§ 43. ЕЛЕМЕНТАРНІ ЧАСТИНКИ

Ми вже говорили про «відкриття на кінчику пера». Прикладом такого відкриття для людей, що жили в XIX ст., було виявлення нової планети — Нептуна. Квантова механіка і теорія відносності дали фізикам у руки «чарівне перо», дозволивши масово передбачати існування нових об'єктів. Про те, які елементарні частинки було відкрито фізиками-теоретиками, йтитеметься в цьому параграфі.

1 Які ще бувають елементарні частинки

На початку XX ст., пояснюючи будову атома, його ядра, процеси радіоактивного розпаду і ядерних реакцій, учені оперували в основному чотирма частинками: електрон, протон, нейтрон і фотон. Здавалося б, їх було цілком достатньо для пояснення всіх спостережуваних явищ. Але природа підносила вченим нові сюрпризи. Так, для пояснення експериментів з опромінення нейтронами протонів знадобилося припущення про існування *мезонів*. Ця частинка була «вигадана» японським фізиком *Хідекі Юкавою* (1907–1981). Дослідження β-розпаду змусили швейцарського фізика *Вольфґанґа Ернста Паулі* (1900–1958) у 1930 р. «винайти» частинку-фантом — *нейтрино*. А от експериментальне виявлення нейтрино відбулося понад двадцять років потому.

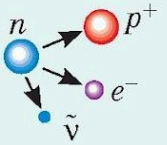
У 1928 р. англійський фізик *Поль Адрієн Дірак* (1902–1984), розв'язуючи задачу про рух електрона зі швидкістю, близькою до швидкості світла, дійшов висновку про можливість існування в природі не тільки «звичайного» електрона, а і його антипода — античастинки електрона. Античастинка електрона дістала назву *позитрон*. Прикметною рисою позитрона є те, що в разі зіткнення його зі «звичайним» електроном відбувається *анігіляція* — частинки повністю перетворюються на енергію (зникають із випущенням фотонів). Оскільки вся маса електрон-позитронної пари перетворюється на фотони, енергія цих фотонів є дуже великою. Експериментальне спостереження позитрона відбулося тільки через кілька років після його передбачення: у 1932 р. американський фізик *Карл Девід Андерсон* (1905–1991) під час дослідження космічного випромінювання спостерігав слід позитрона в камері Вільсона.

Позитрон

Позитрон є античастинкою електрона.

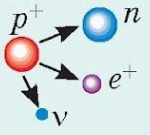
- Маса позитрона дорівнює масі електрона, заряд позитрона за модулем дорівнює заряду електрона, але є позитивним.
- Існування позитронів було передбачено в 1928 р. У 1932 р. позитрон був виявлений у складі космічного випромінювання.
- Електрон (β^--частинка) і позитрон (β^+-частинка) можуть утворюватися всередині ядра:

✓ електрон утворюється внаслідок перетворення нейтрона — у результаті з'являються протон, електрон і антинейтрино:



$${}^1_0n \to {}^1_1p + {}^0_{-1}e + {}^0_0\tilde{\nu}$$

✓ позитрон утворюється внаслідок перетворення протона — у результаті з'являються нейтрон, позитрон і нейтрино:



$${}^1_1p \to {}^1_0n + {}^0_{+1}e + {}^0_0\nu$$

2 Як здійснити класифікацію елементарних частинок

Після створення в 50–60-х рр. XX ст. потужних прискорювачів відкриття нових елементарних частинок стало відбуватися дуже часто. З одного боку, це применшило роль кожного нового відкриття, а з іншого — виникла необхідність здійснити систематизацію. Було запропоновано найпростішу класифікацію — розташування частинок у порядку збільшення маси. «Повний перелік» елементарних частинок було розбито на три групи.

У першій групі опинилась тільки одна частинка — *фотон* із нульовою масою. До другої групи увійшли відносно легкі частинки, які були названі *лептонами* (від грец. *leptos* — легкий). Вам відомий представник цієї групи — електрон. Третя група частинок — найважчих — одержала назву *адрони* (від грец. *hadros* — великий, сильний). Цей термін, до речі, увів радянський фізик *Лев Борисович Окунь* (1929–2015). Представники групи адронів вам добре знайомі — нуклони.

Наведіть приклади різних класифікацій, з якими ви ознайомилися під час вивчення природничих наук. Якими є принципи побудови кожної з них?

Слід зазначити, що всі частинки, які несуть електричний заряд, беруть участь в *електромагнітній взаємодії*. Носіями електромагнітної взаємодії є фотони. У *слабкій взаємодії* беруть участь усі елементарні частинки, окрім фотонів. До адронів відносять частинки, які, окрім того, здатні до *сильної взаємодії*.

Пропонують також дещо інші класифікації елементарних частинок (див., наприклад, рис. 43.1). Немає сумнівів, що завдяки Великому адронному колайдеру будуть розроблені нові, більш досконалі теорії класифікації елементарних частинок.

Рис. 43.1. Одна із сучасних класифікацій елементарних частинок

3 Що таке кварки

У дослідах із вивчення розсіювання дуже швидких електронів на адронах (а саме на протонах і нейтронах) було виявлено, що більша частина електронів проходить крізь протони та нейтрони, не зазнаючи істотних відхилень, а невелика їх частина розсіюється на якихось центрах. Цей результат був схожий на результати дослідів Е. Резерфорда з дослідження розсіювання α-частинок під час їх проходження крізь атоми. Для пояснення таких властивостей адронів у 1964 р. було розроблено модель, яка дістала назву *теорія кварків*. Авторами теорії були американські вчені *Маррі Ґелл-Манн* (рис. 43.1) і *Джордж Цвейґ* (народ. 1937 р.).

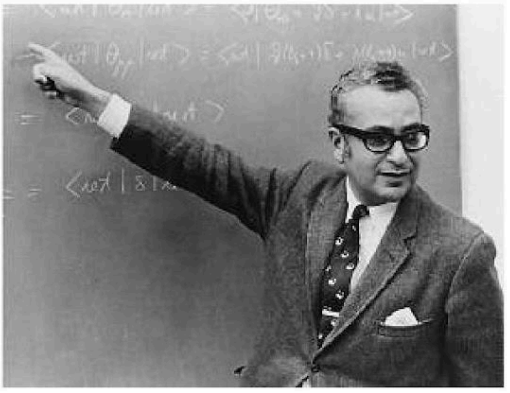


Рис. 43.1. Маррі Ґелл-Манн (1929–2019), американський фізик, лауреат Нобелівської премії з фізики за відкриття системи класифікації елементарних частинок. Один із авторів теорії кварків

Кварками вчені назвали три «справжні» елементарні частинки, з яких будуються всі адрони. Ці частинки було позначено буквами u, d і s (від англ. *up* — угору, *down* — униз, *strange* — дивний). Однак згодом трьох кварків виявилося недостатньо для пояснення властивостей адронів. Необхідним стало припустити існування ще кількох кварків. Після цього в теорії з'явились *антикварки*. Потім знадобилося пояснити причини об'єднання кварків в адрони. Відповідно до сучасних уявлень, це відбувається за допомогою ще одного типу частинок — *глюонів* (від англ. *glue* — клей). Урешті кількість «справжніх» елементарних частинок знову зросла.

Не зазначаючи всіх деталей, звернемо увагу лише на одну особливість кварків: заряд цих частинок не цілий (в елементарних зарядах), а дробовий і дорівнює $+\frac{2}{3}e$ або $-\frac{1}{3}e$, де e — елементарний заряд. Наприклад, заряд d-кварка дорівнює $-1/3e$, u-кварка — $+2/3e$, s-кварка — $-1/3e$. Кожний нуклон складається із трьох кварків: протон — із двох u-кварків і одного d-кварка ($p = uud$), нейтрон — із двох d-кварків і одного u-кварка ($n = udd$).

4 Що далі

Незважаючи на великий обсяг накопичених знань, сучасна фізика ще дуже далека від досконалості. Заповітною мрією більшості видатних фізиків було і залишається створення єдиної теорії — так званої «теорії всього», за допомогою якої можна було б пояснити всі явища у Всесвіті. Так, останнє десятиріччя свого життя цим займався Альберт Ейнштейн. Певних успіхів у цьому напрямі вже досягнуто в останні роки: у фізиці елементарних частинок створено Стандартну модель — теорію, що об'єднує сильну, слабку й електромагнітну взаємодії елементарних частинок. На сьогодні Стандартна модель узгоджується з експериментами, і недавнє відкриття бозона Гіґґса є яскравим підтвердженням цього. Проте дотепер фізики не можуть пояснити природу темної матерії, походження високоенергетичних космічних частинок і багато іншого. Тому вчені намагаються вийти за межі Стандартної моделі. Тож чекаємо на нові відкриття!

Підбиваємо підсумки

- Теоретичні розробки в галузі квантової механіки дозволили передбачити існування багатьох елементарних частинок (позитрона, нейтрино), які потім були відкриті в результаті експериментальних досліджень.
- Елементарні частинки можна поділити на декілька груп, зокрема: фотон; лептони; адрони. До адронів відносять частинки, здатні до сильної взаємодії, до лептонів — частинки, не здатні до сильної взаємодії.
- Для пояснення експериментів із розсіювання на адронах (протонах і нейтронах) високоенергетичних електронів було висунуто гіпотезу про існування нового типу елементарних частинок — кварків.

Контрольні запитання

1. Що називають елементарною частинкою? **2.** Яку частинку називають позитроном? Чим вона відрізняється від електрона? Хто першим предбачив і хто першим спостерігав цю частинку? **3.** Які частинки називають лептонами? **4.** Які частинки називають адронами? **5.** Що таке кварки? Які заряди мають кварки? Назвіть засновників теорії кварків.

ПРОФЕСІЇ МАЙБУТНЬОГО

Фахівець із розробки нанотехнологій

Пам'ятаєте, що означає префікс «нано-»? Нещодавно цим терміном користувалося тільки обмежене коло фахівців з ядерної фізики. Зараз інформацію про нові наноматеріали можна знайти майже в кожній газеті та навіть у глянцевих журналах. Безумовно, сфера застосування наноматеріалів тільки ширшатиме, а *фахівці з розробки нанотехнологій* будуть потрібні ще довгі роки. Розробка наноматеріалів і відповідних технологій потребує знань практично з усіх розділів фізики: механіки, електрики, термодинаміки, ядерної фізики.

Джерело: Фізика. Підручник для 11 класу закладів загальної середньої освіти за ред.Бар'яхтара В.Г., Довгого С.О. – Харків, «Ранок», 2019р