

ТЕМА: АТОМНА І ЯДЕРНА ФІЗИКА

Тема уроку: Елементарні частинки. Загальна характеристика елементарних частинок. Кварки.

Мета уроку: дати поняття про елементарні частинки та їхні властивості.
Тип уроку: комбінований урок.

ПЛАН УРОКУ

1. Які частинки слід вважати елементарними?
2. Класифікація елементарних частинок.
3. Кварки.

ВИВЧЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Які частинки слід вважати елементарними?

Дотепер ми оперували в основному чотирма частинками: електрон, протон, нейтрон і фотон. Але для пояснення експериментів з опроміненням нейтронами протонів знадобилося припущення про існування мезонів. Цю частинку «придумав» японський фізик Х. Юкава. Дослідження β -розпаду змусили В. Паулі «знайти» частинку-фантом — нейтрино.

1928 року англійський фізик Поль Дирак, розв'язуючи задачу про рух електрона зі швидкістю, наближеною до швидкості світла, висловив ідею про можливості існування в природі античастинки електрона — позитрона.

Елементарні частинки, у точному значенні цього терміна, — це первинні, далі нерозкладні частинки, з яких, за припущенням, складається вся матерія.

Як помітив італійський фізик Енріко Фермі, поняття «елементарний» стосується скоріше рівня наших знань, ніж природи частинок. У міру того як розвивалася наука, багато елементарних частинок переходили в розряд неелементарних.

Елементарні частинки сучасної фізики не задовольняють строгого визначення елементарності, оскільки більшість із них, за сучасними уявленнями, є складеними системами. Загальна властивість цих систем полягає в тому, що вони не є атомами або ядрами (виняток становить протон). Тому іноді їх називають суб'ядерними частинками.

2. Класифікація елементарних частинок

Коли кількість відомих елементарних частинок досягла кількох сотень, постала необхідність створити класифікацію частинок. Насамперед, всі частинки розділили за масою. За аналогією з Періодичною системою хімічних елементів всі елементарні частинки було розбито на три групи.

У першій групі виявилася тільки одна частинка — фотон з нульовою масою. У другу групу увійшли відносно легкі частинки, які були названі

лептонами. Третя група частинок — найбільш важких — дістала назву адронів.

Подальші дослідження показали, що частинки об'єднані в групи не тільки через розбіжності в їхніх масах, а й відповідно до їхньої здатності до фундаментальних взаємодій. В електромагнітній взаємодії беруть участь всі частинки, що мають електричний заряд. Носіями електромагнітної взаємодії є фотони.

У слабкій взаємодії беруть участь всі елементарні частинки, крім фотонів. До адронів відносять частинки, які здатні до сильної взаємодії. Адронів більше, ніж лептонів, але майже всі адрони є нестабільними. Адрони діляться на мезони й баріони.

3. Кварки

Відповідно до теорії американських фізиків Гелл-Манна й Цвейга, всі адрони складаються із кварків, а також антикварків.

У дослідах з вивчення розсіювання дуже швидких електронів на протонах і нейтронах було з'ясовано, що більша частина електронів проходить крізь протони й нейтрони, не зазнаючи істотних відхилень, а незначна їх частина сильно розсіюється на якихось центрах. Цей результат схожий на результат дослідів Резерфорда з розсіювання α -частинок.

Для пояснення таких властивостей адронів 1964 року була розроблена модель, що дістала назву теорія кварків.

Кварками вчені назвали три «дійсно» елементарні частинки, з яких будуються всі адрони. Щоб пояснити властивості адронів, довелося припустити існування шести різних кварків, які позначають u , d , s , c , b , t .

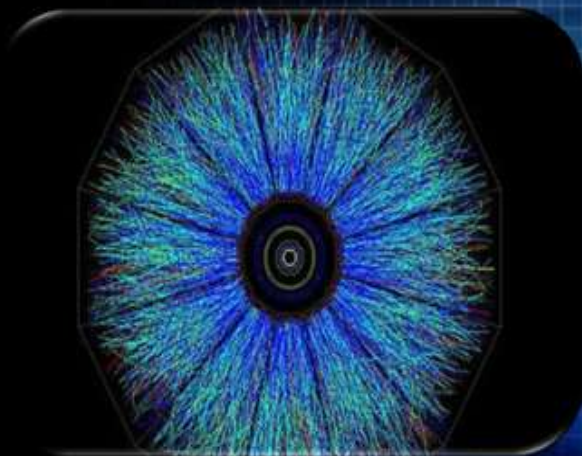
Всі відомі баріони можна «сконструювати», об'єднавши три кварки різних кольорів, а всі відомі мезони — об'єднавши один кварк і один антикварк. Кваркову теорію вважають доведеною експериментально. Всі способи одержати вільні кварки виявилися невдалими. Теорія пояснює це тим, що для звільнення кварка необхідна величезна енергія. Якщо бомбардувати адрони дедалі швидшими частинками, то енергія буде витрачатися на народження нових пар «кварк-антикварк», а звільнення окремих кварків не відбуватиметься.

Відповідно до сучасних уявлень, саме шість кварків і шість лептонів є найменшими «цеглинками» речовини. Як бачимо, природа має досить різноманітні «цеглинка». Залишається ще дуже багато питань до природи. Одне з них: чим пояснити спектр мас елементарних частинок? Пошук загальних закономірностей триває...

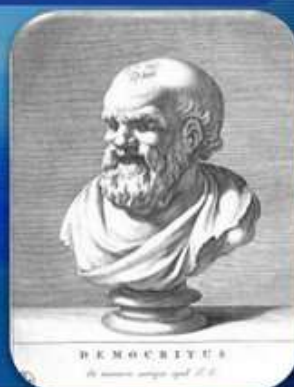
Питання для самоконтролю

- 1. Що називають елементарними частинками?
- 2. Хто запропонував нову частинку «нейтрино»?
- 3. Що таке спін елементарної частинки?
- 4. На які частинки поділяється частинка при розподілі?
- 5. На які групи поділяються елементарні частинки?
- 6. Що таке анігіляція?
- 7. Чотири типи фундаментальних взаємодій

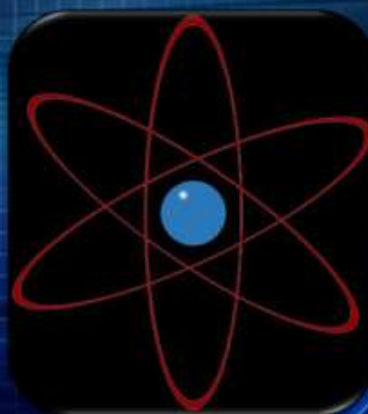
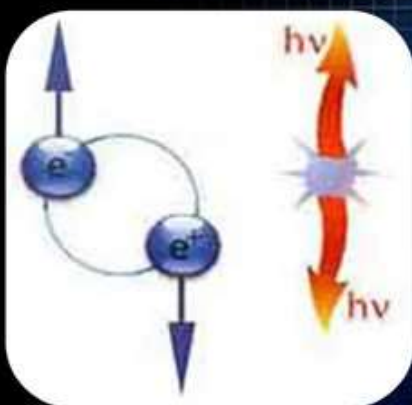
- **Елементарні частинки** — найпростіші частинки в складі атома. Сучасний рівень знань не дозволяє точно встановити їхню структуру. Але властивості багатьох частинок вивчені досить добре



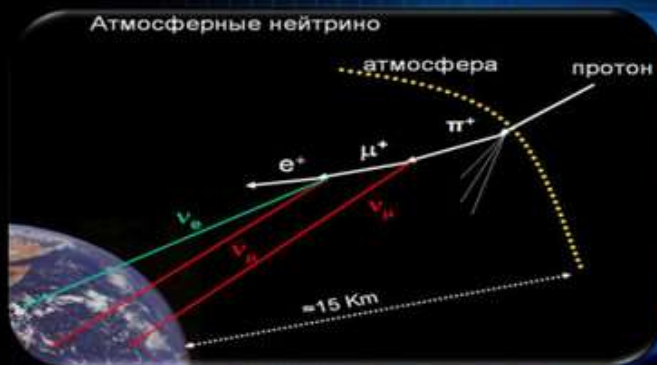
- Здавна вчені намагалися знайти найменші «цеглинки» матерії, які б допомогли зрозуміти ієрархічну структуру будови речовини. Спочатку, у давніх греків, це були атоми як неподільні частинки, з яких складаються, всі тіла (Демокрит, Епікур). На початку XIX ст. це поняття було конкретизоване в дослідженнях хіміків і набуло значення найдрібнішої частинки речовини, що визначає її хімічні властивості (Я. Берцеліус, Дж. Дальтон, А. Авогадро).



- Далі події розвивалися настільки бурхливо, що це дотепер викликає здивування 1932 рік увійшов в історію фізики за назвою «рік чудес». Першим з'явилося повідомлення англійського фізика **Дж. Чедвіка** про відкриття нейтрона потім американцеві **К. Андерсону** за допомогою камери Вільсона вдалося знайти в космічному випромінюванні **позитрон (e^+)** — античастинку електрона



- Одночасно широко розгорнулися дослідження, покликані визначити властивості цих нових частинок. Було з'ясовано, що вільний нейтрон перетворюється не на дві частинки — протон і електрон, а на три — протон, електрон і якусь нову частинку **Е. Фермі** дав їй назву «**нейтрино**» (**n**), а **В. Паулі** теоретично обґрунтував її властивості



Таблиця елементарних частинок

Таблиця 8.1

Назва частинки		Символ		Маса		Спін в одиницях $\hbar$	Електричний заряд, кратний заряду електрона e (частинка-античастинка)		Час життя, с	
		Частинки	Античастинки	в масах електрона m_e	в MeV					
Фотон		γ		0	0	1	0		Стабільний	
Лептони	Електронне нейтрино	ν_e	$\bar{\nu}_e$	0	0	1/2	0		Стабільне	
	Мюонне нейтрино	ν_μ	$\bar{\nu}_\mu$	0	0	1/2	0		Стабільне	
	Тау-нейтрино	ν_τ	$\bar{\nu}_\tau$	0	0	1/2	0		Стабільне	
	Електрон	e^-	e^+	1	0,511	1/2	-1	1	Стабільний	
	Мюон	μ^-	μ^+	207	105,66	1/2	-1	1	$2,2 \cdot 10^{-6}$	
	Тау-лептон	τ^-	τ^+	3492	1782	1/2	-1	1	$1,46 \cdot 10^{-12}$	
Адрони	Мезони	Пі-мезони		π^0	264,1	134,96	0	0	$1,83 \cdot 10^{-16}$	
			π^+	π^-	273,1	139,57	0	1	-1	$2,6 \cdot 10^{-8}$
		Ка-мезони	K^+	K^-	966,4	493,67	0	1	-1	$1,2 \cdot 10^{-8}$
		K^0	$\bar{K}^0$	974,1	437,7	0	0		$K_S^0 - 8,9 \cdot 10^{-11}$ $K_L^0 - 5,2 \cdot 10^{-8}$	
	Ета-нуль-мезон		η^0	1074	548,8	0	0		$2,4 \cdot 10^{-19}$	
	Нукло-ни	Протон	p	$\bar{p}$	1836,1	933,28	1/2	1	-1	Стабільний (?)
Нейтрон		n	$\bar{n}$	1838,6	939,57	1/2	0		10^3	
Гіперони	Лямбда-гіперон	Λ^0	$\bar{\Lambda}^0$	2183,1	1115,6	1/2	0		$2,63 \cdot 10^{-10}$	
	Сигма-гіперони	Σ^+	$\bar{\Sigma}^+$	2327,6	1189,4	1/2	1	-1	$8 \cdot 10^{-11}$	
		Σ^0	$\bar{\Sigma}^0$	2333,6	1192,5	1/2	0		$5,55 \cdot 10^{-20}$	
		Σ^-	$\bar{\Sigma}^-$	2343,1	1197,4	1/2	-1	1	$1,48 \cdot 10^{-10}$	

Класифікація елементарних частинок

Елементарні частинки поєднують у три групи:

- **фотони;**
- **лептони;**
- **адрони.**

Група фотонів містить у собі тільки одну частинку — фотон, який є носієм електромагнітної взаємодії.



- До групи лептонів належать **електрон, мюон**, електронне і мюонне **нейтрино** і відповідні **античастинки**. Усі лептони є ферміонами, тому що їхній спин дорівнює $1/2$. Вони не беруть участі в сильних (ядерних) взаємодіях.
- **Мюони** належать до нестабільних частинок, час їхнього життя складає $2,2 \cdot 10^{-6}$ с Вони зазнають спонтанного розпаду відповідно до наступної схеми:

$$\begin{aligned}\mu^+ &\rightarrow e^+ + \bar{\nu}_e + \nu_\mu \\ \mu^- &\rightarrow e^- + \bar{\nu}_\mu + \nu_e\end{aligned}$$

- **Адрони**, на відміну від лептонів, можуть брати участь у сильній ядерній взаємодії. До цієї групи належать **нуклони** (протон і нейтрон), **мезони** (група частинок з масою меншою, ніж маса протона) і **гіперони** (група частинок із масою більшою, ніж маса протона).

Мезони бувають двох типів:

- **π-мезони** (піони);
- **K-мезони** (каони).

- Взаємні перетворення елементарних частинок мають свої закономірності, що перегукуються із законами класичної фізики. Так, дуже важливим є той факт, що для елементарних частинок також можуть бути застосовані закони збереження їхніх фундаментальних характеристик. Наприклад, для елементарних частинок виконується закон збереження електричного заряду: при будь-якому взаємному перетворенні частинок алгебраїчні суми електричних зарядів вихідних і кінцевих частинок рівні. Це дозволяє відразу виключити з аналізу ті схеми, де ця умова не виконується.

Взаємодії елементарних частинок

- У мікросвіті здійснюються чотири типи фундаментальних взаємодій. З них тільки дві (гравітаційна і електромагнітна) відповідають процесам макросвіту.

Гравітаційна взаємодія

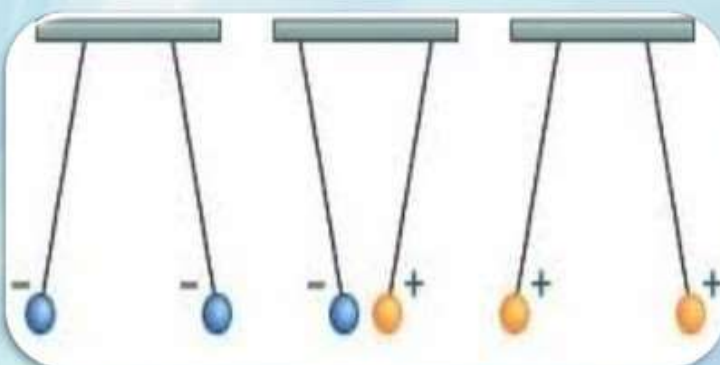


**Сила
всесвітнього
тяжіння**

Сила тяжіння



Електромагнітна взаємодія



2

Питання для самоконтролю

- 1. Що називають елементарними частинками?
- 2. Хто запропонував нову частинку «нейтрино»?
- 3. Що таке спин елементарної частинки?
- 4. На які частинки поділяється частинка при розподілі?
- 5. На які групи поділяються елементарні частинки?
- 6. Що таке анігіляція?
- 7. Чотири типи фундаментальних взаємодій

ПИТАННЯ ДО УЧНІВ У ХОДІ ВИКЛАДУ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Чи означає розпад частинки на дві (або більшу кількість інші частинки), що вона складалася з декількох частинок?
2. Які частинки беруть участь у сильних взаємодіях?
3. Яка взаємодія характеризує процеси, що відбуваються з лептонами?
4. Які елементарні частинки називають стабільними? Назвіть стабільні частинки.
5. Які фундаментальні фізичні закони дозволяють (або забороняють) ті або інші перетворення елементарних частинок?

ЗАКРІПЛЕННЯ ВИВЧЕНОГО МАТЕРІАЛУ

1). Якісні питання

1. І атом Гідрогену, і нейтрон можуть розпадатися на протон і електрон. Чому ж атом Гідрогену не вважають елементарною частинкою, а нейтрон зараховують до них?
2. Під час розпаду вільного нейтрона народжуються протон й інші частинки. Чому ж розпад вільного протона з утворенням нейтрона неможливий?

2). Навчаємося розв'язувати задачі

1. Чи може вільний електрон поглинути фотон?
Розв'язання. Не може, оскільки за такого процесу не можуть одночасно виконуватися закони збереження імпульсу й енергії. Щоб переконатися в цьому, найпростіше перейти в систему відліку, у якій електрон після поглинання фотона перебуватиме у стані спокою. У цій системі відліку виходить, що початкова кінетична енергія електрона й енергія фотона просто «зникли».
2. Нарисуйте схеми атомів Гелію й Антигелію, укажіть, з яких елементарних частинок вони складаються.
3. Чи може один γ -квант у вакуумі перетворитися в пару електрон-позитрон?

ЩО МИ ДІЗНАЛИСЯ НА УРОЦІ

- Елементарні частинки діляться на такі групи: фотон, лептони; адрони. До адронів належать частинки, здатні до сильної взаємодії, до лептонів — частинки, не здатні до сильної взаємодії.
- Відомі такі види фундаментальних взаємодій:

- гравітаційна (її носії — гіпотетичні частинки гравітони);
- електромагнітна (її носії — фотони);
- сильна (її носії — глюони);
- слабка (її носії — бозони).

Домашнє завдання

1. Підручник «Фізика і астрономія 11 клас», автор М.В. Головкин, Київ
Педагогічна думка 2019 рік: § 28, опрацювати, дати відповіді на питання.