

Д-р РОМАН ЦЕГЕЛЬСЬКИЙ (Львів).

Фізикальні проблеми останньої доби.*)

I.

Двадцяте століття зазначилося небувалими успіхами фізикальних дослідів. Після епохальних відкриттів електромагнетних хвиль, променів Рентгена та радіоактивних первнів, що припадають на кінець XIX. століття, насунулися, почавши від 1900 р., проблеми, що в зв'язку з удосконаленням експериментальних метод останніх десятирок літ захитали основами класичної фізики та приневолити до їх ревізії. Ці проблеми — це квантова теорія Планка, теорія релятивності Айнштейна, теорії будови атомів, пр. теорія Бора та теорія матеріяльних хвиль, що їх поставили Де Бролі (De Broglie), Шредінґер і Гайзенберг. Вони в своїй хвилястій механіці впровадили у фізику в часі від 1925 до 1930 р. цілу плеяду нових понять та при допомозі їх вияснили велику кількість явищ, відкритих експериментальним шляхом, що їм не могли дати ради теорії класичної фізики. Ті всі проблеми внесли у фізику живий фермент, що ще досі ворухнеться, висуває щораз то нові питання і факти та не дає збагнути, коли вона прийде до відносної рівноваги.

Спільний предмет згаданих проблемів це атомова будова матерії. Її впровадив ще в глибокій старині грецький філософ Демокрит, але вона здобула щойно в XIX. столітті наукові підстави, завдяки дослідам Дальтона та відкриттю рухів Бравна (Brown). Дальтон відкрив закон постійних та многократних тягарових відношень у хемічних сполуках і виказав цілочисельність останніх реляцій. Рух Бравна став знов одною з підвалин молекулярно-кінетичної теорії тепла. Вона, нав'язуючи до закону непропащої енергії, що його відкрили Роберт

*) Реферат, виголошений дня 16. травня 1937 р. на спільнім засіданні обидвох секцій VI. з'їзду українських природників і лікарів у Львові. Хоч він має характер інформативний, однак з огляду на вагу теми вважаємо вказаним псмістити його в Збірнику секції. — *Редакція.*

Маєр, Джеймс Джюль (James Joule), Уільям Томзен (William Thomson) та Гельмгольц, розвинулася завдяки працям Клявзіуса (Clausius), Мексуеля (Maxwell), Больцмана (Boltzmann) і Смолюховського. Рівнобіжно з тим дійшла до великого розвитку хемія, послуговуючися в своїх дослідях поняттям атомів.

Не зважаючи на ті великі успіхи мала атомова теорія чимало ворогів серед визначних фізиків, хеміків та філософів. Ніхто інший, тільки саме славний німецький хемік Вільгельм Оствальд писав у своїх „Vorlesungen über Naturphilosophie“ (2-е видання, Липськ, 1902 р.) отсі слова: „Стехіометричні закони залишаються у хемії ще й у тих часах, коли атоми вже довгий час буде можна находити лише в поросі бібліотек“. Противники атомової теорії вважали поняття атомів тільки за помічні образи та моделі, але рішуче заперечували їхнє існування.

Аж у дев'ядесятих роках XIX. століття атомова теорія побідила теорію суцільности матерії. Допомогло їй до того у значній мірі відкриття атомової будови електричності, що проявилася в явищах електролізу, йонізації газів та катодових променів. Відкриття радіоактивности дало безпосередній доказ існування атомів і дозволило числити їх та бачити їхні рухи; згадаймо хочби числення атомів при допомозі явища сцинтиляції та фотографування частинок α , виконане методом Вільсона¹⁾ (пор. рис. 1). Радіоактивність не лиш ствердила існування атомів, але також виявила, що атоми можуть розпадатися на дрібніші частинці.

Якраз останній факт повалив дві тези, що їх до недавня вважали за незрушні правди, а саме: 1) Атоми одного і того самого первня зовсім однакові і мають однаковий тягар. 2) Атоми різних первнів зовсім відмінні і ніяк не можна атому одного первня перемінити в атом другого первня. Міжтим явища радіоактивности виказали, що первні підчас радіоактивного розпаду перемінюються одні в другі. І так рад розпадається на гелій

¹⁾ Англ. фізик Г. А. Вільсон збудував прилад до втворення штучної мряки. Цей прилад названо коморою Вільсона. Це прозорий циліндер, в якому може нагло спадати щільний толоч. У нутрі циліндра над толочом находится повітря, насичене паром, але зовсім очищене від порошинок. Коли в цьому повітрі повстануть йони під впливом якогось проміння н. пр. променів α , то вони будуть зародками, на яких зможе скроплюватися водяна пара. Це станеться, якщо толоч нагло спаде. Тоді повітря в коморі нагло розшириться і охолодиться; краплі, що повстануть з мряки, осядуть на йонах і ми побачимо їх. Коли н. пр. промінь α перебіжить через комору, то він зйонізує здовж свого шляху повітря і ми побачимо слід того шляху в виді простої лінії. Шляхи променів α в коморі Вільсона можна фотографувати.

ірадон, званий давніше еманацією, радон на гелій і рад А і т. д., вкінці останнім звеном розпаду стає рад G, тотожний з оловом. Але також і посереднє звено тієї переміни, рад D — це олово. Обидва роди олова мають однакові хемічні прикмети, одначе різняться один від одного атомовим тягарем. Рад G має атомовий тягар 206, рад D 210. Незабаром відкрито більше первнів такого типу. Співробітник Радерфорда (Rutherford) Ф. Содді (Soddy) назвав їх ізотопами.

Дослідами ізотопів займалися спершу J. J. Thomson у Кембріджі (Cambridge) та його ученик F. W. Aston (Естон). Останній ужив до своїх дослідів масового спектрографу з каналовими променями й дійшов до отсих висновків: 1) Знані нам первні це майже завжди мішанина кількох ізотопів, що їх атомові тягари групуються довкола атомового тягару, знаного із звичайної хемічної аналізи; 2) атомові тягари ізотопів це цілі числа, якщо прийняти атомовий тягар кисня 16. Н. пр. селен має ізотопи з атомовим тягарем 74, 75, 77, 78, 80, 82.

Крім ізотопів відкрито ще й ізобари т. є. хемічно різні первні, що мають однаковий атомовий тягар. Н. пр. селен і криптон мають ізобари з атомовим тягарем 78, 80, 82.

Коли відкрили ізотопію, атомовий тягар перестав бути характеристичною прикметою первня. На його місце впровадили нове поняття: атомове або порядкове число первня, що стоїть у тісній зв'язку з внутрішньою будовою атому.

Поняття порядкових чисел вийшло спершу з понумеровання первнів, списаних у періодичнім укладі (див. Табл. I) Лотара Маєра (Meyer) та Димитрія Менделєєва за зростаючим атомовим тягарем. Воно набрало фізикального значіння, коли англійський фізик Н. Г. Дж. Мослі (Moseley) відкрив у 1913 р. зв'язок поміж дуговинами (спектрами) променів Рентгена і періодичним укладом первнів. Його можна виразити отими двома законами: 1) Всі первні мають дуже подібну будову лінійних Рентгенівських дуговин (пор. рис. 2 і 3). 2) Відповідно до зросту порядкового числа первнів аналогічні спектральні лінії пересуваються в напрямі коротших хвиль так, що квадратний корінь з частоти коливань (ν) — це приблизно лінійна функція порядкового числа (N) первня, а саме $N = a\sqrt{\nu}$, де a — це сталий чинник. Праця Мослі мала дуже велике значіння тому, що дала змогу поправити та доповнити періодичний уклад первнів і виказала, що атоми всіх первнів мають ідентичну внутрішню будову, зв'язану з емісією променів Рентгена.

II.

Рівнобіжно з тими важними відкриттями виринули проблеми, що стрясали основами класичної фізики. Цими проблемами були: теорія квантів і релятивності. Творцем теорії квантів є Макс Планк. Тому, що теорія промінювання, сперта на законах класичної фізики, попала в різку суперечність з вислідами експериментів, Планк зірвав у 1900 р. з класичним поглядом, що абсорбція та емісія відбувається у суцільний спосіб; він поставив тезу, що ці процеси відбуваються не суцільно, а саме атом, що промінює, не може виділити довільної кількості енергії, лише таку, що є чисельною многократтю означеного мінімального кванта, пропорціонального до частоти коливань. Цей мінімальний квант енергії виражається рівнянням $E = h\nu$, де h — це універсальна стала т. зв. Планковий квант діяння, а ν частота коливань; числова вартість:

$$h = 6,55 \cdot 10^{-27} \text{ erg. sec.}$$

Квантову теорію примінили кілька літ пізніше, коли пояснювали деякі важні явища (питоме тепло, йонізацію), а передусім фотоелектричний ефект та явище Комптона.

Фотоелектричний ефект полягає на тім, що через наświetлення металів світлом хвилі короткої довжини, н. пр. фіолетовим, спричиняємо емісію електронів. Вони вилітають з металю з означеною швидкістю, що не залежить від натуги наświetлення, тільки від частоти коливань світла. Отже й при найсильнішій наświetлюванні не відбувається емісія електронів, доки частота коливань не зростає до певної критичної вартості. Навпаки емісія відбувається негайно, якщо на металеву плиту кинути світло слабкої натуги, але достаточної високій частоті. Щоб пояснити фотоелектричне явище, сперся Айнштейн на теорії квантів і подав у 1905. р. ось таку фотоелектричну теорію: джерело світла викидає енергію, сконцентровану в певних точках, неначе стрільна, що їх називатимемо фотонами, а кожне стрільно несе з собою квант енергії $h\nu$ та визволяє електрон із атомового зв'язку металевої поверхні.

Фотоелектричний ефект важний тому, що хвиляста природа світла зникає в ньому зовсім, зате висувуються на перше місце світляні кванти, а це означає до певної міри ренесанс Ньютової еманційної теорії світла в поглибленому виді. Таким чином при пояснюванні взаєміння поміж промінюванням і матерією з'являється дуалізм: одні явища, як н. пр. угинання та інтерференцію промінювання пояснює дуже добре лише класична теорія, другі, як н. пр. процеси емісії й абсорбції тільки квантова теорія.

Явище Комптона (Artur H. Compton) торкається розсіюного промінювання. Розсіюння видимого світла можна легко обсервувати в затемненій кімнаті, куди крізь щілину вдирається в'язка соняшних промінів; їх перебіг зарисовується виразно через те, що частинки пороку, які носяться в повітрі, розсівають світляні промені на всі боки. Однак світло розсівається також у середовищах, вільних від порошків. Комптон досліджував розсіювання променів Рентгена при переході через деякі тіла н. пр. через графіт. Класична теорія світла передбачує, що в розсіюному світлі виступатимуть завжди ті самі довжини хвилі, що їх має випущене світло. Міжтим Комптон ствердив у 1923 р., що в розсіюних променях Рентгена появляються промені Рентгена із зміненою довжиною хвилі, а саме з частотою коливань ν' меншою від частоти коливань ν падаючих променів. Вияснити це явище можна лише квантовою теорією, а саме падачі кванти $h\nu$ передають частину своєї енергії електронам атомів і відскакують від електронів у виді нових квантів $h\nu'$, бідніших в енергію. Довжина хвилі розсіюного світла залежить від кута, що його замикають розсіяні промені з падаючими променями подібно, як енергія кулі, що в бігу вдаряє в нерухома кулю, залежить по ударі від кута, що його творить напрям бігу її з напрямом первісного руху. Перебіг променів Рентгена та електронів, викинутих з атомів, обсервували при допомозі камери Вільсона.

У 1928 р. відкрив індійський учений Раман (C. V. Raman) з Калькути в царині видимого світла явище, подібне до явища Комптона. Також у явищі Рамана частота коливань світла маліє в наслідок розсіювання. Однак це зменшення частоти коливання не залежить від кута розсіювання, лише відмінно від явища Комптона — від розсіюючого середовища. Явище Рамана можна вияснити лише квантовою теорією.

III.

Спираючись на квантову теорію та на висліди експериментальних дослідів, данський учений Нільс Бор (Niels Bohr) виступив у 1913 р. із смілою концепцією атомового моделю. Давніші концепції будови атомів J. J. Thomson-a і E. Rutherford-a не могли остоятися тоді, як теорія Бора дала змогу обчислити довжину хвилі спектральних ліній водня і гелія згідно з обсервацією. Його теорію примінив А. Зоммерфельд (Sommerfeld) до обчислення Рентгенових дугів; при тому виявилось, що закон Мозлі-я впливає безпосередньо з теорії Бора.

Концепція атомового моделю Бора — це модифікація теорії Rutherford-a з 1912 р. Останній прийняв, що атом складається з додатнього електричного ядра. Довкруги нього кружать електрони неначе планети довкруги сонця. Атом виповняє простір, що його промір виносить 10^{-8} см т. є одну стоміліонову частину сантиметра. Це простір, що до його поверхні доходять найкрайніші шляхи електронів. Саме ядро займає простір мільон разів менший; його промір це біліонова частина сантиметра (10^{-12} см). Однак в ньому зібрана ціла маса атому. Голяндський учений Van der Broek прийняв гіпотезу, що кількість електронів, які кружать довкола ядра, рівнається порядковому числові первня N. До цього треба ще зазначити, що, як виходить з pomірів, наряд електрону має $4,78 \cdot 10^{-10}$ електростатичних одиниць, а його маса це $\frac{1}{1840}$ маси атому водня.¹⁾ Ядро атому водня назвали протоном.

У 1913 р. появилися три праці Бора, що містили нову теорію будови атому. Від тієї хвили настає нова ера в історії фізики; теорія будови атому і теорія повстання дуговин (спектрів) творять тепер нерозривну цілість. Бор приймає модель Rutherford-a, доповнений Van der Broek-ом, але додає до нього оті три постулати:

I. Електрон може порушатися довкруги атомового ядра лише по певних постійних шляхах (орбітах), для яких добуток довжини обводу орбіти $2\pi r$, скорости електрону v і маси його m рівнається сталій Планка h , помноженій цілим числом. Отже заходить рівняння:

$$2\pi r v m = k \cdot h, \text{ де } k = 1, 2, 3, 4 \text{ і т. д.}$$

II. Коли електрон кружляє по якійсь постійній орбіті, тоді не випромінює енергії.

III. Промінювання енергії відбувається при переході електрону з одної постійної орбіти на другу постійну орбіту, що знаходиться ближче ядра. Тоді атом емітує один квант енергії промінювання. Якщо атом мав енергію W_1 , коли його електрон кружив на дальшій шляху і перейшов на ближчий постійний шлях, що йому відповідає запас енергії W_2 , то згідно з третім постулатом Бора емітована енергія $W_1 - W_2 = h\nu$, звідки $\nu = \frac{W_1 - W_2}{h}$; ν — кількість коливань емітованого промінювання.

Очевидно, якщо атом приймає енергію ззовні, то електрон пересувається з ближчої орбіти на дальшу. Поодинокі лінії дуго-

¹⁾ Маса атому водня = $1,65 \cdot 10^{-24}$ грамів.

вини, що з них кожна має своє ν , відповідають третьому постулатові.

У дальшій розвитку розгалужився дослід будови атому на дві відноги: 1) на фізику атомового ядра, що займається явищами радіоактивності, ізопоії та розпаду атомів і 2) на фізику електронової поволоки, що досліджує теорію дуговин, питання, як повстають молекули, вартісність первнів та теорію періодичного укладу первнів.

Досліди над атомовим ядром пригадали наново гіпотезу Віліяма Правта (Prout) з 1815 р. Згідно з нею атоми всіх первнів це конільомерати атомів водня. Н. пр. атом гелія складається з чотирьох атомів водня. В міру того, як росла докладність pomірів атомових тягарів ця гіпотеза не могла вдержатися, бо атомові тягарі багатьох первнів сильно відбігали від цілих чисел, н. пр. атомовий тягар хльору є 35,46. Однак явище ізопоії, відкрите в XX. столітті, дало змогу вияснити відхили атомових тягарів від цілочисельности. І так хльор має два ізопои з атомовими тягарами 35 і 37, а легшого ізопоу у хльорі є 75%. Це дає середній атомовий тягар 35,46 згідно з pomірами. Також усі інші первні, що їх атомові тягарі значно відбігають від цілочисельности, це мішанини ізопоів. Aston допровадив у своїй робітні у Кембрідж досліди над ізопоами при допомозі масового спектрографу до незвичайної прецизії і на їх основі привернув гіпотезі Правта знову почесне місце, хоч у дещо зміненому виді.

Але насунулася ще одна трудність. Атомовий тягар водня рівнається 1,008. Атомові тягарі інших первнів, що в нормальних умовах не мають ізопоів, повинні бути множкратями цього числа. Н. пр. атомовий тягар гелія повинен рівнатися 4,032, а рівнається фактично 4, отже він фактично менший. Цей дефект маси можна пояснити висновками з теорії релятивности. На основі цієї теорії між енергією і масою існує зв'язок, що його можна виразити рівнянням: $E = mc^2$, де m маса, а c скорість світла ($3 \cdot 10^{10}$ cm/sec.). Гіпотетичний процес повстання ядра гелія (частинки α) з 4-ох протонів (ядер водня) був екзотермічний; виділення енергії спричинило дефект маси 0,032, рівноважний цій енергії. Для 4-ох грамів гелія, себто для одного моля гелія дає цей дефект маси $0,032 \cdot 9 \cdot 10^{20}$ ергів т. є $0,28 \cdot 10^{20}$ ергів. Коли перечеисимо це на великі кальорії, приходимо до висновку, що при повстанні з протонів граматому т. є. 4-ох грамів гелю виділюється 645 мільонів великих кальорій. Це дуже велика енергія. Навлаки, на розшіплення частинки α необхідно було б зужити таку саму кількість енергії. Тим пояснюється незвичайна

тривалість атому гелія. Частинки α , викинені з радіоактивних субстанцій, досягають скорості більші як 10000 km/sek. та тому розбивають атоми інших тіл, що їх стрічають у своїм леті, однак самі не розбиваються.

По виясненні згаданих труднощів прийнято, що атоми всіх первнів складаються з протонів і електронів. Якщо порядкове число первня є N , то зовнішня поволока атому містить N електронів. Ядро первня з атомовим тягарем A складається з A протонів, якщо прийняти тягар одного протону $= 1$. Для всіх первнів з винятком водня порядкове число менше від атомового тягару. Тому, що A протонів має A одиниць додатного електричного наряду, а N електронів зовнішньої поволоки N одиниць від'ємного електричного наряду, то для скомпензування надлишки додатного наряду приймала давніша теорія приєдність електронів також у ядрі. Їх кількість є $A - N$, н. пр. для літу $7 - 3 = 4$. (7 є атомовий тягар літу, 3 порядкове число).

Описана теорія ядра вдержалася більше, як 20 літ тому, що була дуже проста й гармонізувала з бігуновими явищами в світі, що проявляються в існуванні двох родів електричності, двох родів магнетизму, в протиставленні кислот і основ, в двополовості організмів. Лише питання, чому додатний наряд електричності в'яжеться з 1840 разів більшою масою, як від'ємний, не давало дослідникам спокою аж до останніх років.

IV.

Міжтим учинився рух у інших ділянках фізики. Зусилля визначних фізиків, щоб усунути дуалізм з оптики, що пояснювала одні явища при допомозі хвилястої, другі при допомозі квантової теорії, не принесли успіхів, навпаки дуалізм поглибився та поширився в ділянках, що досі були однотипові. Люї де Бролі (Louis de Broglie) кинув у 1924 р. смілу думку, що цей дуалізм у природі щось суттєве, та переніс його також на матерію. Так, як світляні хвилі несуть із собою кванти енергії т. зв. фотони, так само всяким частицям (корпускулам), що порушуються в просторі, товаришать хвилі, звані хвилями матерії. Довжину матеріальної хвилі дає взір $\lambda = \frac{h}{mv}$, де h це звісна стала Плянка, m маса частини, v скорість її.

Погляди де Бролі-я ствердили вже в 1926 р. американські фізики Davisson і Germer та доказали через експерименти існування хвиль матерії. Вони обсервували явища угинання та інтерференції корпускулярних (електронових) променів на кри-

сталах і одержали ефекти подібні до ефекту, що його дістав фізик Laue у 1912 р. при переході променів Рентгена крізь кристали. Інші дослідники, як F. Kirchner, Thomson, Trillat, O. Stern, Kikuchi, потвердили ці спостереження й виказали, що не лиш електрони, але також йони, атоми і молекули проявляють підчас руху хвилясті властивості.

Оцих фактів не можна було змістити в укладі понять класичної фізики. Тому насунулася конечність перевести зміни в укладі закорінених понять.

Тієї реформи піднялися передовсім Ервін Шредінґер (Schrödinger) і Вернер Гайзенберґ (Heisenberg) у 1925 р. Шредінґер найшов славне рівняння хвиль¹⁾, що подає закони переміни енергії в атомі. Це різничкове рівняння хвиль де Бролі. Його примінення довело до великих успіхів у науці; висліди числення, переведені при його допомозі, знаменито годяться з обсервацією, однак багато в ньому незрозумілого. Передусім неозначений у хвилях Шредінґера підмет коливань тоді, коли досі в усіх хвилястих явищах підмет, що відбуває коливання, був докладно означений, н. пр. у голосових хвилях коливалися частинки повітря, в електронових натуга поля. Хвилі, що виступають у розв'язках Шредінґерових рівнянь — це не хвилі в звичайнім фізикальнім значенні, т. зн. процеси, що періодично змінюються у просторі й часі. Вони не розпросторюються навіть у тривимірнім просторі реального світа, але в т. зв. конфігураційнім просторі укладу, т. зн. у подуманім просторі, що має тільки разів по три виміри, скільки уклад має частинок, що діють взаємно на себе. Н. пр. атом урану мав би простір з 276 вимірами.

Майже рівночасно із Шредінґером створив свою квантову механіку Гайзенберґ. Він поставив вимогу, щоб теорія розглядала лише ті величини, що їх можна безпосередньо мірити, як н. пр. довжину хвилі, а не впроваджувала напів метафізичних величин, що їх годі безпосередньо змірити, як н. пр. сурядні й скорості поодиноких електронів. У математичнім розвиненні теорії впровадив Гайзенберґ особливе угруповання однородних величин т. зв. матрици. Щоб виконати альгебричні дії на матрицах, необхідно було впровадити окремі дефініції.

Ундуляційна механіка Шредінґера і квантова механіка Гайзенберґа, не вважаючи на інший підхід, дали згідні фізикальні

¹⁾ $\Delta S + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E - V) S = 0$, де E = енергія, V = потенціальна енергія, S = функція коливання.

висліди. Характеристичною рисою обох теорій те, що вони не займаються індивідуально електронами й протонами, лише висказують статистичні висновки про імовірність їхньої появи в означених місцях або в означених станах. На погляд Гайзенберґа таке трактування проблеми в'яжеться з характером внутрішньо-атомових явищ, а детерміністичне охоплення явищ у мікркосмі неможливе.

У макроскопічному світі спираємося на засади причиновості. Вона в тому, що, знаючи дотеперішній стан давних тіл, чи то початковий їх стан і закони перебігу явищ, можемо передбачити майбутні явища. Засаду причиновості вважали цілі генерації природників і філософів за ненарушиму догму. Йоган Бернуллі (Jean Bernoulli) на початку XVIII. століття висказав погляд, що, коли відкинути засаду причиновості, ціла природа стане безладним хаосом. Також Кант вважав причиновість за одну з підставових апіорних категорій наукового думання, що без неї пізнання природи неможливе. Засада причиновості дала усім природничим наукам великі успіхи, а вершком її успіхів було передбачування руху небесних тіл із математичною точністю.

Однак справа не така проста, як здавалося б. Коли фізики перейшли з макроскопічних дослідів до механіки атомового світа, з'явився індетермінізм і засада причиновості заломилася, коли переступила границі мікркосму.

Класичний приклад того — промінювання радю. Кожний атом радю в якійсь хвилині перетворюється вибухово в атом радону, викидаючи з себе частину α . Половина атомів, що з них складається якийнебудь препарат радю, зміниться протягом 1580-ох літ. Уявимо собі два відокремлені атоми радю, що знаходяться в ідентичних умовах. Заходить питання, коли для кожного з них наступить переломова хвилина перетворення. Фізики не в силі відповісти на це питання. Один атом може підлягти переміні в отій мінуті, другий за мільйон літ, хоч нема між ними ніякої різниці, яку можна було б ствердити фізикальними методами. А все те діється на основі певного закону, а саме закону імовірності. В кожній хвилині існує означена й завжди та сама імовірність, що атом радю переміниться н. пр. за годину. І хоч той атом радю не розпадається й по мільйоні літ, то шанси його розпаду не зміняться. Число, що виражає імовірність розпаду, це характеристична стала радю. Коли маємо перед собою препарат радю з великою кількістю атомів, то можемо докладно

обчислити, кілька з них розпадеться протягом одної години, але не можемо знати, котрі з них розпадуться і чому.

Рівнож коли на якусь скляну плиту падає промінь світла себто більша кількість фотонів, то на основі закону імовірності можемо докладно сказати, кілька фотонів відібеться від плитки, а кілька з них увійде в плитку, але доля кожного фотона зокрема й причина його поведінки в кожному випадку невідома.

Отже маємо тут статистичні закони, знані в класичній фізиці вже й давніше, н. пр. другий закон термодинаміки. Однак в класичній фізиці можна було спертися на статистичні закони на засаді причиновості тоді, коли в квантовій механіці, як це доказав Нойман (J. v. Neumann), статистичні закони не можуть спиратися на причинових законах. Отже мусимо числитися, як каже Бор, із свободою вибору природи поміж різними можливостями.

Та існує ще один бік справи в засаді причиновості. Коли обсервуємо якесь явище, нам здається, що наша обсервація не має жадного впливу на перебіг явища. Так дійсно й є підчас обсервації великих предметів н. пр. планет. Інакше діється, коли предмет обсервації належить до атомового світа. Тоді кожний експеримент, переведений при допомозі найніжніших приладів, внесе такий заколот у перебіг явища, що його не зможемо визначити. Коли хочемо визначити положення маленької частини н. пр. електрону, мусимо освітлити його; однак фотони світла, вдаряючи на електрони, змінюють його швидкість і визначення його положення стає ілюзоричне. Подібні факти стрічаємо також у біології і психології. Строго примінення фізико-хімічних понять до живих організмів попадає на межу, що її витичила природа так, що досліджування життєвих проявів фізикальними методами, які вникали до їх найглибших елементів, мусило би спровокувати зовсім певну смерть організму (думка Бора). Тільки мертве тіло піддається довільному експериментуванню, натомість життя зникає, втікаючи при надмірно поглибленім досліді. Бор добачує паралелізм поміж почуттям свободи волі, питомим свідомому життю, а органічними функціями, що не допускають аві причинового органічного опису аві настирливого фізикального досліді. Він вказує також на труднощі, що їх стрічає психологічна аналіза з причини факту, що зміст свідомості підлягає модифікації з хвилиною, коли наша увага зосередиться на одній складовій подробиці тієї свідомості. Ця обставина унеможливує докладне усталення фактів свідомості й тому не можна домагатися детерміністичного її опису.

Ще далі відбігає від класичної інтерпретації фізикальних pomірів засада невизначальности Гайзенберґа. Класична фізика приймала можливість пізнати якийсь уклад при допомозі pomірів. Н. пр. щоби визначити стан електрону, треба передусім визначити в даній хвилині його положення та шкорість. Класичний фізик вірив, що це зробиться подібно, як це зроблено, визначаючи стани планет. Однак Гайзенберґ доказав, що визначення одної з тих величин виключає визначення другої. Н. пр. можемо визначити положення електрону, але збурення, що товаришитиме цьому pomірові, зробить шкорість його неозначеною величиною й навпаки: докладний pomір шкорости змінє положення.

У дальшій розвитку хвилястої механіки Шредінґера заслужився в великій мірі англійський фізик Дірак (Dirac). Примінюючи до неї теорію релятивности, дійшов він до висновку, що електрони обертаються довкола осей. Зрештою гіпотезу про оборот електронів впровадили були ще в 1924 р. Uhlenbeck і Goudsmit для потреб спектроскопії. Другим важним висновком Дірака — це можливість існування додатних електронів або т. зв. позитронів

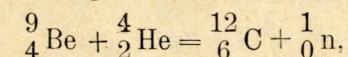
V.

Незалежно від висновків Дірака ствердив американський фізик Андерсон (C. D. Anderson) у Пасадені (Каліфорнія) в 1932 р. існування позитронів. Він досліджував йонізацію та розбивання атомів під впливом космічних променів. Космічні промені це промені, що їх відкрив Гесс 1911 р. Вони приходять із світових просторів і визначаються далеко більшою проникливістю, як промені Рентґена. Коли їх фотони ударають в атоми, то можна сподіватися, що викинуть із атомового зв'язку електрони з дуже великою енергією. Андерсон досліджував енергію цих електронів при допомозі комори Вільсона, що її розмістив у дуже сильнім магнетнім полі. Він найшов попри сліди електронових шляхів також сліди шляхів частинок, що їх маса була рівна масі електронів, а наряд був додатний (рис. 4 і 5). Ці висліди потвердили опісля Blackett і Occhialini в Cambridge, Ліза Майтнер (Meitner) у Берліні і Тібб (Thibaut) в Парижі.

Майже рівночасно з відкриттям позитрону відбулося відкриття ще одної цеголки атомової будівлі, а саме нейтрону. Це елементарна частина без електричного наряду, що її маса майже дорівнює масі протону. Перші кроки в напрямі відкриття нейтрону зробили у 1930. р. W. Bothe і H. Becker. Вони обстрі-

лювали променями α легкі первні і ствердими, що деякі з них, особливо берил, а також бор, літ і флюор виділюють дуже тверде проникливе промінювання, що у випадку берилу і бору проникає олов'яні плити, грубі на кільканадцять сантиметрів. Дальші досліди над цим явищем почали в 1934 р. Ірина Кюрі-Жоліо (Curie-Joliot) і її чоловік Фридрих Жоліо у радовім інституті в Парижі. Досліджуючи ці промені у йонізаційній коморі, доказали, що ті промені, вдаряючи на парафіну або на інші сполуки водня, викидають з атомів цих тіл протони незвичайної енергії (до 5 мільонів вольтів).¹⁾ Завдяки цій енергії перелітають оті протони в повітрі около 30 см дороги.

Чедвік (J. Chadwick) повторив у 1932 р. ці спроби в робітні Кевендіша (Cavendish Laboratory) в Кембрідж (Cambridge) і на основі своїх дослідів прийшов до висновку, що причиною викидання протонів і ядер інших первнів в описаних і подібних явищах були вищезгадані нейтрони, що попри промені γ вилітають з берилу під впливом обстрілу променями α . Процес повставання нейтронів з берилу на погляд Чедвіка ось який:



де Be це атом берилу, He атом гелю, C атом вугля, n нейтрон. Числа 9, 4, 12, 1 означають атомові тягарі відносних первнів, зате 4, 2, 6, 0 це їх порядкові числа.

Теоретичну концепцію нейтрону висунув був ще давніше бо в 1920. р., Rutherford, найбільший сучасний авторитет у царині атомового ядра. Нейтрон, не маючи електричного наряду, може переходити свобідно через матерію тому, що він не відхилюється в сильних електричних полях атомових ядер. Це й ствердили дальші спроби.

З відкриттям нейтрону розпоряджує сучасна фізика отсими елементарними частинами себто найпростішими цеголками, що з них збудована матерія:

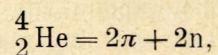
Елементарні складники матерії:

Назва	Символ	Наряд	Маса
Електрон	e^-	-1	0,00054
Протон	${}^1_1\text{H} (\pi)$	+1	1,00724
Позитрон	e^+	+1	0,00054
Нейтрон	${}^1_0\text{n}$	0	1,0080.

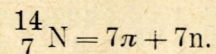
¹⁾ 1 електроновольт = $1,55 \cdot 10^{-12}$ ергів.

Одиниця електричного наряду, наведена в таблиці, має $4,796 \cdot 10^{-10}$ то є 4,796 десятихтисячмільонових частин електростатичної одиниці електричного наряду. Атомовою одиницею маси рівняється $\frac{1}{16}$ маси атому кисня або $1,66 \cdot 10^{-24}$ г т. зн. 1,66 квадриліонових грама.

Відкриття нейтрону дало змогу змодифікувати дотеперішній погляд на будову атомового ядра. Тепер прийняли погляд, що всі атомові ядра складаються лише з протонів (π) і нейтронів (n). Отже відпала потреба впроваджувати до ядра внутрішні електрони тимбільше, що досліди спектральних ліній промовляють проти того. Зате нейтронам приписують фізики ролю цементу, що споює в ядрі протони, які відпихають себе, маючи одноіменні електричні наряди. Згідно з новим поглядом ядро гелія складається з двох протонів і двох нейтронів. Давніше думали, що воно зложене з чотирьох протонів і двох внутрішніх електронів. Отже склад ядра гелія можна представити рівнянням:



а для ядра азоту маємо:



В 1933 р. з'явилося ще одно помітне відкриття, а саме Н. С. Urey, F. G. Brickwedde і О. М. Murphy відкрили тяжкий ізотоп водня з масою 2. У звичайнім водні є його лише 1‰, а решта водень з масою 1. Цей ізотоп назвали деутерієм (deuterium) і дали йому символ D, а його атомове ядро назвали деутон. У зв'язку з тим крім звичайного молекула води H_2O з молекулярною масою 18 існують ще молекули тяжкої води D_2O з молекулярною масою 20 і мішані HDO з молекулярною масою 19. Прикмети тяжкої води відмінні від звичайної, н. пр. нормальна точка кипіння $101,42^\circ$ (звич. 100°), температура ціннення $3,8^\circ$ (звич. 0°), найбільша густота при $11,6^\circ$ (звич. 4°). Тяжку воду одержують через електролізу заквашеної або лугової води.

VI.

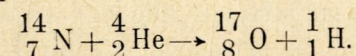
Дуже важна проблема останньої доби — це проблема переміни атомових ядер. Догма незмінності первнів захиталася вперше, коли Rutherford і Soddy поставили у 1902. р. гіпотезу самочинного розпаду атомів, щоб в'яснити радіоактивні процеси. Тоді пізнали первні, що перемінюються одні в другі і творять цілі ряди похідних первнів. Н. пр. уран це перше звено ряду, що через рад, радон та інші добутки розпаду веде

до олова. Однак не було змоги впливати на ці переміни з зовні т. зн. викликувати їх штучно.

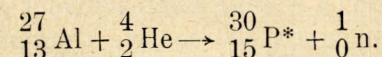
Другий етап науки про переміни первнів наступив у 1919. р., коли Rutherford у Кембрідж при допомозі променів α , висиланих радіоактивними субстанціями, розбив атоми азоту, алюмінія та інших легких первнів і таким чином перемінив їх у інші атоми. Віденці Kipx, Петтерссон, Штеттер та інші розбили цією метою ядра багатьох інших первнів.

Третій етап розбивання атомів припадає на 1932. р., коли J. D. Cockcroft і E. T. S. Walton у Кембрідж розбили протонами атоми легких первнів. Вони наповнили рурку до витворювання каналових променів розрідженим воднем та діяли на нього напругою 100000 вольтів. Протони й деутони набирали під впливом цієї напруги дуже великої скорости. Коли обидва дослідники пускали їх на різні первні, н. пр. літ, берил, бор, — видатність перетворених атомів була далеко більша, як при ужитті радіоактивних препаратів.

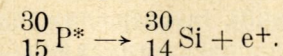
Процеси переміни атомів це не лише розбивання атомових ядер, але також їхня перебудова та добудова. Н. пр. Rutherford обсервував у 1919. р. переміну азоту під впливом променів α , що підчас неї витворився ізотоп кисня з атомовою масою 17 і водень згідно з рівнянням:



Працюючи над дослідями переміни атомів, відкрили м. ін. Жоліо (Joliot) у 1934. р. штучну радіоактивність. Вони обстрілювали алюміній, опісля також інші первні частинами α (геліонами) і ствердили повстання радіоактивного ядра фосфору. Цьому процесові відповідає рівняння:



${}^1_0\text{n}$ це нейтрон, ${}^{30}_{15}\text{P}^*$ це радіоактивний ізотоп фосфору. Ця відміна фосфору дуже швидко перетворюється на сіліцій (крем Si), при чому виділюється позитрон e^+ згідно з рівнянням:



Час половини розпаду радіоактивного фосфору $3\frac{1}{4}$ хвилини. Радіоактивні первні означуємо зізвездкою.

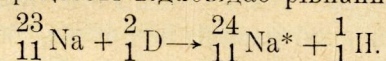
Отсе важне відкриття п.п-а Жоліо довело до пізнання трьох ось таких фактів:

1. Крім досі знаних природних радіоактивних речовин, до яких належать первні з найвищою атомовою масою, існують також радіоактивні ізотопи найлегших первнів.

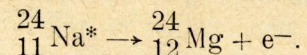
2. Останні можна витворити штучно із звичайних первнів.

3. Крім досі званого радіоактивного розпаду, що відбувається при рівночасній емісії частинок α (геліонів) або частинок β (електронів), існує ще один рід радіоактивного розпаду: підчас того ядро викидає позитрони. Дальші досліді ствердили радіоактивні переміни, коли ядра викидають нейтрони або протони.

У 1935-ім році витворив Lawrence у Каліфорнії радіоактивний сод у більшій кількості обстрілюванням звичайного соду та його солей деутонами (тяжким воднем) великої шкороности. Цьому процесові відповідає рівняння:



Радіоактивний сод ${}_{11}^{24}\text{Na}^*$ виділює електрон e^- і перемінюється в магнезій:



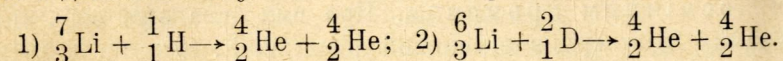
Описана метода провадить до витворювання радіоактивної кухонної соли, що може придатися для лікувальних цілей.

Щоб збільшити видатність ядрових перемін, збудовано інфлюенційні машини, що дають до 5 мільонів вольтів напруги. Вона надає протонам і деутонам дуже великої шкороности (рис. 6). Також ще інакше можна збільшити шкороності частинок, а саме піддаючи їх кількакратно діяння електричного поля 100.000 вольтів. В тій цілі піддають їх рівночасно діяння електричного і магнетного поля так, що вони описують спіральні дороги з більшою кількістю обігів, а підчас кожного обігу діє на них електростатичне поле напруги 100.000 вольтів. Останньої методи вживають Lawrence і Livingstone у технологічному інституті в Пасадені у Каліфорнії.

Фермі і його співробітники в Римі вжили до переміни первнів нейтронних променів, емітованих берилем під впливом протонів радону (еманації), та одержали поверх 50 радіоактивних первнів з дуже коротким часом тривання. Їх досліджували чисельним приладом Geiger-а і Müller-а. Ці досліді у приміненні до урану довели до витворення трансуранив, себто первнів із вищим порядковим числом, як уран, але дуже коротко живучих.

У ядрових реакціях закон про непропащу енергію задержує своє значіння, якщо взяти під увагу зміни маси перед і по ре-

акції. Н. пр. розторощення ядра ізотопів літу при допомозі протонів і деутонів відбувається згідно з рівняннями:



Маси цих ядер визначили дуже докладно масовим спектрографом Естон і Бенбрідж (Aston, Bainbridge). Різниця мас лівої і правої сторони рівняння (1) вносить в атомовій мірі 0,0181, що відповідає енергії 17,1 мільонів електровольтів. Рівнож енергія викинутих частинок α рівнається 17,1 мільонів електровольтів. Для реакції, зображеної другим рівнянням, вносить кінетична енергія визволених частинок α 22,5 мільонів вольтів згідно з енергією, що відповідає обосторонній різниці мас.

У всіх ядрових реакціях, що в них визволюється енергія в виді тяжких частинок, зберігає своє значіння закон про збереження енергії, імпульсу та ядрового наряду. Однак в випадках, що в них повстають підчас переміни додатні або від'ємні електрони, насуваються певні труднощі, ще досі невияснені. Щоб і в цім випадку зберегти засаду непропащої енергії, запропонували Павлі (Pauli) і Фермі впровадження нової елементарної частини атомового ядра т. зв. нейтрино, що підчас радіоактивного розпаду визволюється з ядра, крім частинки β .

Професор Cockcroft з Кембрідж реферував 1936. р. у Цюріху на конгресі, посвяченім ядровій фізиці, про свої дуже дбайливо переведені досліді над білянсом енергії підчас розпаду штучних радіоактивних речовин. Коли підчас радіоактивного процесу α вилітає геліон завжди з однаковою енергією з атому, що розпадається, — то підчас як природного, так також штучного розпаду β електрони вилітають з атому, що розпадається, з різною шкоростю. Таким чином існує суцільний спектр (дуговина) електронних шкоростей, що в ньому знаходяться всі енергії від зера до найбільшої енергії електрону E_0 . Замітне те, що атомова маса радіоактивної субстанції після розпаду докладно така завелика, непаче б кожен атом стратив підчас розпаду β максимальну енергію E_0 . Отже якщо електрон вилітає з атому з меншою шкоростю, якби це відповідало максимальній енергії, то з того можна висувати, що атом віддає частину енергії також куди інде. І якраз носієм цієї частини енергії є частинка нейтрино. Йордан, Кроніг та інші фізики видвигнули значіння їх для оптики. На їх думку кванти світла це або нейтрино або складаються з двох нейтринів: додатного і від'ємного.

VII.

При кінці нашого огляду годиться ще кілька слів присвятити космічним променям. Про них була вже мова вище. Існування їх ствердив вімецький фізик V. E. Hess ще в 1912-ім році на висоті 5,2 km, пізніше W. Kohlhörster у висоті 9,3 km. В 1932. р. мірили A. Piccard і Cosyns особисто їх натугу до висоти 18 km, а E. Регенер при допомозі реєстраційних баллонів і самочинних приладів до висоти 30 km. Поміж роком 1920 і 1930 R. A. Millikan у північній Америці розвинув незвичайну енергію у дослідках над космічними променями. В тій цілі відбув ряд подорожей по Північній та Південній Америці, щоб у високоположених озерах досліджувати вглитання космічних променів водою. Голяндський дослідник J. Clay мірив натугу космічних променів в часі кількох подорожей поміж Амстердамом і голяндськими посілками на Яві, а A. H. Compton з Чикаго зорганізував ряд експедицій, що, послугуючися приладами однакового типу, виконали поміри в кількадесяти точках земської кулі в різних географічних ширинах і різних висотах.

Згадані та інші дослідники переводили свої досліди переважно при допомозі комори Вільсона, уміщеної в магнетнім полі, та числильного приладу Гайгера. Ці досліди виказали, що космічні промені складаються із хвилястих променів високої проникливості та з корпускулярних променів. Первісні промені — це корпускулярні промені. На це вказують досліди в стратосфері та в різних географічних ширинах. Магнетне поле землі мав вплив на їх перебіг тоді, коли хвилясті промені не підлягали б цьому діянню. Ті корпускулярні промені складаються з протонів, електронів і позитронів незвичайної скорости, отже також незвичайної енергії. Найпроникливіші з-поміж них зложені мабуть з електронів, що їх скорість майже дорівнює скорості світла, а енергія рівна 10^{11} електронівольтів.

Первісні космічні промені втворюють у земській атмосфері вторинні промені хвилястої природи, що мають коротшу довготу хвилі, як найтвердші промені Рентгена. Вторинні промені втворюють третинні корпускулярні промені таким чином, що фотони їх, маючи дуже багато енергії, при зударенні з матерією розпадаються на електронів близнята: позитрони й електрони. Тут маємо процес матеріялізації фотонів, що перемінюються в матеріяльні частинки, а саме на електрон і позитрон. Фотографічні знімки, що їх зробили Blackett, Андерсон і Neddermeyer у Вільсоновій коморі, вказують виразно відхилення частинок у магнетнім полі в протилежних напрямках. Рівнож обсервовано

цілі в'язки космічних променів. Поодинокі промені в'язки виходять виразно з однієї точки, отже напевно повстають через абсорбцію одного космічного променя в матерії.

Процес матеріялізації енергії передбачив був Айнштейн ще перед 25 літами у теорії релятивності і, спираючись на погляд, що енергія рівноважна матерії, уложив рівняння: $E=mc^2$. Воно надається також й до того, щоб пояснити відворотний процес, а саме, як повстають космічні промені через знищення матерії в глибинах всесвіта. Ці висновки й далші досліди дозволять мабуть вже небаром збагнути процеси, що відбуваються в далеких світах.

ЛІТЕРАТУРА.

Thirring. Die Wandlung des Begriffsystems der Physik. (Fünf Wiener Vorträge, Leipzig u. Wien. 1933.).

Mark. Die Erschütterung der klassischen Physik durch das Experiment. (Fünf Wiener Vorträge. 1933.).

Thirring. Die physikalischen Entdeckungen der letzten Jahre. (Fünf Wiener Vorträge. 1936.).

Heisenberg. Prinzipielle Fragen der modernen Physik. (Wiener Vorträge. 1936.).

Lord Rutherford. Radioaktivität und Atomtheorie. (Die Naturwissenschaften 1936. S. 678.).

Erich Regener. Die kosmische Ultrastrahlung. (Die Naturwissenschaften 1937. S. 1).

Czesław Białobrzewski. Ogólno naukowe konsekwencje społecznej fizyki. (Fizyka i chemia w szkole. 1937. Marzec. Str. 243.).

Зміст реферату проф. Cockroft-а на конгресі „Tagung über Kernphysik an der Techn. Hochschule. Zürich. (Die Naturwissensch. 1936. S. 718.).

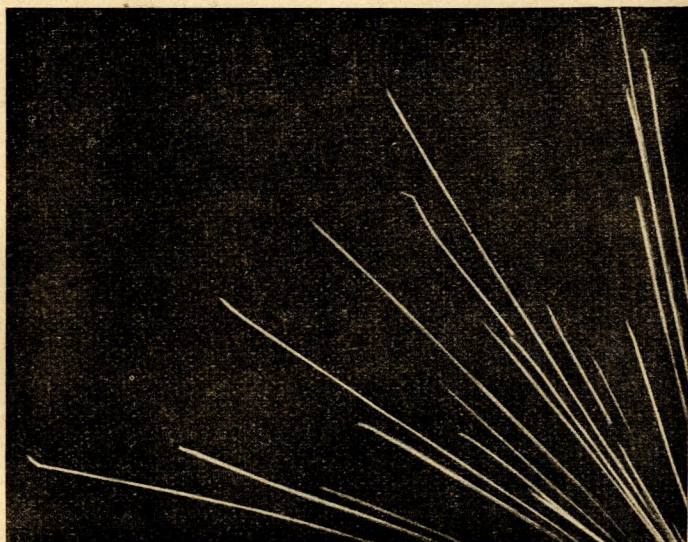


Рис. 1. Сліди шляхів променів « в коморі Вільсона.

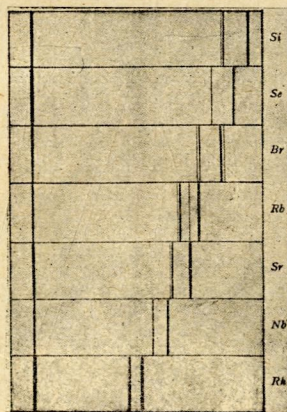


Рис. 2. Лінії ряду К Рентгенових дугових деяких первнів.

Т А В Е Л Я

Періодична система хімічних первнів.

Період	I. група	II. група	III. група	IV. група	V. група	VI. група	VII. група	VIII. група	O. група
I	1 H 1,008								2 He 4,00
II	3 Li 6,94	4 Be 9,02	5 B 10,82	6 C 12,000	7 N 14,008	8 O 16,000	9 F 19,00		10 Ne 20,18
III	11 Na 23,00	12 Mg 24,32	13 Al 26,97	14 Si 28,76	15 P 31,04	16 S 32,06	17 Cl 35,46		18 Ar 39,94
IV	19 K 39,10	20 Ca 40,07	21 Sc 45,10	22 Ti 47,90	23 V 51,0	24 Cr 52,01	25 Mn 54,93	26 Fe 55,84 27 Co 58,94 28 Ni 58,69	
	29 Cu 63,57	30 Zn 65,38	31 Ga 69,72	32 Ge 72,60	33 As 74,93	34 Se 79,2	35 Br 79,92		36 Kr 82,9
V	37 Rb 85,45	38 Sr 87,63	39 Y 88,93	40 Zr 91,92	41 Nb 93,5	42 Mo 96,0	43 Ma (98)	44 Ru 45 Rh 46 Pd 101,7 102,9 106,7	
	47 Ag 107,88	48 Cd 112,4	49 In 114,8	50 Sn 118,7	51 Sb 121,8	52 Te 127,5	53 J 126,93		54 X 130,2
VI	55 Cs 132,8	56 Ba 137,4	57—71 Лантаноидні метали	72 Hf 178,6	73 Ta 181,4	74 W 184,0	75 Re 186,3	76 Os 77 Ir 78 Pt 190,9 193,1 195,2	
	79 Au 197,2	80 Hg 200,6	81 Tl 204,4	82 Pb 207,2	83 Bi 209,0	84 Po (210)	85 —		86 Rn(Em) 222
VII	87 —	88 Ra 226,0	89 Ac (227)	90 Th 232,1	91 Pa (231)	92 U 238,1			
Р і д к і з е м е л ь н і м е т а л и (57—71)									
57 La 138,9	58 Ce 140,1	59 Pr 140,9	60 Nd 144,3	61 II —	62 Sm 150,4	63 Eu 152,0	64 Gd 157,3	65 Tb 159,3	66 Dy 162,5
									67 Ho 163,5
									68 Er 167,6
									69 Tu 169,4
									70 Yb 173,5
									71 Cp 175,0

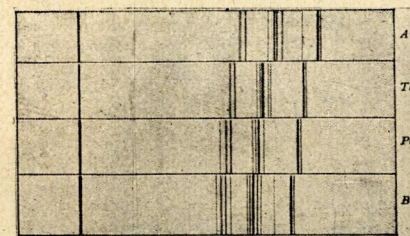


Рис. 3. Лінії ряду L Рентгенових дугів деяких первнів.

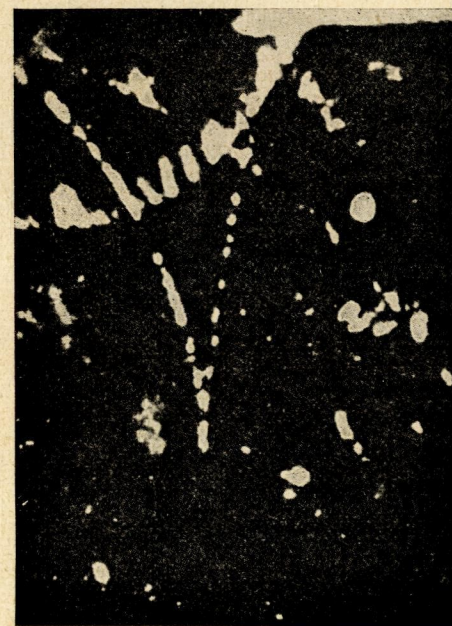


Рис. 4. Сліди пари електронів, додатного та від'ємного, витворених фотоном променів γ в коморі Вільсона, уміщеній у магнетнім полі.



Рис. 5. Вільсонові в'язки шляхів частинок, що виступають під впливом космічних променів.

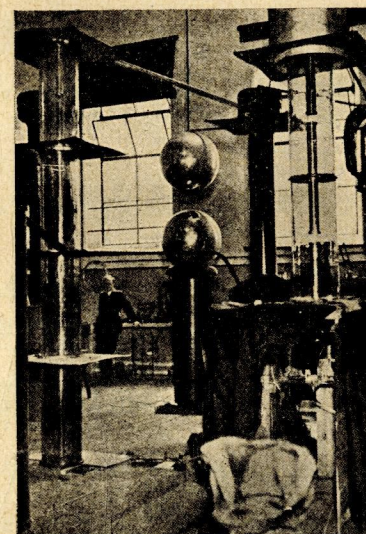


Рис. 6. Електростатична машина високої напруги Cockcroft-a і Walton-a.