випромінюване нею світло. При незначній силі струму нитка лампи має червоний колір. У цей момент спектр випромінюваного нею світла є смужкою червоного кольору. Поступово збільшуючи силу струму, який тече через нитку лампи, зазначаємо, що в спектрі її світла з'являться спочатку оранжева, потім по черзі жовта, блакитна, синя і, нарешті, фіолетова частини (мал. 193, 1).

Під час фотографування спектра за допомогою спеціальних фотоапаратів на фотоплівках було виявлено, що перед областю червоного світла і за областю фіолетового світла є невидимі області спектра, що отримали відповідно назву інфрачервоної і ультрафіолетової областей.

Вивчення цих не сприйманих оком областей спектра показало, що ультра-



Мал. 192

фіолетовій області відповідають довжини хвиль у діапазоні від 1 до 380 нм, а інфрачервоній області — довжини хвиль у діапазоні від 760 нм до 1 мм.

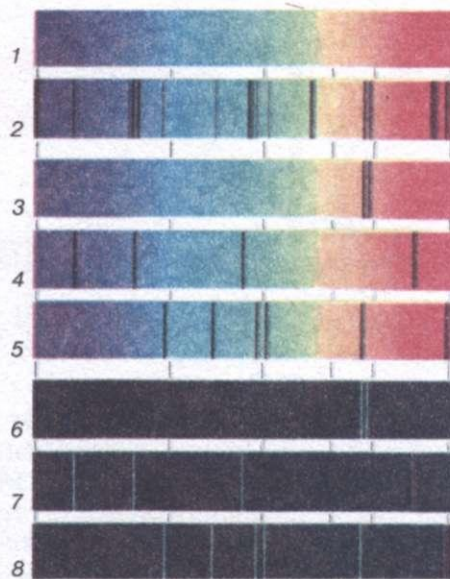
Враховуючи, що видима частина спектра лежить в межах від 380 до 760 нм, доходимо висновку, що для світла, яке випромінюється сильно нагрітим тілом, довжини хвиль лежать в інтервалі від 1 нм до 1 мм. Істотно, що в цьому інтервалі немає незайнятих проміжків, тобто спектр цього випромінювання є суцільним.

Помістимо перед щілиною спектроскопа трубку, наповнену воднем при низькому тиску (мал. 194). Під час під'єднання трубки до джерела високої напруги в ній відбувається електричний розряд і з трубки випромінюється червонувате світло. Спектр цього світла складається з декількох світлих ліній на темному фоні (мал. 193, 7). Такий спектр отримав назву **лінійчастого спектра випромінювання**.

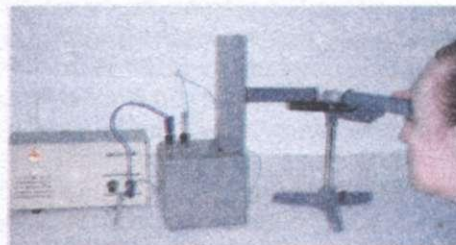
Поставивши між щілиною спектроскопа і лампою розжарення трубку, заповнену воднем (мал. 195), на тлі суцільного спектра випускання нитки лампи розжарення ми виявимо в червоній його частині декілька темних (чорних) ліній (мал. 193, 4). Такі спектри отримали назву **лінійчастих спектрів поглинання**, а самі темні лінії — **лінії поглинання**. Спектри поглинання вперше спостерігав **Г. Кірхгоф**.

Лінійчасті спектри утворюються, якщо світло випускається або поглинається речовиною в газоподібному атомарному стані. Положення темних ліній у спектрі поглинання речовини при даній температурі точно збігаються з положеннями світлих ліній у спектрі випускання цієї ж речовини при тій же температурі. Інакше кажучи, речовина в атомарному газоподібному стані при даній температурі випускає і поглинає хвилі однакових частот (**правило Кірхгофа**).

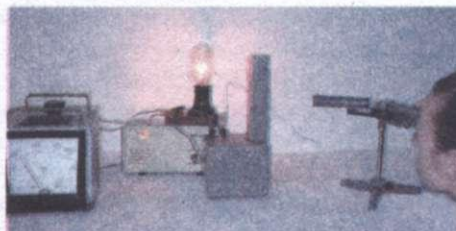
Існують ще **смугасті спектри**, які складаються з окремих смуг, розділених темними проміжками. За допомогою дуже досконалого спектрального апарата можна виявити, що кожна смуга — це сукупність великої кількос-



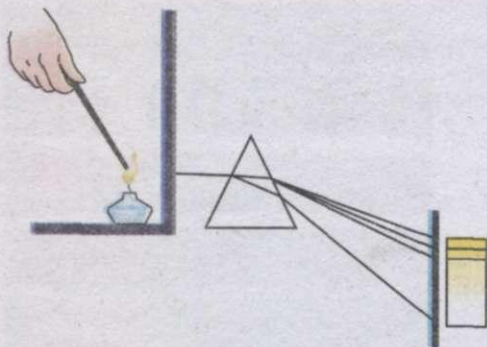
Мал. 193



Мал. 194



Мал. 195



Мал. 196

ті щільно розміщених ліній. На відміну від лінійчастих спектрів, смугасті спектри утворюються не атомами, а молекулами, що слабо зв'язані або не зв'язані між собою.

Склад речовини може бути визначений за спектром випускання (емісійний метод) або за спектром поглинання (метод абсорбції).

Якщо в затемненому приміщенні перед щілиною спектроскопа поставити спиртівку, що горить, то побачимо суцільний спектр дуже малої яскравості. Джерелом світла, що зумовлює

цей суцільний спектр, є розжарені тверді частинки в полум'ї.

Внесемо у полум'я спиртівки крупинку кухонної солі ( $\text{NaCl}$ ). Зазначимо, що полум'я забарвиться в інтенсивний жовтий колір, а в його спектрі з'являться дві дуже близько розташовані яскраві жовті лінії, що знаходяться в жовтій частині спектра (мал. 196). Те саме можна спостерігати, якщо замість кухонної солі внести до полум'я спиртівки крупинку глауберової солі ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), йодиду натрію ( $\text{NaI}$ ), сульфиду натрію ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) або карбонату натрію ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Будь-яка сіль натрію, будучи введена в полум'я спиртівки, забарвлює його в жовтий колір, в жовтій частині спектра з'являються дві яскраві, близько розташовані жовті лінії. Іншими словами, характерною межею натрію є те, що його розжарені пари дають спектр, в якому завжди присутні дві яскраві лінії в жовтій частині спектра.

Якщо через пари натрію, які знаходяться в скляній трубці, пропустити електричний струм, то ці пари світитимуться жовтим кольором. У спектрі цього випромінювання також будуть присутні вказані вище дві жовті лінії.

У 1860 р. німецькі учені Г. Кірхгоф і Р. Бунзен, вивчаючи спектри металів, встановили, що кожен метал у пароподібному стані має свій характерний лінійчастий спектр. Введення у полум'я пальника будь-якої солі одного і того ж металу завжди приводить до появи однакового лінійчастого спектра випускання.

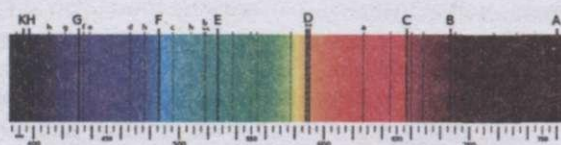
Окремі лінії у спектрах різних елементів можуть випадково збігатися, але в цілому спектр кожного елемента є його постійною і строго індивідуальною характеристикою.

Разом з тим виявилось, що при внесенні до полум'я суміші солей різних металів у спектрі одночасно з'являються всі характерні для цих металів лінії. Яскравість спектральних ліній залежить від концентрації елемента в даній суміші речовин.

Так був відкритий новий метод визначення хімічного складу речовини — **спектральний аналіз**.

**Спектральним аналізом** називають метод визначення хімічного складу складних речовин, заснований на вивченні лінійчастих спектрів цих речовин.

Виявлення в спектрі досліджуваного зразка нових, незнайомих ліній означало, що у зразку присутні домішки невідомих у той час елементів. За допомогою спектрального аналізу були відкриті спочатку Рубідій і Цезій,



Мал. 197

а потім Талій, Індій, Галій. Усього методом спектрального аналізу було відкрито 24 хімічних елементи.

Якщо сфотографувати спектр сонячного світла, отриманий за допомогою якісного спектроскопа, то на знімку будуть спостерігатися чіткі лінії поглинання (мал. 197). Вперше ці лінії описав німецький фізик **Й. Фраунгофер**, і тому вони отримали назву — **лінії Фраунгофера**. Поява цих ліній пов'язана з проходженням сонячного світла через атмосферу Сонця і частково з проходженням через атмосферу Землі. Таким чином, спектр сонячного світла — **спектр поглинання**.

Зіставляючи лінії Фраунгофера з лініями випускання різних елементів, можна встановити, які елементи входять до складу атмосфери Сонця. Зокрема, цим методом був вперше виявлений в атмосфері Сонця елемент Гелій. Пізніше Гелій виявили і на Землі.

Спектральний аналіз за спектрами поглинання використовують при вивченні хімічного складу речовин. Для проведення спектрального аналізу абсорбції досліджувану речовину спалюють в полум'ї, світло від якого прямує в спектроскоп або спектрограф. Одночасно через полум'я пропускають світло від еталонної спектральної трубки. Якщо в спектрі з'являться лінії поглинання, то це свідчить про речовину, що міститься в спектральній трубці досліджуваної речовини.

Спектральний аналіз має наступні переваги над хімічним аналізом: висока чутливість, швидкість, простота визначення і невелика маса речовини, необхідної для його проведення.

Чутливість спектрального аналізу дуже висока: з його допомогою можна виявити елемент, домішка якого в речовині становить всього одну мільйонну частку відсотка. За сприятливих умов вдається виявити речовину, яка міститься в пробі масою  $10^{-6}$  г.

Швидкість спектрального аналізу значно більша за швидкість хімічного аналізу. Тому спектральний аналіз застосовують як експрес-аналіз у металургії, в криміналістиці. Для проведення спектрального аналізу потрібно декілька десятків мікрограмів речовини. Величезне значення спектрального аналізу полягає в тому, що його можна провести, не вступаючи в безпосередній контакт з досліджуваною речовиною: в спектральному аналізі досить проаналізувати світло, яке досліджувана речовина випускає або поглинає.

## ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Накресліть схему спектроскопа і поясніть принцип його роботи.
2. Як можна отримати суцільний і лінійчастий спектри?
3. Який спектр називається смугастим?