

30. Відкриття електрона. Визначення його заряду.

Д. А. Гордійчук¹

¹Група ІПС-31, курс 3, факультет кібернетики
dd111320@gmail.com

Томсон в 1904 році ввів уявлення про те, що електрони в атомах поділяються на окремі групи і тим самим зумовлюють періодичність властивостей хімічних елементів. Мала величина маси електрона була прийнята як міра інерції, притаманна самому електричному полю частки. Ще на початку своєї наукової діяльності (1881) Дж. Дж. Томсон показав, що електрично заряджена сфера збільшує свою інертну масу на певну величину, залежала від величини заряду і радіусу сфери, і тим самим він увів поняття електромагнітної маси. Отримане їм співвідношення було використано для оцінки розміру електрона в припущенні, що вся його маса має електромагнітну природу. Цей класичний підхід показав, що розміри електрона в сотні тисяч разів менше розмірів атома.

Цікаво, що відкриття електрона випередило відкриття протона, до якого привели дослідження каналових променів в трубці Крукса. Ці промені були відкриті в 1886 році німецьким фізиком Еугенію Гольштейном (1850-1930) за світінням, що утворюється в зроблене в катоді каналі.

У 1895 році Ж. Перен встановив позитивний заряд, стерпний каналових частинками. Німецький фізик Вільгельм Він (1864-1928) в 1902 році за вимірюваннями в схрещених магнітному та електричному полях визначив питому заряд частинок, який при наповненні трубки воднем відповідав вазі позитивного іона атома водню.

Відкриття електрона відразу вплинуло на весь подальший розвиток фізики. У 1898 році кілька вчених (К. Рікке, П. Друде, і Дж. Томсон) незалежно висунули концепцію вільних електронів в металах. Ця концепція в подальшому була покладена в основу теорії Друде-Лоренца. а. Пуанкаре свою фундаментальну роботу з теорії відносності назвав "Про динаміку електрона". але все це було не тільки початком бурхливого розвитку фізики електронів, а й початком революційного перетворення основних фізичних положень. З відкриттям електрона звалилося уявлення про неподільність атома, і слідом за цим почали формуватися базові ідеї абсолютно неklasичної теорії поведінки електронів в атомах.

За минуле століття значення відкриття електрона безперервно зростала.

Його роботи присвячені вивченню проходження електричного струму через розріджені гази, дослідження катодних і рентгенівських променів, атомної фізики. Він також розробив теорію руху електрона в магнітному і електричному полях. а в 1907 році він запропонував принцип дії мас-спектрометра. За роботи по дослідженню катодних променів і відкриття електрона йому присуджено Нобелівську премію за 1906 рік.

Досліди Е. Резерфорда, які утвердили ядерну модель атома, показали, що практично вся маса атома зосереджена в його ядрі, який має позитивний заряд. Подальші його дослідження взаємодії альфа-частинок з атомами Нітрогену увінчалися відкриттям протона — другої елементарної частинки, відкритої після електрона.

Вивчення властивостей протона показало, що він має позитивний заряд, який чисельно дорівнює заряду електрона $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл; його маса значно більша: $m_p = 1,6726485 \cdot 10^{-27}$ кг. Оскільки в ядерній фізиці прийнято користуватися атомною одиницею маси (а.о.м.) та її енергетичним еквівалентом — електрон-вольт (eV), маса спокою протона дорівнює $m_p = 1,007276470$ а. о. м., що відповідає 938,2796 MeV.

Протон (від грец. *protos* — перший) — елементарна частинка, що є ядром атома Гідрогену; має позитивний заряд, що чисельно дорівнює заряду електрона

Відкриття на початку XX ст. ізотопів засвідчило, що їхні атомні маси кратні масі ядра атома Гідрогену. Тому Е. Резерфорд припустив, що ядра всіх хімічних елементів складаються із протонів. Протонно-електронна модель атома добре узгоджувалася з експериментальними даними щодо властивостей Гідрогену. Проте вона зіткнулася з низкою труднощів у поясненні будови ядер важчих хімічних елементів. Тому він висунув припущення про існування нейтронів — елементарних частинок, які також входять до складу ядра.

У 1932 р. англійський фізик Дж. Чедвік, досліджуючи властивості випромінювання, яке виникає під час бомбардування Берилію альфа-частинками, встановив, що це потік нейтральних частинок, маса яких приблизно дорівнює масі протона. Вимірювання показали, що маса спокою нейтрона $m_n = 1,6749543 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,008665012 \text{ а.о.м.}$, що відповідає $939,5731 \text{ MeV}$.

ізотопи (від грец. *isos* — однаковий і *topos* — місце) — різновиди одного й того самого хімічного елемента, що відрізняються за атомними масами

Нейтрон (від лат. *neutro* — ні те, ні інше) — нестабільна електрично нейтральна, тобто така, що не має ні позитивного, ні негативного заряду, елементарна частинка

У сучасній фізиці протони і нейтрони в ядрі називають нуклонами (від лат. *nucleus* — ядро)

Число нуклонів у ядрі атома дорівнює його масовому числу A . Число протонів у ядрі атома дорівнює заряду ядра Z . Число нейтронів $N = A - Z$

У тому ж році радянський вчений Д. Д. Іваненко (українець за походженням, народився в Полтаві) і німецький фізик В. Гейзенберг незалежно один від одного запропонували оболонкову протонно-нейтронну модель ядра атома. Вони припустили, що атомне ядро складається з нуклонів — протонів і нейтронів, які розміщуються певними групами й утворюють ядерні оболонки. Кожен нуклон перебуває в певному квантовому стані, який характеризується енергією та набором інших квантових величин.

Згідно з цією моделлю, загальне число нуклонів, тобто сума протонів і нейтронів у ядрі атома, дорівнює масовому числу атома A ; число протонів дорівнює заряду ядра атома Z , число нейтронів $N = A - Z$. В ядерній фізиці ізоотоп хімічного елемента X прийнято позначати відповідним символом із зазначенням його масового числа A (зліва вгорі) і зарядового числа Z (зліва внизу), тобто у вигляді A_ZX . Наприклад, найлегший ізоотоп Гідрогену — протій, ядро якого складається з одного протона, позначають ${}^1_1\text{H}$, альфа-частинку, що є ядром атома Гелію, ${}^4_2\text{He}$ тощо.

Заповнення ядерних оболонок підлягає певній закономірності — принципу Паулі: два тотожні нуклони не можуть одночасно перебувати в однаковому квантовому стані, тобто характеризуватися одним і тим самим набором квантових чисел. Тому існує ряд чисел — 2, 8, 20, 28, 40, 50, 82, 126, названих магічними, які визначають максимальне число нуклонів у заповнених оболонках.

Перехід ядра атома з одного стану в інший, наприклад із стабільного у збуджений чи навпаки, за оболонковою моделлю пояснюють як квантовий перехід нуклона з однієї оболонки на іншу. Щоразу, коли число протонів чи нейтронів стає магічним, відбувається стрибкоподібна зміна величин, які характеризують властивості ядра. Цим, зокрема, пояснюють фізичну причину існування періодичності у властивостях хімічних елементів, відображену періодичною системою Д. І. Менделєєва.

Принцип Паулі спочатку був сформульований для пояснення закономірностей у заповненні електронних орбіталей в атомі; згодом він був поширений на всі елементарні частинки з напівцілим спіном

Принцип Паулі є фізичною суттю періодичного закону Д. І. Менделєєва

Оболонкова модель атомного ядра є однією з найпродуктивніших у ядерній фізиці, зокрема в поясненні періодичності властивостей ядер і механізму ядерних реакцій. Проте вона також має свої обмеження, оскільки неспроможна розтлумачити властивості важких ядер і пояснити всі типи взаємодії нуклонів у ядрі. Тому існують також інші моделі атомних ядер, наприклад, крапельна, згідно з якою атомне ядро уявляють у формі краплі особливої квантової рідини.

ЯДЕРНІ СИЛИ ТА ЕНЕРГІЯ ЗВ'ЯЗКУ АТОМНИХ ЯДЕР

Нуклони в ядрі атома утримуються завдяки ядерним силам, які є проявом однієї з чотирьох фундаментальних взаємодій — сильної взаємодії. За своєю природою вони короткодійчі ($r \sim 10^{-15} \text{ м}$), але дуже інтенсивні. У межах атомного ядра вони майже у 100 разів переважають сили електростатичної взаємодії двох протонів і в 1038 разів — силу їхньої гравітаційної взаємодії. Проте на відстанях, більших за розміри ядер, вони настільки малі, що їхньою дією можна знехтувати.

Ядерні сили діють незалежно від наявності в нуклонах електричного заряду. Внаслідок цього в атомному ядрі утримуються електронейтральні нейтрони і не розлітаються однойменно заряджені протони. Експериментальні дослідження сил ядерної взаємодії протон-протонних, протон-нейтронних і нейтрон-нейтронних пар показали, що в усіх випадках вони однакові і не залежать від типу нуклона.

Ядерні сили — короткодійчі, оскільки проявляють себе на відстанях у межах атомного ядра (10^{-15} м)

Обмінний характер ядерної взаємодії подібний до ковалентного зв'язку між атомами в молекулі, де роль такого «посередника» відіграють валентні електрони

У 1935 р. японський фізик Х. Юкава висунув припущення, що природа ядерних сил полягає в їхньому обмінному характері, тобто, за його передбаченням, наявність ядерних сил зумовлює гіпотетична частинка ненульової маси, якою обмінюються між собою нуклони під час взаємодії.

Пізніше, у 1947 р. така частинка була експериментально виявлена і названа пі-мезоном. Встановлено, що залежно від типу взаємодіючої пари нуклонів (протон—протон, нейтрон—нейтрон, протон—нейтрон, нейтрон—протон) існує три види пі-мезонів: позитивний (π^+), негативний (π^-) і нейтральний (π^0). Перші два мають масу спокою, яка дорівнює 274 масам електрона те, що відповідає приблизно 140 MeV; маса спокою третього дорівнює 264 те, що відповідає приблизно 135 MeV.

Пі-мезони не входять до складу протонів і нейтронів. Вони лише виявляють себе в ядерній взаємодії як обмінні частинки, завдяки яким відбувається сильна взаємодія в атомному ядрі. Ця взаємодія є чинником об'єднання нуклонів у стабільне атомне ядро. Зв'язаний стан нуклонів у ядрі характеризується енергією зв'язку, яка витрачається на те, щоб утримувати протони і нейтрони у такому стані. Тобто це енергія, потрібна для виконання роботи проти дії ядерних сил, що утримують нуклони в ядрі у зв'язаному стані.

Література

- [1] The Discovery of the Electron. American Institute of Physics
- [2] Particle Data Group. University of California
- [3] <https://uk.wikipedia.org/wiki/>
- [4] <https://www.wiki.uk-ua.nina.az/>
- [5] <https://jak.koshachek.com/articles/istorija-vidkrittja-elektrona.html>