

Д-р РОМАН ЦЕГЕЛЬСЬКИЙ (Львів).

## Фізикальні проблеми останньої доби.\*)

### I.

Двадцять 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 десятків літ захитали основами класичної фізики та приневолити до їх ревізії. Ці проблеми — це квантова теорія Плянка, теорія релятивності Айнштайна, теорії будови атомів, пр. теорія Бора та теорія матеріальних 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 ворухиться, 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, одначе з огляду на вагу теми вважаємо вказаним псмістити його в Збірнику секції. — *Редакція.*



Маєр, Джеймс Джюль (James Joule), Уїлям Томзен (William Thomson) та Гельмгольц, розвинулася завдяки працям Клявзіуса (Clausius), Мексуеля (Maxwell), Больцмана (Boltzmann) і Смолюховського. Рівнобіжно з тим дійшла до великого розвитку хемія, послугуючися в своїх дослідах 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 залишаться 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 ХІХ. 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  $\alpha$ , виконане методом Вільсона<sup>1)</sup> (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 недавна 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

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



ірадон, званий давніше еманациєю, 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 тягарі групуються довкола атомового тягару, знаного із звичайної хемічної аналізи; 2) атомові тягарі ізотопів це цілі числа, якщо прийняти атомовий тягар кисня 16. Н. пр. селєн 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. селєн 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 Мєєра (Meuer) та Димитрія Менделєєва за зростаючим атомовим тягарем. Воно набрало фізикального значіння, коли англійський фізик Н. G. J. Moseley (Мозлі) 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 ( $\nu$ ) — це приблизно лінійна функція порядкового числа ( $N$ ) первня, а саме  $N = a\sqrt{\nu}$ , де  $a$  — це сталий чинник. Праця Moseley-а 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 стрясли 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 різьку 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  $\nu$  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 Комптова.

Фотоелектричний ефект полягає на тім, що через насвітлення металів світлом хвилі короткої довжини, н. пр. фіялковим, спричинює емісію електронів. Вони вилітають з металю з означеною шкоростю, що не залежить від натуги насвітлення, тільки від частоти коливань світла. Отже й при найсильнішій насвітлюванні не відбувається емісія електронів, доки частота коливань не зростає до певної кричичної вартости. Навпаки емісія відбувається негайно, якщо на металеву плиту кинути світло слабой натуги, але достаточной високой частоти. Щоб пояснити фотоелектричне явище, сперся Айнштайн 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 металевой поверхні.

Фотоелектричний ефект важний тому, що хвиляста природа світла зникає в ньому зовсім, зате висуваються на перше місце світляні кванти, а це означає до певної міри ренесанс Ньютової еманційной теорії світла в поглибленому виді. Таким чином при пояснюванні взаємин 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 Комптена (Arthur H. Compton) торкається розсіяного промінювання. Розсіяння видимого світла можна легко обсервувати в затемненій кімнаті, куди крізь щілину вдирається в'язка совяшних промінів; їх перебіг зарисовується виразно через те, що частинки пороху, які носяться в повітрі, розсівають світляні промені на всі боки. Одначе світло розсівається також у середовищах, вільних від порошинок. Комптен досліджував розсівання променів Рентгена при переході через деякі тіла н. пр. через графіт. Клясична теорія світла передвиджує, що в розсіяному світлі виступатимуть завжди ті самі довжини хвилі, що їх має випущене світло. Міжтим Комптен ствердив у 1923 р., що в розсіяних променях Рентгена появляються промені Рентгена із зміненою довжиною хвилі, а саме з частотою коливань  $\nu'$  меншою від частоти коливань  $\nu$  падучих променів. Вияснити це явище можна лише квантовою теорією, а саме падуці кванти  $h\nu$  передають частину своєї енергії електронам атомів і відскакують від електронів у виді нових квантів  $h\nu'$ , бідніших в енергію. Довжина хвилі розсіяного світла залежить від кута, що його замикають розсіяні промені з падучими променями подібно, як енергія кулі, що в бігу вдаряє в нерухому 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 Комптена. Також у явищі Рамана частота коливань світла маліє в наслідок розсіяння. Одначе це зменшення частоти коливання не залежить від кута розсіяння, лише відмінно від явища Комптена — від розсіваючого середовища. Явище Рамана можна вияснити лише квантовою теорією.

### III.

Спираючись на квантову теорію та на висліди експериментальних дослідів, данський учений Нільс Бор (Niels Bohr) вступив 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 дуговин; при тому виявилось, що закон Мозлі-я впливає безпосередньо з теорії Бора.



Концепція атомового моделю Бора — це модифікація теорії Rutherford-а 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). Одначе 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.<sup>1)</sup> Ядро атому водня назвали протоном.

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

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

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

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 находиться 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 постулятом Бора емітована енергія  $W_1 - W_2 = h\nu$ , звідки  $\nu = \frac{W_1 - W_2}{h}$ ;  $\nu$  — кількість коливань емітованого промінювання.

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

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



вини, що з них кожна має своє  $n$ , відповідають третьому постулятові.

У дальшій розвитку розгалузився 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 конгльомерати атомів водня. Н. пр. атом гелія складається з чотирьох атомів водня. В міру того, як росла докладність помірів 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. Одначе явище ізопоії, відкрите в ХХ. 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 помірами. 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 депо 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 многократями 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  $\alpha$ ) з 4-ох протонів (ядер водня) був екзотермічний; виділення енергії спричинило дефект маси 0,032, рівноважний цій енергії. Для 4-ох грамів гелія, себо 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 перечислимо 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  $\alpha$  необхідно було б зужити таку саму кількість енергії. Тим пояснюється незвичайна.



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

По в'ясненні згаданих труднощів прийнято, що атоми всіх первнів складаються з протонів і електронів. Якщо порядкове число первня є  $N$ , то зовнішня оболонка 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 оболонки  $N$  одиниць від'ємного електричного наряду, то для скомпензування надлишку додатного наряду приймала давніша теорія прирівнює 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 частиниці,  $v$  швидкість 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 Лауе 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 хвиль<sup>1)</sup>, 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, одначе 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 розвязках 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 безпосередно змірити, як н. пр. сурядні й скорості поодиноких електронів. У математичнім розвиненні теорії впровадив Гайзенберґ особливе угруповання однородних величин т. зв. матрици. Щоб виконати альґебричні дії на матрицах, необхідно було впровадити окремі дефініції.

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

<sup>1)</sup>  $\Delta S + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E - V)S = 0$ , де  $E$  = енергія,  $V$  = потенціална 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 Гайзенберга таке трактування проблеми в'яжеться з характером внутрішньо-атомових явищ, а детерміністичне обхоплення явищ у мікрокосмі неможливе.

У макроскоповім світі спираємося на засаді причиновості. Вона в тому, що, знаючи дотеперішній стан даних 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 апріорних 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.

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

Клясичний приклад того — промінювання радю. Кожний атом радю в якійсь хвилині перетворюється вибухово в атом радону, викидаючи з себе частицю  $\alpha$ . Половина атомів, що з них складається якийнебудь препарат радю, зміниться протягом 1580-ох літ. Уявім собі два відокремлені атоми радю, що знаходяться в ідентичних умовинах. 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 мільон 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 завсіди та сама імовірність, що атом радю переміниться н. пр. за годину. І хоч той атом радю не розпадається й по мільоні 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, кілько 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 імовірности можемо докладно сказати, кілько фотонів відібеться від плитки, а кілько 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 клясичній фізиці вже й давніше, н. пр. другий закон термодинаміки. Одначе в клясичній фізиці можна було сперти статистичні закони на засаді причиновости 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 причиновости. 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 частинці н. пр. електрону, мусимо освітлити його; одначе фотони світла, вдаряючи на електрони, змінюють його скорість і визначення його положення став ілюзоричне. Подібні факти стрічаємо також у біології і психології. Строге примінення фізико-хемічних понять до живих організмів попадає на межу, що її витичила природа так, що досліджування життєвих проявів фізикальними методами, які вникалиб до їх найглибших елементів, мусіло би спровадити зовсім певну смерть організму (думка Бора). Тільки мертво 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 свідомости підлягає модифікації з хвилиною, коли наша увага зосередиться на одній складовій подробиці тієї свідомости. Ця обставина унеможливує докладне усталення фактів свідомости й тому не можна домагатися детерміністичного її опису.



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

У дальшій розвитку хвилястої механіки Шредінґера заслужився в великій мірі анґлійський 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.

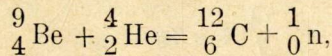
Незалежно від висновків Дірака ствердив американський фізик Андерсон (C. D. Anderson) у Пасадені (Каліфорнія) в 1932 р. існування позитронів. Він досліджував йонізацію та розбивання атомів під впливом космічних променів. Космічні промені це промені, що їх відкрив Гесс 1911 р. Вони приходять із світових просторів і визначаються далеко більшою проникливістю, як промені Рентґена. Коли їх фотони ударяють 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 примістив 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 невтрону. Це елементарна частица без електричного наряду, що її маса майже дорівнює масі протону. Перші кроки в напрямі відкриття невтрону зробили у 1930. р. W. Bothe і H. Becker. Вони обстрі-



лювали променями  $\alpha$  легкі первні і ствердими, що деякі з них, особливо бериль, а також бор, літ і флюор виділюють дуже тверде проникливе промінювання, що у випадку берилію і бору пропикає олов'яні плити, грубі на кільканадцять сантиметрів. Дальші досліди над цим явищем почали в 1934 р. Ірина Кюрі-Жоліб (Curie-Joliot) і її чоловік Фридрих Жоліб 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).<sup>1)</sup> 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  $\gamma$  вилітають з берилію під впливом обстрілу променями  $\alpha$ . Процес повставання нейтронів з берилію на погляд Чедвіка ось який:



де Be це атом берилію, 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 нейтронів 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 нейтронів розпоряджує сучасна фізика отсими елементарними частицями себто найпростішими цеголками, що з них збудована матерія:

#### Елементарні складники матерії:

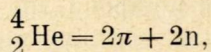
Назва	Символ	Наряд	Маса
Електрон	$e^-$	-1	0,00054
Протон	${}^1_1\text{H} (\pi)$	+1	1,00724
Позитрон	$e^+$	+1	0,00054
Нейтрон	${}^1_0\text{n}$	0	1,0080.

<sup>1)</sup> 1 електронвольт =  $1,55 \cdot 10^{-12}$  ергів.

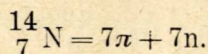


Одиниця електричного наряду, наведена в таблиці, має  $4,796 \cdot 10^{-10}$  то є 4,796 десятитисячмільонових частих електростатичної одиниці електричного наряду. Атомова одиниця маси рівнається  $\frac{1}{16}$  маси атому кисня або  $1,66 \cdot 10^{-24}$  г т. зн. 1,66 квадриліонових грама.

Відкриття нейтронів дало змогу змодифікувати дотеперішній погляд на будову атомового ядра. Тепер прийняли погляд, що всі атомові ядра складаються лише з протонів ( $\pi$ ) 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 замітне відкриття, а саме Н. С. Урей, Ф. Г. Брікведде і О. М. Мурфі відкрили тяжкий ізотоп водня з масою 2. У звичайнім водні є його лише 1‰, а решта водень з масою 1. Цей ізотоп назвали девтерієм (deuterium) і дали йому символ D, а його атомове ядро назвали девтон. У звязку з тим крім звичайного молекула води  $\text{H}_2\text{O}$  з молекулярною масою 18 існують ще молекули тяжкої води  $\text{D}_2\text{O}$  з молекулярною масою 20 і мішані  $\text{HDO}$  з молекулярною масою 19. Прикмети тяжкої води відмінні від звичайної, н. пр. нормальна точка кипіння  $101,42^\circ$  (звич.  $100^\circ$ ), температура ціннення  $3,8^\circ$  (звич.  $0^\circ$ ), найбільша густота при  $11,6^\circ$  (звич.  $4^\circ$ ). Тяжку воду одержують через електролізу заквашеної або лугової води.

## VI.

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

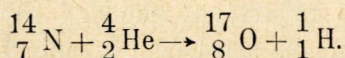


до олова. Одначе не було змоги впливати на ці переміни з зовні т. зн. викликувати їх штучно.

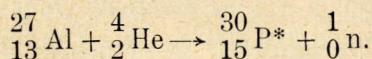
Другий етап науки про переміни первнів наступив у 1919. р., коли Rutherford у Кембрідж при допомозі променів  $\alpha$ , висиланих радіоактивними субстанціями, розбив атоми азоту, алюмінія та інших легких первнів і таким чином перемінив їх у інші атоми. Віденці Кірх, Петтерссон, Штеттер та інші розбили 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 еоднем та діяли на нього напругою 100000 вольтів. Протони й девтони набирали під впливом цієї напруги дуже великої скорости. Коли обидва дослідники пускали їх на різні первні, н. пр. літ, бериль, бор, — видатність перетворених атомів була далеко більша, як при ужиттю радіоактивних препаратів.

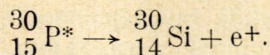
Процеси переміни атомів це не лише розбивання атомових ядер, але також їхня перебудова та добудова. Н. пр. Rutherford обсервував у 1919. р. переміну азоту під впливом променів  $\alpha$ , що підчас неї витворився ізотоп кисня з атомовою масою 17 і водень згідно з рівнянням:



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



${}^1_0\text{n}$  це неутрон,  ${}^{30}_{15}\text{P}^*$  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  $3\frac{1}{4}$  мінути. Радіоактивні первні означуємо зізвздкою.

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

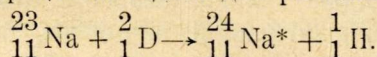


1. Крім досі znаних природних радіоактивних речовин, до яких належать первні з найвищою атомовою масою, існують також радіоактивні ізотопи найлегших первнів.

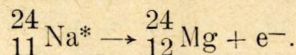
2. Останні можна втворити штучно із звичайних первнів.

3. Крім досі знаного радіоактивного розпаду, що відбувається при рівночасній емісії частинок  $\alpha$  (геліонів) або частинок  $\beta$  (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 втворив Lawrence у Каліфорнії радіоактивний сод у більшій кількості обстрілюванням звичайного соду та його солей девтонами (тяжким воднем) великої скорості. Цьому процесові відповідає рівняння:



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



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

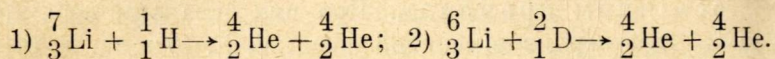
Щоб збільшити видатність ядрових перемін, збудовано інфлюенційні машини, що дають до 5 мільонів вольтів напруги. Вона надає протонам і девтонам дуже великої скорості (рис. 6). Також ще інакше можна збільшити скорості частинок, а саме піддаючи їх кількакратно діянню електричного поля 100.000 вольтів. В тій цілі піддають їх рівночасно діянню електричного і маґнетного 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 технологічнім 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 числильним приладом Geiger-a і Müller-a. Ці досліді у приміненні до урану довели до втворення трансуранив, себто первнів із вищим порядковим числом, як уран, але дуже коротко живучих.

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



акції. Н. пр. розторощення ядра ізотопів літу при допомозі протонів і девтонів 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) виносить в атомовій мірі 0,0181, що відповідає енергії 17,1 мільйонів електровольтів. Рівнож енергія викинутих частинок  $\alpha$  рівнається 17,1 мільйонів електровольтів. Для реакції, зображеної другим рівнянням, виносить кінетична енергія визволених частинок  $\alpha$  22,5 мільйонів 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. Одначе 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. неутріно, що підчас радіоактивного розпаду визволюється з ядра, крім частинки  $\beta$ .

Професор Соскрофт з Кембрідж реферував 1936. р. у Цюріху на конгресі, посвяченім ядровій фізиці, про свої дуже дбайливо переведені досліди над білянсом енергії підчас розпаду штучних радіоактивних речовин. Коли підчас радіоактивного процесу  $\alpha$  вилітає геліон завжди з однаковою енергією з атому, що розпадається, — то підчас як природнього, так також штучного розпаду  $\beta$  електрони вилітають з атому, що розпадається, з різною швидкістю. Таким чином існує суцільний спектр (дуговина) електронних швидкостей, 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 кожний атом стратив підчас розпаду  $\beta$  максимальну енергію  $E_0$ . Отже якщо електрон вилітає з атому з меншою швидкістю, 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 частинці неутріно. Йордан, Кроніг та інші фізики видвигнули значіння їх для оптики. На їх думку кванти світла це або неутріно або складаються з двох неутрінів: 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 німецький 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 бальонів і самочинних приладів до висоти 30 km. Поміж роком 1920 і 1930 R. A. Millikan у північній Америці розвинув незвичайну енергію у дослідах 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 посілостями 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.

Згадаві та інші дослідники переводили свої досліди переважно при допомозі комори Вільсона, уміщеної в магнетнім полі, та числильного приладу Гайґера. Ці досліди виказали, що космічні промені складаються із хвилястих променів високої проникливости та з корпускулярних променів. Первісні промені — це корпускулярні промені. На це вказують досліди в стратосфері та в різних географічних ширинах. Магнетне поле землі має 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 витворюють у земській атмосфері вторинні промені хвилястої природи, що мають коротшу довготу хвилі, як найтвердші промені Рентґена. Вторинні промені витворюють третинні корпускулярні промені таким чином, що фотони їх, маючи дуже багато енергії, при зударенні з матерією розпадаються на електроніві близнята: позитрони й електрони. Тут маємо процес матеріялізації фотонів, що перемінюються в матеріяльні частинки, а саме на електрон і позитрон. Фотографічні знимки, що їх зробили Blackett, Андерсон і Neddermeyer у Вільсоновій коморі, вказують виразно відхилення частинок у магнетнім полі в протилежніх 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 матеріалізації енергії передбачив був Айнштайн 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 дальші досліди позволят мабуть вже небаром збагнути процеси, що відбуваються в далеких світах.

#### Л І Т Е Р А Т У Р А.

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 Białobrzęski. 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.).



Период	I. группа	II. группа	III. группа	IV. группа	V. группа	VI. группа	VII. группа	VIII. группа	O. группа	
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 101,7	45 Rh 102,9	46 Pd 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 Os 132,8	56 Ba 137,4	57—71 Piquet semoventi metalli	72 Hf 178,6	73 Ta 181,4	74 W 184,0	75 Re 186,3	76 Os 190,9	77 Ir 193,1	78 Pt 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 Rd(Ebn) 222
VII	87 —	88 Ra 226,0	89 Ac (227).	90 Th 232,1	91 Pa (231)	92 U 238,1				

П И Р К И З Е М Е Л Ь Н И Е Э Л Е М Е Н Т Ы (57—71)

57 La 138,9	58 Ce 140,1	59 Pr 140,9	60 Nd 144,3	61 П	62 Sm 150,4	63 Eu 152,0	64 Gd 157,3	65 Tb 159,2	66 Dy 162,5	67 Ho 163,5	68 Er 167,6	69 Tu 169,4	70 Yb 173,5	71 Cp 175,0
----------------	----------------	----------------	----------------	------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------



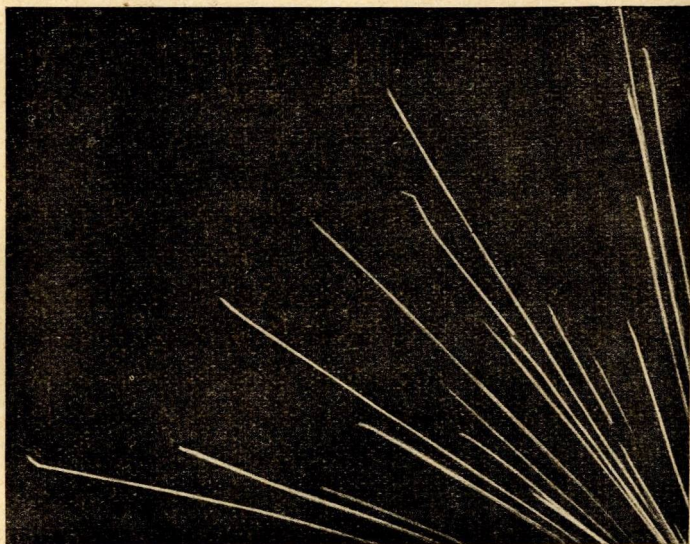


Рис. 1. Сліди шляхів променів  $\alpha$  в коморі Вільсона.

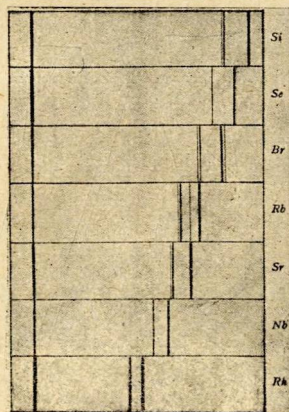
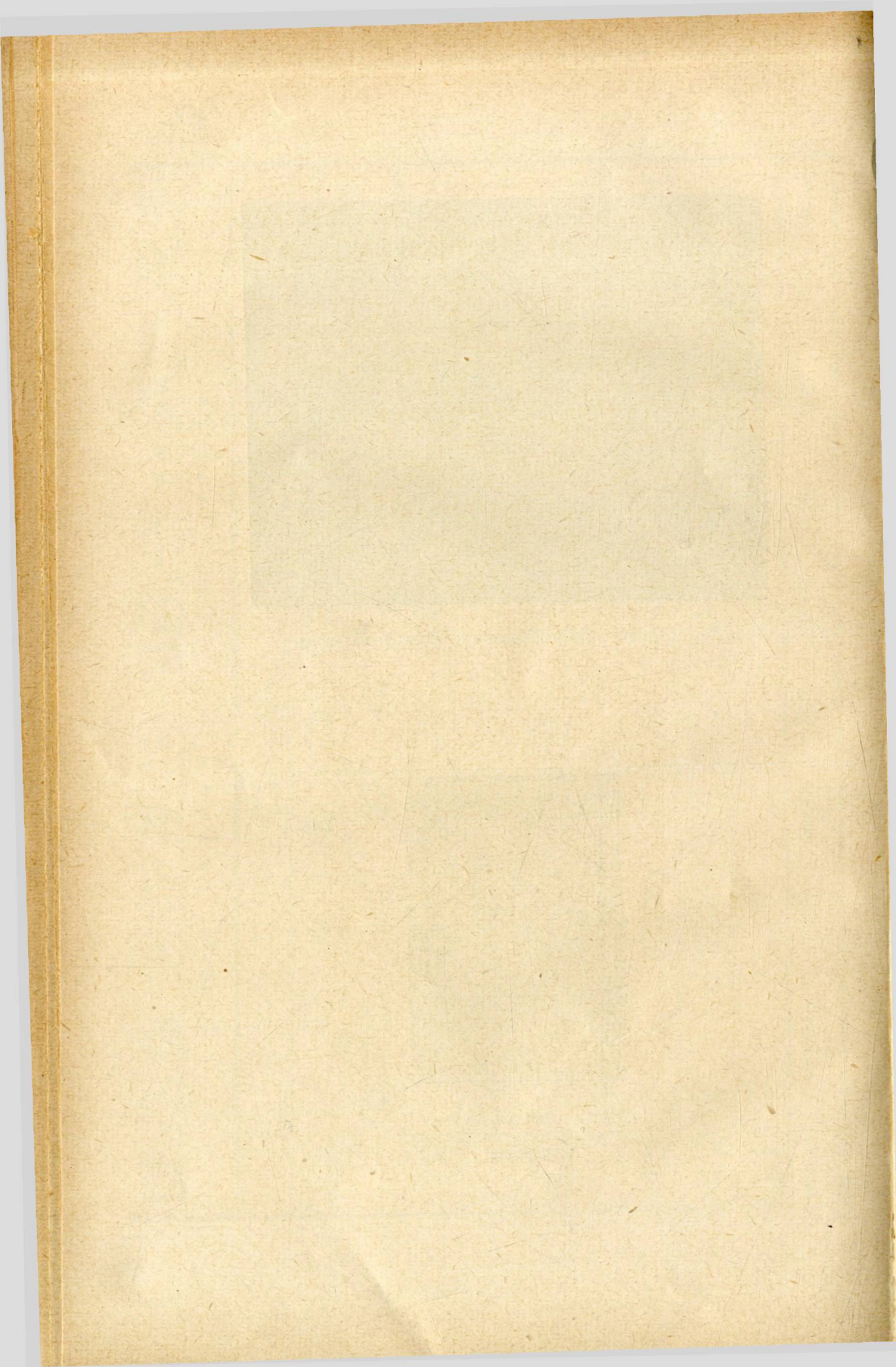


Рис. 2. Лінії ряду К Рентгенових дуговин деяких первнів.







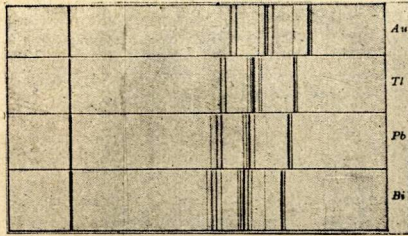


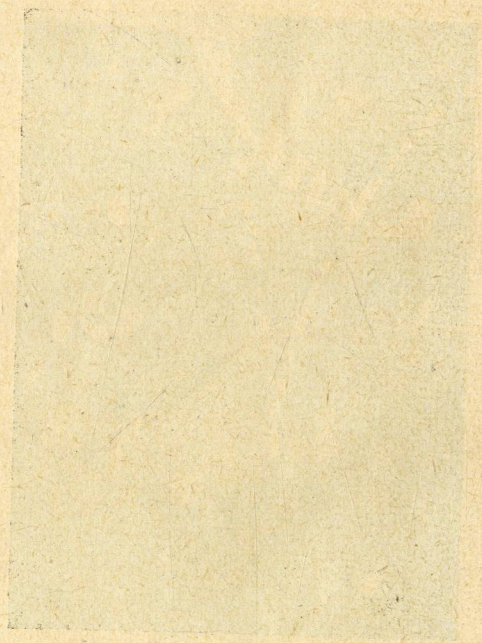
Рис. 3. Лінії ряду L Рентгенових дугів деяких первнів.



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



THE UNIVERSITY OF CHICAGO  
LIBRARY



THE UNIVERSITY OF CHICAGO  
LIBRARY



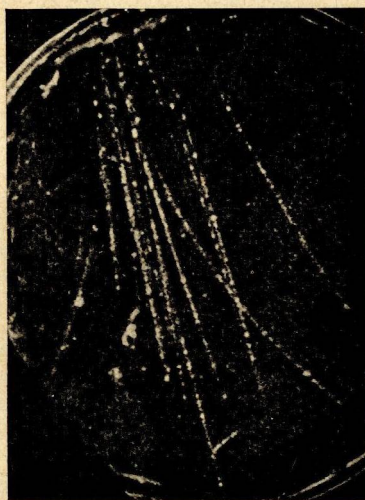


Рис. 5. Вільсонові в'язки шляхів частинок, що виступають під впливом космічних променів.

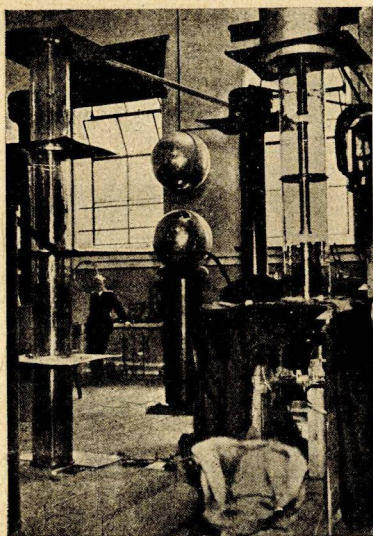


Рис. 6. Електростатична машина високої напруги Cockcroft-a і Walton-a.