

4. Сформулюйте правило Кірхгофа.
5. Намалуйте принципову схему установки для проведення спектрального аналізу: а) емісійного; б) абсорбції.
6. Назвіть основні переваги спектрального аналізу над хімічним.



Це цікаво знати

Розвиток вчення про спектральний аналіз. Кольори спектра, отримані при пропусканні пучка сонячних променів крізь призму, не чисті. Окремі кольори накладаються один на одного і одержуються змішані кольори. Ще І. Ньютон наголошував про необхідність отримання чистого спектра, в якому б кольори не накладалися один на одного. Саме у чистому спектрі добре видно, чи існують всі переходи кольорів від червоного до фіолетового, або деякі із кольорів відсутні.

У 1802 р. англійський фізик **В. Вульстен** (1766—1828) опублікував працю про заломлювальну та розсіювальну здатності різних тіл. У цій праці вчений повідомляв, що сонячний спектр не являє собою неперервний ряд усіх кольорів від червоного до фіолетового, а перерізається безліччю темних ліній. Те саме вчений спостерігав у спектрах, які давали різні розжарені тіла. І тут спектр не був неперервним, а складався зі світлих смуг з темними проміжками. Проте Вульстен не зумів пояснити походження цих темних ліній.

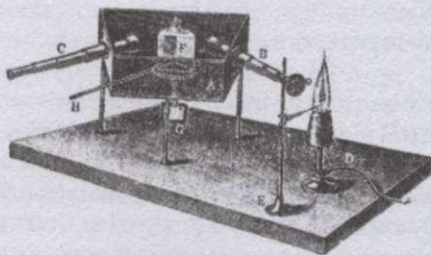
Дане явище більш детально було вивчено **І. Фраунгофером**. Учений у своїх дослідах пропускав сонячне світло через вузьку щілину в темній кімнаті. Пучок світла попадав на призму, і, виходячи з неї, поступав до зорової труби. Із об'єктива труби у полі зору з'являвся чистий спектр, який розглядали за допомогою окуляра як збільшувального скла. Фраунгофер відтворив малюнок збільшеного спектра, який він

спостерігав у зорову трубу. Наявність темних ліній у сонячному спектрі, очевидно, свідчила про відсутність у ньому певних кольорових променів. Дійсно, коли б у спектрі були всі переходи кольорів від крайнього фіолетового до крайнього червоного, то спектр мав би бути неперервний (суцільний).

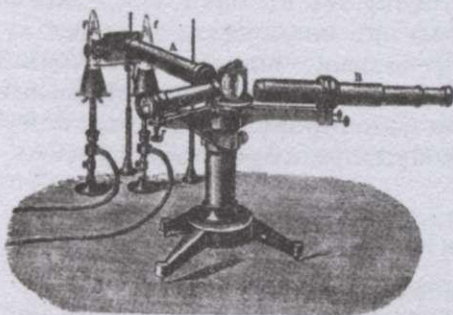
До появи робіт Кірхгофа і Бунзена не було достатньо обґрунтовано той факт, що спектральні лінії можуть характеризувати розжарену у полум'ї речовину. У доведенні цього факту вченим допоміг сконструйований ними **спектроскоп**.

Перший спектроскоп Кірхгофа і Бунзена мав конструкцію, показану на мал. 198: *F* — скляна призма, трубка *B* на одному кінці, оберненому до полум'я, мала щілину, а на другому — збиральну лінзу, яка робила паралельними промені, що йшли від щілини. Ці промені заломлювалися призмою і отримуваний спектр розглядався зоровою трубою *C* з 8-кратним збільшенням.

За допомогою спектроскопа Кірхгоф і Бунзен дослідили багато речовин, особливо



Мал. 198



Мал. 199

металів. Досліджувану речовину закріплювали на платиновій дротині і нагрівали у полум'ї бунзенової спиртівки. При високій температурі речовина перетворювалася на пару, і світло цієї розігрітої пари досліджували. Ці спостереження привели до відкриття двох нових елементів: Цезія та Рубідія. Пізніше за допомогою спектроскопа було відкрито декілька інших елементів, а саме Талій, Галій, Індій, Гелій.

Професор **Штейнгель** із Мюнхена удосконалив спектроскоп Кірхгофа, надавши йому форми, зображеної на мал. 199.

Пуста призма була замінена на масивну скляну, а крім коліматора та зорової труби з'явилася ще третя труба. Ця труба на кінці, оберненому до призми, має збиральну лінзу, а на другому кінці закрита скляною пластинкою із дрібними поділками. Промені, що виходять із цієї труби, падають на поверхню призми і відбиваються у зорову трубу так, що спостерігач бачить у полі зору, вище або нижче спектра, поділки, за допомогою яких може точно визначити положення спектральних ліній.

Секрет Страдіварі. Таємниця скрипок Страдіварі розгадана! Шведські хіміки стверджують, що інструменти мали таке гарне звучання тому, що майстер покривав їх особливим лаком. Склад цього лаку вдалося визначити за допомогою декількох видів аналізу, в тому числі і *спектрографічного*. Маленький шматочок лаку 200-літньої давності вдалося розкласти на основні компоненти. Потім із таких самих хімічних сполук отримали свіжий лак і покрили ним сучасні скрипки. Музичні експерти не змогли відрізнити їх за звучанням від давніх інструментів.

Лабораторна робота №6

СПОСТЕРЕЖЕННЯ НЕПЕРЕРВНОГО І ЛІНІЙЧАСТОГО СПЕКТРІВ РЕЧОВИНИ

Мета роботи: ознайомитися з методом якісного спектрального аналізу.

Прилади і матеріали: спектроскоп двотрубний з відліковим мікрометричним гвинтом, трубки спектральні, прилад для засвічування спектральних трубок «Спектр», джерело електроживлення для практикуму ИВПІ-І, ключ, комплект з'єднувальних провідників, дротина із клаптиком вати на підставці, колба зі спиртом, сіль кухонна, сірники.

Хід роботи

1. Вставити трубку з гелієм у тримач приладу для засвічування спектральних трубок і приєднати прилад через вимикач до джерела постійного струму з напругою близько 6 В. Щілину коліматора спектрографа підвести впритул до спектральної трубки і ввімкнути джерело живлення.

2. Спостерігати через окуляр зорової труби спектроскопа, обертаючи мікрометричний гвинт, щоб поступово побачити всі спектральні лінії гелію. Переміщенням окуляра добитися їх чіткого зображення.

3. Мікрометричним гвинтом повернути зорову трубу вправо так, щоб у полі зору з'явилася крайня червона спектральна лінія. Сумістити зображення вертикальної нитки з цією лінією і записати покази мікрометра в таблицю. Мікрометричний гвинт має крок 1 мм, його головку поділено на 50 рівних частин, отже, ціна поділки шкали на головці становить 0,02 мм. Цілі міліметри відлічуйте за нерухомою шкалою на циліндрі, а соті частки — за шкалою на головці гвинта.

Колір лінії	Покази мікрометра, мм	Довжина хвилі за довідником, нм
Червона		728
Оранжева		668
Жовта		588
Зелена		502
Зелена		492
Блакитна		471
Синя		447

4. Обертаючи мікрометричний гвинт, пересувати зорову трубу до суміщення нитки з кожною з наступних спектральних ліній. Для кожної лінії записати покази мікрометра у таблицю проти зазначених довжин хвиль гелію, взятих з довідника.

5. За записами показів мікрометричного гвинта і довжинами хвиль, які відповідають цим показам, побудувати криву. Для цього на осі абсцис відкласти покази мікрометра, а на осі ординат — довжину світлових хвиль, взявши відповідний масштаб. Через знайдені точки провести плавну криву.

6. Змочити вату на дротині спиртом і закріпити її за допомогою підставки на висоті щілини коліматора. Запалити вату і спостерігати слабкий суцільний спектр. Посипати вату, на якій горить спирт, дрібною кухонною сіллю і спостерігати появу на фоні суцільного спектра яскравої жовтої лінії пари натрію. Сумістити з нею нитку і записати покази мікрометричного гвинта. Користуючись побудованою кривою, визначити довжину хвилі жовтої лінії натрію. Для цього на осі абсцис відкласти показ мікрометричного гвинта, з цієї точки опустити перпендикуляр і продовжити його до перетину з побудованою кривою. Опустити з точки перетину перпендикуляр на вісь ординат і зазначити відповідне значення довжини хвилі.

7. За результатами досліджень зробити висновок.

Для допитливих

1. Чому атоми кожного хімічного елемента мають строго визначений лінійчастий спектр випромінювання і поглинання?

§ 47. РЕНТГЕНІВСЬКЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ

На початку 80-х років XIX ст. український фізик І. Пуллой провів серію експериментів із газорозрядними трубками власної конструкції. У праці «Промениста електродна матерія» (1880—1882) він описав і подав схему так званої рентгенівської трубки, що являла собою скляну трубку, всередині якої містилася під кутом слюдяна пластинка, вкрита сірчаним кальцієм; під пластиною розміщувався алюмінієвий диск, що відігравав роль катода. Пуллой використовував цю трубку як флуоресцентну трубку, але вона була потужним джерелом X-променів. Зазначимо, що цю трубку Пуллой сконструював у 1882 р.

У 1896 р. німецький вчений **В. Рентген** видав свою першу працю «Попереднє повідомлення», де подав 17 тез про X-промені. До відкриття Рентгена трубками Пулюя користувалися фізики, але, на жаль, не було публікацій про виявлення за їх допомогою цих таємничих X-променів. Згодом вони отримали назву — **рентгенівське випромінювання**. І. Пулюй стверджував про існування невидимих променів і наводив їх властивості, а саме, що вони виникають на стінках скляної трубки, куди потрапляють катодні промені; не заломлюються у призмах із різних матеріалів; не відхиляються магнітним полем.

Того ж року на місяць пізніше Пулюй публікує статті «Про походження рентгенівських променів та їх фотографічну дію», а також «Додаток до праці «Про походження рентгенівських променів та їх фотографічну дію». У цих двох працях Пулюй наводить важливі експериментальні дані, яких не можна було отримати за місяць після публікацій Рентгена. Цей факт свідчить про невтомну попередню багаторічну працю українського вченого у даній галузі досліджень. Пулюй першим встановив, що X-промені викликають йонізацію газів, подав пояснення природи X-променів, за допомогою власноручно сконструйованих газорозрядних трубок першим отримав знімки скелета людини.

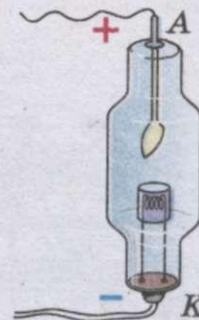
Проводячи досліди з вакуумними двоелектродними трубками, в яких площина анода (А) не паралельна площині катода (К) (мал. 200), Рентген виявив, що, коли до електродів прикладена висока напруга, навпроти катода трубки спостерігається ряд явищ, які можна пояснити лише дією деякого нового (для того часу) випромінювання: свічення скла, потемніння розчину хлористого срібла, йонізація повітря тощо. Джерелом рентгенівського випромінювання виявився анод вакуумної двоелектродної трубки.

Відразу звернула на себе увагу проникна здатність рентгенівського випромінювання. Воно викликало згадані явища навіть у тому випадку, коли трубка екранувалася чорним папером, картоном та іншими матеріалами.

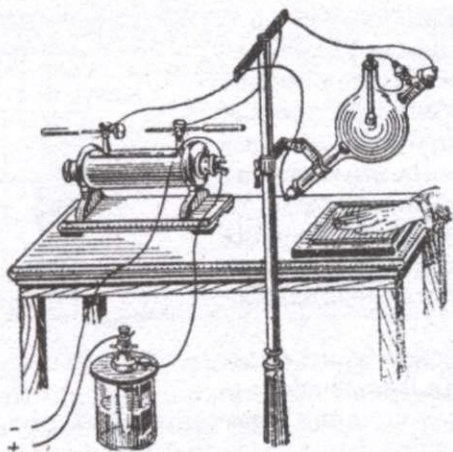
Поглинання рентгенівських променів речовиною виявилось залежним від густини речовини. Чим більша її густина, тим сильніше вона поглинає рентгенівські промені. Зокрема, м'які тканини організму людини поглинають рентгенівські промені слабше, ніж кістки. Це дозволило Рентгену зробити перший знімок кисті руки у відкритих їм невидимих променях (мал. 201).

На мал. 202 схематично показано пристрій сучасної рентгенівської трубки. У вакуумній трубці розташовані електроди: підігрівний катод і антикатод. Поверхня антикатада скошена, не паралельна поверхні катода. Катод приєднують до негативного, а антикатод до позитивного полюса джерела високої напруги. При цьому поверхня антикатада випускає пучок рентгенівських променів. Напрямок випромінювання перпендикулярний до поверхні антикатада.

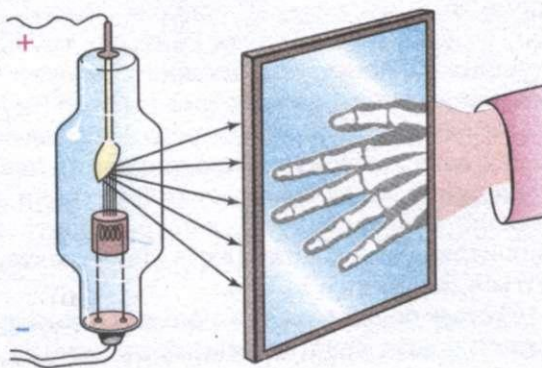
Природа рентгенівського випромінювання залишалася нез'ясованою до 1906 р., до того часу, поки не було відкрито його поляризацію. Пізніше, у 1912 р., німецькому фізику **М. Лауе** вдалося виявити дифракцію рентгенівського випромінювання. Схема досліду Лауе наведена на мал. 203, а. Пучок рентгенівського випромінювання, виділеного діафрагмами D_1 і



Мал. 200



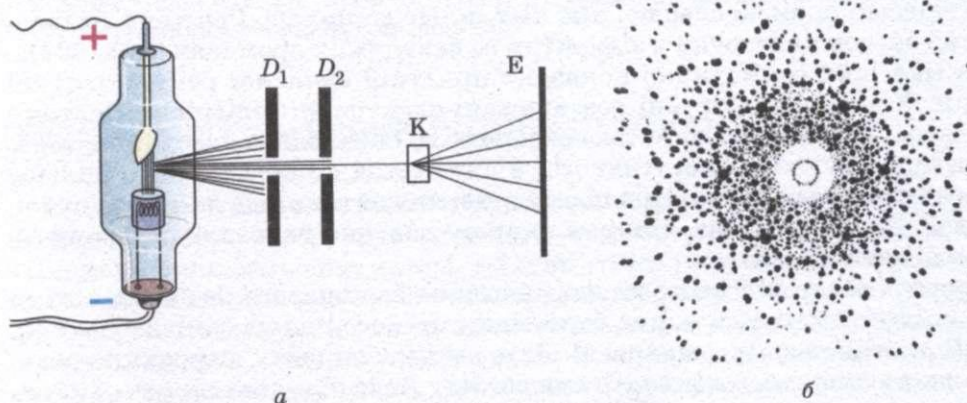
Мал. 201



Мал. 202

D_2 , проходячи крізь монокристал K , потрапляє на екран E . На екрані спостерігається картина, зображена на мал. 203, б, яка отримала назву — лауеграма. Лауеграма нагадує дифракційну картину, яка спостерігалася при проходженні світла крізь дві схрещені (паралельно одна одній, але так, щоб їх щілини були взаємно перпендикулярні) дифракційні ґратки.

Утворення лауеграми можна пояснити таким чином. Монокристал являє собою для рентгенівських променів своєрідні дифракційні ґратки. Вузли кристалічної ґратки слугують перешкодами, а міжвузловини залишаються прозорими. Рентгенівське випромінювання дифрагує на кристалічній ґратці і утворює дифракційні максимуми і мінімуми. Таким чином було встановлено, що рентгенівське випромінювання має хвильову природу. Відкриття поляризації рентгенівського випромінювання вказувало на те, що рентгенівське випромінювання — це поперечні хвилі. Дослідження інших властивостей цього випромінювання підтвердило, що воно має електромагнітну природу. Рентгенівські промені виявилися електромагнітним випромінюванням, подібним до світлового, але зі значно меншою довжиною хвилі.



Мал. 203

Вивчення дифракційних картин дозволило виміряти довжину хвилі рентгенівського випромінювання. Виявилось, що вона охоплює інтервал від 10^{-14} до 10^{-7} м.

Дослідження показали, що рентгенівське випромінювання виникає при гальмуванні речовиною антикатада швидких електронів, що випускаються катодом і розганяються електричним полем. При гальмуванні електронів їх кінетична енергія перетворюється на енергію випромінювання. Тому таке випромінювання називають гальмівним. Спектр гальмівного рентгенівського випромінювання є суцільним (мал. 204). З боку малих довжин хвиль він має різку межу.

Положення цієї межі залежить від прискорюючої напруги, тобто від енергії електронів: чим більша енергія електронів, тим менша відповідно до цієї межі довжина хвилі. Існування короткохвильової межі для гальмівного рентгенівського випромінювання легко пояснити, якщо допустити, що рентгенівське випромінювання, як і світлове, має квантовий характер, і енергія одного фотона $E = h\nu$ визначається кінетичною енергією $E_k = eU$ одного електрона. При такому припущенні $eU = h\nu_{\max}$, звідки

$$\nu_{\max} = \frac{eU}{h}.$$

Оскільки $\lambda_{\min} = \frac{c}{\nu_{\max}}$, то

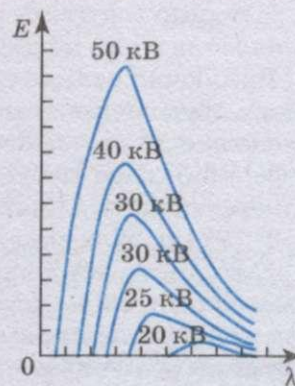
$$\lambda_{\min} = \frac{ch}{eU}.$$

Отримана формула виключно точно підтверджена експериментально, що доводить правильність припущення про квантовий характер рентгенівського випромінювання.

Крім того, оскільки λ_{\min} і U можна дуже точно виміряти на досліді, а значення швидкості поширення світла і заряду електрона були з високою точністю визначені за допомогою спеціальних експериментів, цю формулу часто використовують для визначення сталої Планка:

$$h = \frac{\lambda_{\min} eU}{c}.$$

Всім відоме використання рентгенівського випромінювання для отримання знімків окремих органів людини з метою визначення захворювань органів людини, переломів кісток (**рентгенодіагностика**). Використовують рентгенівські промені також і для лікування злоякісних пухлин (**рентгенотерапія**). Проблеми використання X-променів у медицині досліджував український вчений **М. Пильчиков**, який одним із перших почав застосовувати X-промені для потреб медицини (просвічування та діагностики захворювань). Цікаво те, що у своїх дослідках Пильчиков використовував трубку Пулюя, вдосконаливши її. М. Пильчиков провів в Україні перші дослідження проблеми радіоактивності.



Мал. 204

У техніці рентгенівськими променями просвічують деталі машин з метою виявлення в них можливих дефектів.

Виключно велике значення рентгенівського випромінювання для вивчення будови кристалів. Саме дифракційна картина, що утворюється при проходженні рентгенівських променів крізь кристали, містить найповнішу інформацію про їх будову. За дифракційною картиною визначені основні константи кристалічних ґраток.

У 1971 р. була виявлена зірка, що дає електромагнітне випромінювання в рентгенівському діапазоні. На сьогодні у Всесвіті вже виявлено понад 200 джерел рентгенівського випромінювання, крім того, існує так зване фонове рентгенівське випромінювання, що приходить на Землю з усіх ділянок неба. Космічне рентгенівське випромінювання несе цікаву і нову інформацію про процеси у Всесвіті.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Хто є відкривачем Х-променів?
2. Намалуйте схему рентгенівської трубки і поясніть, що є джерелом рентгенівських променів.
3. Яка природа рентгенівського випромінювання?
4. Поясніть механізм рентгенівського випромінювання.
5. Перерахуйте основні властивості рентгенівського випромінювання і назвіть їх практичне використання.

Задачі та вправи

Розв'язуємо разом

1. Атом випромінює фотон. Чи змінилася від цього швидкість атома?

Розв'язання

Змінилась на $\frac{hv}{mc}$, де m — маса атома, v — частота кванта, як наслідок за законом збереження імпульсу.

2. З'ясуйте, який спектр і чому виникне у газі при рекомбінаціях позитивних йонів з вільними електронами.

Розв'язання

Суцільний. Не зв'язані з атомом електрони до рекомбінації можуть мати будь-яку кінетичну енергію. Рекомбінуючи, вони випромінюють фотони найрізноманітніших енергій — суцільний спектр.

Спектр рентгенівського випромінювання за будь-яких напруг у короткохвильовій частині різко обривається. Поясніть цю особливість.

Розв'язання

Коли електрон всю свою кінетичну енергію витрачає на випромінювання, то $\frac{mv^2}{2} = \frac{hc}{\lambda_m}$, де λ_m — короткохвильова межа спектра. У деяких електронів частина їх енергії переходить у внутрішню енергію анода та інші види. Ці електрони стають джерелом рентгенівського випромінювання з довжинами хвиль $\lambda > \lambda_m$.

Рівень А

361. Які фізичні явища свідчать про складну будову атома?
362. Що називають енергією йонізації атома?
363. Під час переходу атома Гідрогену з одного енергетичного стану в інший він випустив фотон із довжиною хвилі 490 нм. На скільки зменшилась енергія атома?
364. Переходячи з деякого стану збудження в інший збуджений стан, атоми Гідрогену випромінюють фотони з енергією 1,89 еВ. Яка довжина хвилі цього випромінювання? Яким кольором світиться водень?
365. Атом Гідрогену, який перебував у другому стаціонарному стані, внаслідок поглинання фотона з енергією 2,86 еВ (фіолетова лінія спектра), переходить у п'ятий стаціонарний стан. Яка довжина хвилі цієї лінії?
366. Атом Гідрогену перебуває у стаціонарному стані з порядковим номером $n = 3$. Скільки фотонів із різними енергіями може випустити цей атом при переході в основний стан?
367. Внаслідок електричного розряду в розрідженому водні один із його атомів перейшов з основного стану в збуджений так, що порядковий номер стаціонарного стану змінився з $n = 1$ на $n = 4$. Надалі атом повернувся із цього стану в основний, випустивши послідовно 3 фотони. Що можна сказати про енергію, яку поглинув атом, та енергію фотонів, які він випромінював?
368. Що треба зробити з крупинкою твердої речовини, щоб встановити її хімічний склад за допомогою спектрального аналізу?
369. Чому, проводячи спектральний аналіз, досліджувану речовину вміщують у полум'я газового пальника або вводять в електричну дугу?
370. Який спектр випромінювання електричної лампи розжарення? З яких променів складається це проміння? Чи є у спектрі електричної лампи розжарення ультрафіолетова частина?
371. Інертний газ гелій вперше було виявлено не в земних умовах, а на Сонці, звідки й походить його назва (з грец. *гелиос* — сонячний). Поясніть, як могло відбутись таке відкриття.
372. Визначте кінетичну енергію електрона, що досяг анода рентгенівської трубки, яка працює під напругою 50 кВ.
373. Електрони, що досягли анода рентгенівської трубки, мають швидкість $1 \cdot 10^8$ м/с. Під якою напругою працює трубка?
374. Коли крізь йонізовані шари атмосфери проходять супутники чи космічні кораблі, то вони стають джерелами рентгенівського випромінювання. Як це пояснити?
375. В електронному промені телевізійної трубки електрони, досягнувши екрана, раптово зупиняються. Чи не може виникнути при цьому рентгенівське випромінювання? Чи безпечно у зв'язку з цим дивитися телевізійні передачі?
376. Чому рентгенівську плівку зберігають у свинцевій коробці, а під час знімання її закладають в алюмінієву касету?

Рівень В

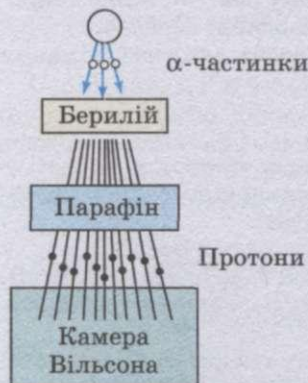
377. Які результати дослідів із розсіювання α -частинок речовиною дозволили Резерфорду запропонувати «планетарну» модель будови атома?
378. Які експериментальні дані були покладені в основу постулатів Бора?
379. Атом Гідрогену перебував у першому збудженому стані з енергією — 3,38 еВ. Після поглинання фотона з довжиною хвилі 490 нм він перейшов у третій збуджений стан. Яка енергія атома в цьому стані?
380. Атом Оксигену внаслідок переходу із стаціонарного стану з енергією $E_4 = -0,85$ еВ у стаціонарний стан з енергією $E_2 = -3,38$ еВ випромінював фотон. Визначте довжину хвилі фотона.

381. Згідно з теорією Бора, радіус орбіти електрона в атомі Гідрогену, який перебуває в другому стаціонарному стані, дорівнює 212 пм. Яка кінетична енергія електрона в цьому стані?
382. Для йонізації атома Нітрогену необхідна енергія 14,5 еВ. Визначте довжину хвилі випромінювання, яке може спричинити йонізацію.
383. Газовий лазер, робочим тілом якого є суміш гелію і неону, випромінює світловий пучок потужністю 50 мВт. На якій довжині хвилі працює лазер, якщо впродовж 1 хв він випромінює $9,5 \cdot 10^{18}$ фотонів?
384. Як зміниться частота обертання електрона в атомі Гідрогену при його переході із першої орбіти на другу?
385. За допомогою спектроскопа дістали суцільний спектр. Що можна за цим спектром визначити: 1) хімічний склад речовини; 2) агрегатний стан речовини; 3) температуру речовини?
386. Яким способом можна встановити, солі яких металів присутні у воді в невеликих кількостях?
387. Які спектральні лінії з'являться під час збудження атомарного водню електронами з енергією 14 еВ?
388. Чому розріджені гази поглинають випромінювання лише певних частот, які утворюють дискретний спектр, а випромінювання інших частот проходить через них, не зазнаючи поглинання?
389. Які фізичні та хімічні властивості речовини? Яким чином вони можуть бути встановлені за допомогою спектрального аналізу?
390. Поясніть збіг спектрів випромінювання атома Гідрогену на основі теорії атома Гідрогену Бора.

§ 48. АТОМНЕ ЯДРО. ЯДЕРНІ СИЛИ. ЕНЕРГІЯ ЗВ'ЯЗКУ АТОМНИХ ЯДЕР

У 1932 р. сталася дуже важлива для всієї ядерної фізики подія. Учень Е. Резерфорда, англійський фізик Д. Чедвік відкрив нову частинку — **нейтрон**.

Під час бомбардування α -частинками берилію протони не виникали. Але були виявлені якісь дуже проникні промені, здатні долати таку перешкоду, як свинцева пластинка товщиною 10—20 см. Було припущено, що це γ -промені, які мають велику енергію.



Мал. 205

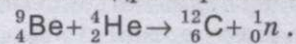
І. Жоліо-Кюрі та Ф. Жоліо-Кюрі виявили, що коли на шляху випромінювання берилію поставити парафінову пластинку, то йонізуюча здатність цього випромінювання різко зростає. Вони припустили, що випромінювання берилію вибиває з парафінової пластинки протони, яких багато в парафіні — речовині, що містить водень. За допомогою камери Вільсона (схему досліду наведено на мал. 205) подружжя Жоліо-Кюрі виявили ці протони і за довжиною пробігу оцінили їхню енергію. Якщо припустити, що протони прискорювалися внаслідок зіткнень з γ -квантами, то енергія цих квантів має бути величезною — близько 55 МеВ.

Чедвік спостерігав у камері Вільсона треки ядер Нітрогену, що зазнавали зіткнень з випромінюванням берилію. За його оцінкою енергія γ -квантів, здатних надати ядрам швидкість, що відповідає спостереженням, мала б дорівнювати 90 MeV. Подібні спостереження в камері Вільсона треків ядер Аргону привели до висновку, що енергія зазначених гіпотетичних γ -квантів має бути 150 MeV. Припускаючи, що ядра починають рухатися внаслідок зіткнень з частинками, які не мають маси спокою, дослідники помітили явні суперечності: одним і тим самим γ -квантам доводилося приписувати різну енергію.

Стало очевидним, що припущення про випромінювання берилієм γ -квантів, які не мають маси спокою, необґрунтоване. Під дією α -частинок з берилію вилітають якісь досить важкі частинки, бо лише від зіткнення з важкими частинками протони або ядра Нітрогену й Аргону могли набути такої величезної енергії, яка спостерігалася. Оскільки ці частинки мали велику проникну здатність і безпосередньо не йонізували газ, то, очевидно, вони були електрично нейтральні. Адже заряджена частинка сильно взаємодіє з речовиною і тому швидко втрачає свою енергію.

Нову частинку назвали **нейтроном**. Її існування передбачав Резерфорд більш ніж за 10 років до дослідів Чедвіка. За енергією та імпульсом ядер, що стикаються з нейтронами, визначили їхню масу. Виявилось, що вона трохи більша від маси протона — 1838,6 електронних мас проти 1836,1 для протона.

Через попадання α -частинок в ядра Берилію відбувається така реакція:



Заряд нейтрона дорівнює нулю, а відносна маса — приблизно одиниці.

Одразу після того, як у досліді Чедвіка було відкрито нейтрон, відомі фізики **Д. Іваненко** і **В. Гейзенберг** у 1932 р. запропонували **протонно-нейтронну модель ядра**, згідно з якою ядра атомів складаються з елементарних частинок двох видів: **протонів і нейтронів**.

Кількість протонів в ядрі дорівнює кількості електронів в атомній оболонці, тому що в цілому атом нейтральний. Отже, кількість протонів в ядрі дорівнює атомному номеру елемента Z у Періодичній таблиці елементів **Д. І. Менделєєва**.

Масовим числом A називають суму числа протонів Z і числа нейтронів N в ядрі:

$$A = Z + N.$$

Маси протона і нейтрона близькі між собою і кожна з них приблизно дорівнює атомній одиниці маси. Маса електрона в атомі значно менша від маси ядра. Тому масове число ядра дорівнює округленій до цілого числа відносній атомній масі елемента. Масові числа можна визначити грубим вимірюванням мас ядер навіть не дуже точними приладами.

Ізотопи — це ядра з одним і тим самим значенням Z , але з різними масовими числами A , тобто з різною кількістю нейтронів N .

Оскільки ядра досить стійкі, то протони і нейтрони мають триматися в ядрі якимись силами, причому дуже великими. *Що це за сили?* Завчасно можна сказати, що це не гравітаційні сили, які занадто слабкі. Стійкість ядра не можна пояснити також електромагнітними силами, тому що між однойменно зарядженими протонами діє електричне відштовхування, а нейтрони не мають електричного заряду.

Отже, між ядерними частинками — протонами і нейтронами (нуклонами) — діють особливі сили. Назва для них знайшлася сама по собі — **ядерні сили**.

Ці сили приблизно в 100 разів більші від електромагнітних. Це найпотужніші сили з усіх, що є в природі. Тому **взаємодію ядерних частинок часто називають сильною взаємодією**. Причому сильна взаємодія не зводиться лише до взаємодії нуклонів в ядрі. Це особливий вид взаємодії, властивий багатьом елементарним частинкам разом з електромагнітною взаємодією.

Інша важлива особливість ядерних сил — це їх короткодіючий характер. Електромагнітні сили порівняно повільно зменшуються з відстанню.

Дуже важливу роль в усій ядерній фізиці відіграє поняття — **енергія зв'язку ядра**. Під енергією зв'язку ядра розуміють ту енергію, яка потрібна для повного розщеплення ядра на окремі нуклони. Спираючись на закон збереження енергії, можна також стверджувати, що **енергія зв'язку дорівнює тій енергії, яка виділяється під час утворення ядра з окремих частинок**. Енергія зв'язку атомних ядер дуже велика. *Але як її визначити?*

Зробити відповідні розрахунки можна лише, застосувавши співвідношення Ейнштейна між масою і енергією:

$$E = mc^2.$$

Точні вимірювання мас ядер показують, що маса спокою ядра $M_{\text{я}}$ завжди менша від суми мас спокою його протонів і нейтронів:

$$M_{\text{я}} < Zm_{\text{п}} + Nm_{\text{н}}.$$

Існує так званий дефект мас:

$$\Delta M = Zm_{\text{п}} + Nm_{\text{н}} - M_{\text{я}},$$

різниця мас додатна. Зокрема, для Гелію маса ядра на 0,75% менша від суми мас двох протонів і двох нейтронів. Отже, для одного моля Гелію $\Delta M = 0,03$ г.

Зменшення маси під час утворення ядра з частинок означає, що при цьому зменшується енергія цієї системи частинок на значення енергії зв'язку $E_{\text{зв}}$:

$$E_{\text{зв}} = \Delta Mc^2 = (Zm_{\text{п}} + Nm_{\text{н}} - M_{\text{я}})c^2.$$

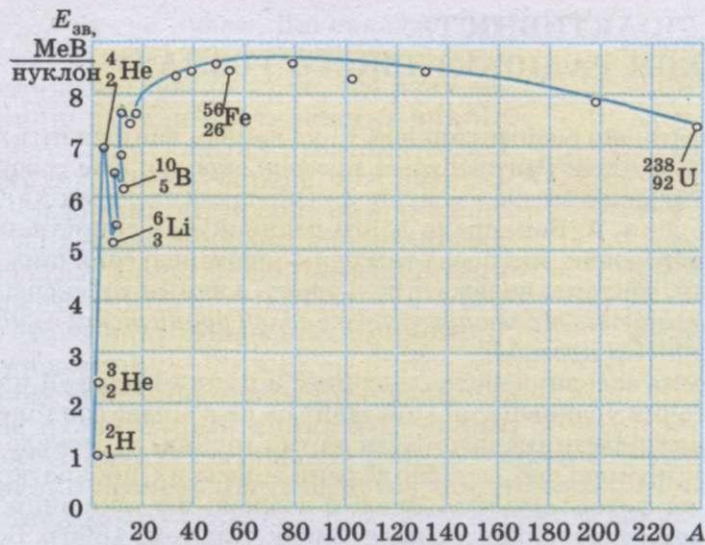
Але куди при цьому зникає енергія $E_{\text{зв}}$ і маса ΔM ?

Під час утворення ядра з частинок вони під дією ядерних сил на малих відстанях прямують одна до одної з величезним прискоренням. Випромінювані при цьому γ -кванти мають енергію $E_{\text{зв}}$ і масу:

$$\Delta M = \frac{E_{\text{зв}}}{c^2}.$$

Про значення енергії зв'язку можна судити з такого прикладу: під час утворення 4 г гелію виділяється стільки ж енергії, як від згоряння 1,5—2 вагонів кам'яного вугілля.

Важливу інформацію про властивості ядер дає експериментально виміряна залежність **питомої енергії зв'язку**, тобто енергії зв'язку, що припадає на один нуклон, від масового числа A .



Мал. 206

З мал. 206 добре видно, що коли не брати до уваги найлегші ядра, то питома енергія зв'язку приблизно стала і дорівнює 8 MeV/нуклон. Зазначимо, що енергія зв'язку електрона з ядром в атомі Гідрогену, яка дорівнює енергії йонізації, майже в мільйон разів менша. Крива на мал. 206 має слабо виявлений максимум. Максимальну питому енергію зв'язку (8,6 MeV/нуклон) мають елементи з масовим числом від 50 до 60, тобто залізо і близькі до нього за порядковим номером елементи. Ядра цих елементів найстійкіші.

Зменшення питомої енергії зв'язку для легких елементів пояснюється поверхневими ефектами. Нуклони, які містяться на поверхні ядра, взаємодіють з меншою кількістю сусідів, ніж нуклони всередині ядра, оскільки ядерні сили короткодіючі. Тому енергія зв'язку нуклонів на поверхні менша, ніж у нуклонів усередині ядра. Чим менше ядро, тим більша частина загальної кількості нуклонів виявляється на поверхні. Через це енергія зв'язку в середньому на один нуклон менша в легких ядрах.

У важких ядер питома енергія зв'язку зменшується внаслідок зростання із збільшенням Z кулонівської енергії відштовхування протонів. Кулонівські сили намагаються розірвати ядро.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Що дало поштовх для створення протонно-нейтронної моделі ядра атома? Хто з учених до цього причетний?
2. Що таке нуклон?
3. Що таке енергія зв'язку атомних ядер? Як вона визначається?
4. Розгляньте графік залежності питомої енергії зв'язку від масового числа (мал. 206). Вкажіть елементи, які мають питому енергію зв'язку 5—8 MeV/нуклон.

§ 49. РАДІОАКТИВНІСТЬ. ЗАКОН РАДІОАКТИВНОГО РОЗПАДУ

Ви вже знаєте, що радіоактивність — це явище, яке свідчить про складну будову атомного ядра. Рентгенівські промені, про що вже говорили в § 47, вперше були одержані внаслідок зіткнення швидких електронів з антикатодом розрядної трубки. А. Беккерель довго досліджував споріднене явище — післясвічення речовин, які перед тим були опромінені сонячним світлом. До таких речовин, зокрема, належать солі урану, з якими він експериментував.

А чи не виникають після опромінення солей урану разом з видимим світлом і рентгенівські промені?

А. Беккерель загорнув фотопластинку в цупкий чорний папір, зверху поклав шматочки уранової солі і виставив це на яскраве сонячне світло. Під час проявлення пластинка почорніла на тих місцях, де лежала сіль. Отже, уран випускає промені, які, подібно до рентгенівських, пронизують непрозорі тіла і діють на фотопластинку. Вчений вважав, що таке випромінювання виникає під впливом сонячного світла. Однак, в лютому 1896 р. Беккерелю не вдалося зробити черговий дослід і він поклав пластинку, на якій лежав мідний хрест, вкритий сіллю урану, в ящик стола. Проявивши на всяк випадок пластинку через два дні, він виявив на ній почорніння у вигляді виразної тіні хреста. Це означало, що солі урану спонтанно, без впливу зовнішніх чинників утворюють якесь проміння.

Незабаром Беккерель виявив, що промені уранової солі йонізують повітря так само, як і рентгенівські, і тому розряджають електроскоп. Випробовуючи різні хімічні сполуки урану, він установив дуже важливий факт: інтенсивність випромінювання визначається лише кількістю урану в препараті і зовсім не залежить від того, до яких сполук він входить. Отже, це властивість не сполук, а хімічного елемента урану, його атомів.

У 1898 р. у Франції Марія Склодовська-Кюрі та інші вчені виявили випромінювання торію. Особливо плідною у пошуках нових елементів виявилася праця подружжя Марії і П'єра Кюрі. Систематичне дослідження руд, що містять уран і торій, дало їм можливість виділити новий, ще невідомий хімічний елемент полоній, названий так на честь батьківщини Марії Склодовської-Кюрі — Польщі.

Нарешті, було відкрито ще один елемент, якому властиве дуже інтенсивне випромінювання. Його назвали радієм (тобто променистим). Саме ж явище спонтанного випромінювання подружжя Кюрі назвало **радіоактивністю**.

Після відкриття радіоактивних елементів почалося дослідження фізичної природи їхнього проміння. Крім Беккереля й подружжя Кюрі, над цим питанням почав працювати Резерфорд.

Класичний дослід, який допоміг виявити склад радіоактивного випромінювання, полягав у такому. Радіоактивний препарат вміщували на дно вузького каналу в шматку свинцю. Проти каналу розташовували фотопластинку. На проміння, яке виходило з каналу, діяли сильним магнітним полем (мал. 207), перпендикулярним до нього. Всю установку розміщали у вакуумі.

Якщо не було магнітного поля, то на проявленій пластинці було виявлено одну тільки темну пляму, точно проти каналу. У магнітному ж полі пу-