
Вчені та наукова спільнота

Ю. О. Храмов

Нове в історії відкриття поділу урану

Дана коротка історія виявлення в грудні 1938 р. ефекту поділу ядер урану під дією нейтронів О. Ганом і Ф. Штрассманном і наведено факт, на який звертав увагу А. Беккерель ще в 1903 р., що неявно свідчив про цей ефект.

У 1932 р. фізики проникнули на новий рівень матерії, в ділянку ядра, встановивши його протонно-нейтронний склад. Це започаткувало новий етап у розвитку фізичної науки, на якому пріоритет продовжувала утримувати ядерна фізика. У наступні роки тривав її бурхливий розвиток. У січні 1934 р., опромінивши алюміній α -частинками від полонієвого джерела, Ірен і Фредерік Жоліо-Кюрі в результаті реакції ${}_{13}^{27}\text{Al} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_{15}^{30}\text{P} + n$ одержали радіоактивний ізотоп фосфору, який, маючи період піврозпаду 3 хв 15 с, випускав позитрони відповідно до реакції ${}_{15}^{30}\text{P} \rightarrow {}_{14}^{30}\text{Si} + e^+$. Це було відкриття штучної радіоактивності, викликаної швидкими α -частинками [1, с. 279—281].

У виявленому явищі Е. Фермі побачив широкі можливості, якщо тільки для бомбардування з метою одержання радіоактивних ізотопів використовувати не α -частинки, а нейтрони як більш ефективні «снаряди». Він послідовно опромінював нейтронами всі хімічні елементи, починаючи з водню, і 25 березня 1934 р. одержав наведену (штучну) радіоактивність фтору нейтронним бомбардуванням:



У результаті отримане ядро радіоактивного азоту, випустивши елек-

трон, перетворилося в ядро кисню [2, т. 1, с. 601—602]:

Продовжуючи регулярне опромінення нейтронами всіх елементів періодичної системи до урану включно, Е. Фермі зі співробітниками домогся видатних результатів, зокрема було виявлено (1934—1935) утворення кількох десятків радіоактивних ізотопів, зобов'язаних своїм походженням нейтронному бомбардуванню, відкрито явище сповільнення нейтронів у водневмісних речовинах, зокрема парафіні [2, т. 1, с. 601—683]. Окремо слід сказати про експерименти з опромінення нейтронами урану, в яких очікувалась, на думку Е. Фермі, поява трансуранових елементів. Про це свідчить і сама назва їх статті «Можливе утворення елементів з атомним номером вище 92» [2, т. 1, с. 605—608]. Зокрема, в ній зазначалося:

«Нам здавалося, що особливу увагу слід приділити важким радіоактивним елементам — торію та урану, оскільки загальна нестійкість ядер у цій області атомних ваг могла би привести до послідовних перетворень... Досліди показали, що обидва елементи, попередньо очищені від звичайних активних домішок, можуть сильно активуватися при бомбардуванні нейтронами... Випадок з ураном вивчено краще. Було добре встановлено наявність періодів піврозпаду близько 10 с, 40 с, 13 хв, а також ще два періоди — від 40 хв до 1 доби... Результати з ототожнення 13-хвилинної активності зі значною кількістю важких елементів дозволяють припустити можливість того, що атомний номер відповідного елемента може бути більшим за 92» [2, т. 1, с. 606—608].



Ф. Жоліо-Кюрі



Е. Фермі



І. Кюрі



П. Савіч

В іншій статті з цього циклу Е. Фермі зі співробітниками продовжує дотримуватися своєї версії:

«У світлі цих експериментів наша гіпотеза про зв'язок 13-хвилинної і 100-хвилинної наведених активностей урану з трансурановими елементами одержує нібито подальше підтвердження. Найпростіше пояснення, яке узгоджується з відомими фактами, полягає в тому, що 15-секундна, 13-хвилинна і 100-хвилинна активності являють собою продукти ланцюжка розпаду; імовірно, вони мають атомні номери 92, 93 і 94 відповідно і атомну вагу 239» [2, т. 1, с. 670].

Це був єдиний випадок, коли Е. Фермі помилився, і він болісно переживав цю помилку (хоч висновок його був обережний, а не однозначний). Для Е. Фермі завжди характерним було прагнення до одержання тільки чистих результатів. Насправді ж зафіксовані активні продукти були фрагментами розщеплення ядра урану. Однак Е. Фермі про це навіть не думав, він проігнорував припущення про можливість поділу ядра урану, хоч на це спеціально увагу їхньої групи звернула І. Ноддак. Отже Е. Фермі був тим, хто викликав поділ ядер урану під впливом нейтронів за чотири роки до відкриття цього явища в грудні 1938 р. О. Ганом і Ф. Штрассманном, але неправильно тлумачив.

Фізики зацікавилися експериментами Фермі. І, як писав В. Герлах, «почалася завзята чотирирічна гонка за трансуранами (слід би додати «уявними», оскільки більшість з них згодом виявилася зовсім не трансуранами). Крім далемської групи (О. Ган, Л. Мейтнер, Ф. Штрасс-

манн та ін.— *авт.*), над тією ж проблемою працювали в Парижі Ірен Кюрі і Жоліо, які відкрили утворення штучних радіоактивних ізотопів алюмінію і тому проявляли особливий інтерес до радіоактивних штучних трансуранив. В обидві групи входили провідні радіохіміки та фізики, вони були особисто пов'язані між собою і водночас відчували себе конкурентами в змаганнях... [3, с. 53].

Зокрема Ірен Кюрі і П. Савіч, повторивши в 1938 р. досліди Фермі і провівши старанний хімічний аналіз шматочка урану, виявили в ньому елемент лантан, який займає місце в середині періодичної таблиці [4]. Поява лантану була настільки неймовірна, що О. Ган і Ф. Штрассманн вирішили перевірити досліди Кюрі і Савіча. Коли вони провели хімічний аналіз урану, то виявили в ньому, крім лантану, ще й барій — теж елемент середньої частини таблиці Менделєєва.

Тут ми свідомо пропускаємо всі драматичні перипетії, які супроводжували весь шлях авторів до цього результату (хвилювання, сумніви, сподівання, гіпотези, помилки тощо), які докладно описав В. Герлах в статті «Як було відкрито поділ урану» [3, с. 53—68]. Зазначимо тільки, що тривалий час вони вважали, що в їх експериментах з опромінювання урану і торію нейтронами утворюються після певних перетворень (розпадів) у кінцевому рахунку ізотопи радію. Нарешті, в статті «Про доказ існування і властивості лужноземельних металів, що виника-



О. Ган



Ф. Штрассманн



Л. Мейтнер



О. Фріш

ють при опроміненні урана нейтронами», яка надійшла в редакцію журналу «Naturwissenschaften» 22 грудня 1939 р. і вийшла в першому січневому 1939 р. номері [3, с. 162—165], О. Ган і Ф. Штрассманн повідомили, що їх «ізотопи радію» мають властивості барію. У ній вони, зокрема, писали:

«Як хіміки ми, власне, повинні сказати, що нова речовина — не радій, а барій; про інші елементи не може бути й мови... Якщо наш «ізотоп радію» зовсім не радій, то в такому випадку «ізотоп актинію» — не актиній, а, ймовірно, лантан... На основі цих, коротко описаних дослідів, ми як хіміки повинні змінити раніше наведену схему: замість Ra, Ac, Th підставити символи Ba, La, Ce. Як хіміки-ядерники, в певному сенсі близькі до фізики, ми ще не можемо наважитися на цей крок, який суперечить всім попереднім уявленням ядерної фізики» [3, с. 164—165].

А ще днями раніше в листі до Л. Мейтнер, яка, переслідувана німецьким фашизмом, вимушена була в липні 1938 р. переїхати до Данії, О. Ган написав про одержаний результат: «наші ізотопи радію поводять себе не як радій, а як барій» [3, с. 59]. З відповіддю Л. Мейтнер не забарилася і вже 21 грудня відповіла:

«Ваші результати з радієм приголомшують. Процес, що протікає на повільних нейтронах і приводить до барію!.. Визнати такий незвичайний розпад, здається мені, поки важко, але ми пережили в ядерній фізиці стільки несподіванок, що вже ні про що не можна сказати прямо: це неможливо. Втім, чи виключено важкі трансуранові елементи?..» [3, с. 60].

І вже 3 січня 1939 р. вона оптимістично пише О. Гану:

«Тепер я майже впевнена, що Ви справді відкрили розпад у барій, і вважаю це справді чудовим результатом, з яким щиро поздоровляю тебе і Штрассманна...» [3, с. 62].

Разом зі своїм племінником О. Фрішем вона доходить думки, що при потраплянні в ядро урану нейтрона останнє ділиться навпіл, а утворені осколки і є ядрами барію та лантану. Тільки цим можна було пояснити появу елементів, ядра яких вдвічі легші за ядро урану. Терміново підготовлені ними два повідомлення в «Природу» невдовзі було опубліковано, і 22 січня 1939 р. О. Ган вже одержав копії цих публікацій. А 18 лютого 1939 р. у тому ж журналі опубліковано їх статтю «Розпад урану під дією нейтронів — новий тип ядерної реакції» [6].

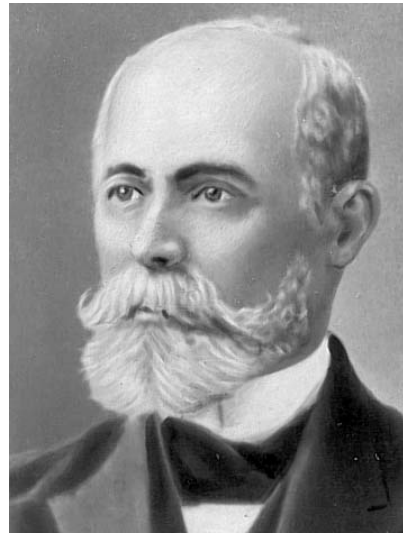
Така теоретична інтерпретація результатів Гана—Штрассманна щодо поділу ядра урану була також підкріплена переконливим експериментом Фріша з атомами віддачі. Дослід показав вибуховий характер поділу, який впливав з того, що продукти поділу розлітаються в протилежні боки зі значними швидкостями [6]. До подібних висновків прийшов і Ф. Жоліо-Кюрі, який в звіті Паризькій академії наук від 30 січня 1939 р. «Експериментальний доказ вибухового розщеплення ядер урану і торію під дією нейтронів» [1, с. 353—355] писав:

«Вивчення численних штучних радіоелементів, утворених під дією нейтронів, приводить до існування труднощів в інтерпретації, коли припустити, що утворення цих елементів відбувається так само,

як і у випадку більш легких ядер. Припущення про існування великої кількості ізомерів є сумнівним з теоретичної точки зору. Крім того, хімічні властивості деяких з цих радіоелементів не відповідають властивостям сусідніх з ураном і торієм атомів. Зокрема І. Кюрі і П. Савіч дуже переконливо показали, що в урані утворюється радіоелемент, хімічні властивості якого схожі на хімічні властивості рідкісноземельного елемента і який не може бути ототожнений з актинієм. О. Ган і Ф. Штрассманн виявили радіоелементи, хімічні властивості яких аналогічні властивостям лужноземельних елементів, але які не є ізотопами радію. Ці автори, розглядаючи, як і раніше, відповідні ядерні реакції як реакції, що приводять до радіоактивних сімей за участю ізоотопів радію та актинію, тим не менш припустили, що, можливо, під дією нейтронів відбувається поділ ядер урану на осколки... Поділ ядра урану під дією нейтрона на більш легкі елементи енергетично можливий, як показує крива мас-дефектів. Поділ на два осколки, атомні номери яких близькі до 50, відповідає звільненню енергії від 100 до 150 МеВ. Залишаючи відкритим питання про механізм поділу, можна показати теоретично, що він можливий... Згідно з останніми даними, серед утворюваних речовин, які входять до складу цих елементів, повинні бути лужноземельні і рідкісноземельні елементи. Можна, наприклад, припустити, що ядро урану-239 поділяється на цезій-141 і рубідій-98... Дослід показує, що аналогічне явище спостерігається у випадку торію... Отже, сукупність результатів роботи свідчить, що утворювані в урані і торії радіоелементи, які хіміки вимушені ототожнювати з такими атомами, як барій або рідкісні землі, одержуються внаслідок екзоенергетичного розщеплення ядер урану і торію під дією нейтронів».

Таким чином, Ф. Жоліо-Кюрі та О. Фріш незалежно не тільки довели факт поділу ядра урану нейтроном, але і дійшли надзвичайно важливого для подальшого розвитку ядерної фізики висновку, що саме при цьому виділяється значна енергія, ядро урану розпадається на два осколки шляхом вибуху.

Як бачимо, в історії з виявленням поділу ядер урану завжди фігурує барій, з яким кінець кінцем автори відкриття хімічно ототожнили радіоізотопи радію, одержані при опроміненні урану нейтронами. Саме появу барію було кваліфіковано як свідчення поділу урану, а прелюдією до цього були безпосередньо досліди з ураном групи Фермі та Кюрі—Савіча. Однак згадай-



А. Беккерель

мо ще більш ранню історію. Аналіз праць А. Беккереля з радіоактивності, роздуми над названими експериментами привели автора статті до думки, що в усіх цих випадках мало місце явище поділу ядер урану. Тільки в експериментах з опромінюванням урану нейтронами воно було спровоковано людиною (і лише обґрунтування їх уможливило зробити правильний висновок), а у випадку з А. Беккерелем поділ ядер урану здійснювала природа, яка сама утворювала цей барій — один із свідків поділу та його продукт. Відкриття процесу спонтанного поділу ядер урану в 1940 р. Г.М. Фльоровим і К.А. Петржаком свідчить на користь цього припущення [7]. Наведемо слова А. Беккереля з його Нобелівської лекції 1903 р. «Про радіоактивність — нову властивість матерії»:

«Крім урану і торію, тільки радій має характеристики, що дають можливість вважати його елементом, властивості якого споріднені з властивостями барію, проте відмінні від них. Слід зауважити, що цю речовину так і не було знайдено, навіть як залишковий елемент у звичайних барієвих мінералах, і що вона зустрічається тільки в уранових мінералах, де міститься разом з барієм. Цей факт теж може мати певне значення, яке стане ясним для нас дещо пізніше» [8, с. 66].

І знову цей бар'єр. Таким чином, можна стверджувати, що до експериментів Гана — Штрассманна з їх інтерпретацією Л. Мейтнер окремі вчені, в тому числі А. Беккерель, стикалися з процесом поділу урану, однак «проходили» повз цей ефект. Такі випадки в історії науки, зокрема фізики, непоодинокі. Хоч та сама історія свідчить, що кожне відкриття повинно дозріти, цьому сприяє як рівень експериментальної техніки, так і здобутки теорії, і з часом випадкові відкриття зникають, нині відкриття навіть планують. Дивно тільки, що слова Беккереля ніхто з його послідовників, у тому числі й француз Ф. Жоліо-Кюрі, який робив деякі екскурси в історію, правда недалеко, не згадував. Отже, історію науки треба знати, щоб адекватно і об'єктивно реконструювати процес наукового пізнання. Характерно в цьому висловлювання відомого фізика-теоретика А. Салама.

«Коли я розмірковую про минулі часи, — писав він, — мене більш за все дивує те, наскільки ми були не інформовані спочатку не тільки про праці один одного, але і про раніше представлені» [9, с. 19].

І наводить результати, одержані в 30-х роках, які йому стали відомі тільки в 70-х, важливі для його теорії електрослабкої взаємодії, і робить висновок:

«Мораль всього сказаного, можливо, в тому, що якісна ідея не пробиває собі дорогу в фізиці, поки не з'являються можливості для її кількісної перевірки» [9, с. 19].

До того ж в історії фізики зафіксовано випадки, коли вчені не уявляють до кінця, що відкрили, не можуть чітко пояснити одержаний факт або дають йому помилкове тлумачення, подекуди відкриття, особливо радикальне, дуже рідко відразу сприймається науковою спільнотою, якій потрібний час, щоб адаптуватися до нової ідеї, теорії тощо, щоб вони проникли в колективну свідомість. У зв'язку з цим відомий теоретик Ф. Дайсон писав:

«Велике відкриття, коли воно тільки з'являється, майже напевно виникає в заплутаній, неповній і незв'язній формі. Самому відкривачу воно зрозуміло тільки наполовину, для всіх решти — повна таємниця» [10, с. 96].

Але згодом все стає на своє місце, єдине, що може виникнути — це боротьба за пріоритет, проте і тут час ставить свою крапку.

1. Фредерик Жоліо-Кюрі. Избранные труды. — М.: Изд-во АН СССР, 1957.
2. Ферми Э. Научные труды. — М.: Наука, 1971—1972. — 2 т.
3. Нейтрон: предьстория, открытие, последствия. — М.: Наука, 1975.
4. Curie I., Savitch P. // J. Rhus. et radium, 1938, **9**, 355.
5. Meitner L., Frisch O. // Nature, 1939, **141**, p. 239.
6. Frisch O. // Nature, 1939, **143**, p. 275.
7. Flerov G.N., Petrjak K.A. // Phys. Rev., 1940, **58**, p. 89.
8. Нобелевские лекции по физике. 1901—1921. — М. — Ижевск, 2002.
9. На пути к единой теории поля. — М.: «Знание», 1980.
10. Дайсон Ф. Новаторство в физике // Элементарные частицы. — М.: Физ-мат. лит., 1963.

Отримано 11.05.2010

Ю.А. Храмов

Новое в истории открытия деления урана

Дана краткая история обнаружения в декабре 1938 г. эффекта деления ядер урана под действием нейтронов О. Ганом и Ф. Штрассманном и приводится факт, на который обращал внимание А. Беккерель еще в 1903 г., неявно свидетельствующий об этом эффекте.