

## У НОМЕРІ:

### Опановуємо педагогічні технології

**Сергійчук О. А.**

Використання сучасних технологій  
у демонстраційному експерименті ..... 3

**Гранківська-Тарасюк А. С.**

Змішане навчання ..... 9

### Обмінюємося досвідом

**Грубляк Л. Г.**

Реалізація наскрізних змістових ліній ..... 13



**Фізика і лірика** ..... 15

### Шукаємо матеріали до уроку

**Мазаєва В. І.**

Теплові явища. 8 клас ..... 16

**Мазаєва В. І.**

Магнітне поле струму.  
Дидактичний матеріал. 9 клас ..... 18

**Лісовська В. В.**

Мас-спектрометри та їх застосування ..... 22

### Проводимо контроль знань

**Зібарєва В. А.**

Магнітне поле. Тестові завдання. 9 клас ..... 26

**Чиновата З. А.**

Фізичні диктанти  
як засіб оптимізації контролю знань ..... 30

**Новини науки і техніки** ..... 29, 32-8, 54

### Знайомимося з гіпотезами

**Фейгін О. О.**

Фізика космосу Станіслава Лема ..... 40

### Готуємося до контролю знань

**Чернявська Л. М.**

Теплові явища. Розв'язування задач. 8 клас ..... 44

### Готуємося до сучасного уроку

**Міхєєнок Н. О.**

Рівномірний рух матеріальної точки по колу.  
Період обертання. Швидкість руху. 7 клас ..... 47

**Сичак А. В.**

Теплова рівновага й тепловий баланс.  
Розв'язування задач. 8 клас ..... 49

**Стус І. А.**

Око. Вади зору. Окуляри. 9 клас ..... 52



### Вибудовуємо нестандартний урок

**Лисенко К. М.**

Наш дім зігрітий теплотою. 8 клас ..... 55



**Сушко М. М.**

Як зберегти тепло у квартирі? 8 клас ..... 57

Див. с. 2 >>>

Явище, що спостерігається, не потребує доказів  
Р. Хайнлайн

НАУКОВО-МЕТОДИЧНИЙ ЖУРНАЛ

# ФІЗИКА В ШКОЛАХ УКРАЇНИ

ЗА СПРИЯННЯ МІНІСТЕРСТВА ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ■ Учасник проекту: Фізико-математичний ліцей № 27 м. Харкова

№ 17-18 (357-358) вересень 2018 р. ■ Заснований у серпні 2003 р. ■ Виходить двічі на місяць ■ Передплатні індекси 08417, 95936, 08418, 37058

## ТЛУМАЧНИЙ СЛОВНИК ІЗ ФІЗИКИ ВІД «А» ДО «Я» Розділ VII. Основи квантової фізики, фізика атома та атомного ядра

М. Г. Александров, М. П. Пугач, В. С. Сембратович, С. І. Лапта, м. Харків

**Закони збереження енергії, заряду та імпульсу для ядерних реакцій (закінчення).**

Ядро, яке зазнало  $\alpha$ -розпаду, зміщується на два місця лівіше в періодичній системі елементів, а його масове число зменшується на 4 одиниці. За  $\beta$ -розпаду позитивний заряд ядра збільшується на одну одиницю і ядро зміщується на одне місце правіше в періодичній системі. При цьому масове число ядра не змінюється.

Ядра, які виникають унаслідок радіоактивного розпаду, також можуть бути радіоактивними. Послідовність такого процесу призводить до виникнення ланцюжка радіоактивних перетворень, який закінчується стабільним елементом. Сукупність елементів, яка утворює такий ланцюжок, називається радіоактивним сімейством.

Сімейства називають за найбільш довгоживучим «родоначальником»: сімейство торію  $^{232}_{90}\text{Th}$ , непунію  $^{237}_{93}\text{Np}$ , урану  $^{238}_{92}\text{U}$  і актинію  $^{235}_{89}\text{Ac}$ . Кінцевими продуктами такого розпаду відповідно є  $^{208}_{82}\text{Pb}$ ,  $^{209}_{83}\text{Bi}$ ,  $^{206}_{82}\text{Pb}$ ,  $^{207}_{82}\text{Pb}$ , тобто єдине сімейство непунію (штучно радіоактивного ядра) закінчується нуклідом вісмуту  $\text{Bi}$ , усі інші (природно-радіоактивні ядра) — нуклідами свинцю  $\text{Pb}$ .

**Закони збереження в ядерних реакціях** — закони збереження в ядерних реакціях, які відбу-

ваються у всіх ядерних перетвореннях (реакціях), радіоактивному розпаді, взаємоперетворення х елементарних частинок:

- 1) закон збереження зарядового числа: алгебраїчна сума зарядових чисел частинок до перетворення дорівнює алгебраїчній сумі зарядових чисел частинок після перетворення. Цей закон є наслідком закону збереження електричного заряду.
- 2) Закон збереження масового числа: суми масових чисел частинок до й після перетворення однакові. Цей закон впливає із закону збереження маси. Він також указує на збереження числа нуклонів.
- 3) Закон збереження спіну.

З. з. я. р. мають загальний характер. Окрім того, існують специфічні закони збереження для окремих взаємодій чи класів елементарних частинок. Наприклад, для сильних взаємодій виконується закон збереження ізотопічного спіну.

**Закони зміщення за радіоактивному розпаді** — закони, якщо за ядерних перетворень зберігаються маса та заряд: за  $\alpha$ -розпаду, враховуючи, що її масове число дорівнює 4, а зарядове — 2, утворюється ядро з масовим числом, меншим на 4, а зарядовим числом, меншим на 2; за  $\beta$ -розпаду — із зарядовим числом, більшим на 1 (масове число  $\beta^-$  — 0, а зарядове — 1). Ці залежності й називають законами зміщення.

Продовження. Початок див. у № 3–4 (343–344), 5–6 (345–346), 7–8 (347–348), 9–10 (349–350), 11–12 (351–352) та 13–14 (353–354).

**Закон Кірхгофа** — див. *Кірхгофа закон*.

**Закон Мозлі** — закон зміщення характеристичного рентгенівського спектра. З. м. — емпірично встановлена залежність частоти та довжини хвилі серій характеристичного рентгенівського випромінювання від атомного номера хімічного елемента.

Для лінії  $K_\alpha$  характеристичного випромінювання закон Мозлі має вигляд

$$\frac{1}{\lambda_{K_\alpha}} = R(Z-1)^2 \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right).$$

Для інших серій

$$\frac{1}{\lambda_{K_\alpha}} = R(Z - \sigma_{mn})^2 \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right),$$

де  $\sigma_{mn}$  — деяке число, що описує екранування заряду ядра внутрішніми електронами.

**Закон має ім'я свого першовідкривача** — англійського фізика Генрі Мозлі. Закон Мозлі відіграв дуже важливу роль в ідентифікації хімічних елементів та визначенні їхнього місця в періодичній таблиці. Складаючи періодичну таблицю, Дмитро Менделєєв спирався на відомі значення атомних мас елементів. Однак йому довелося переставити деякі елементи місцями й припустити існування інших, іще невідомих. На відміну від атомної маси, закон Мозлі не має винятків: спектральні лінії характеристичного рентгенівського випромінювання розташовані в строгій закономірності. Аналіз їхніх частот дозволив точно встановити місця в періодичній таблиці перехідних елементів, які мають схожі хімічні властивості й не сильно різняться за масою. Аналіз спектрів допоміг також переконатися в тому, що в періодичній таблиці немає лакун — від Гідрогену до Урану рівно 92 хімічні елементи.

**Зарядова незалежність ядерних сил** — властивість ядерних сил, що полягає в тому, що значення сил, які діють між двома протонами, чи між двома нейтронами, або між протоном та нейтроном, буде однаковим за умови, що частинки, які взаємодіють, перебувають в однакових станах, тобто мають однакові значення квантових чисел.

**Зарядова парність (C-парність)** — квантове число, що застосовується у фізиці елементарних частинок для опису мультиплетів, узагальнення зарядової парності.

**З. п.** — квантове число, що характеризує поведінку істинно нейтральних частинок у процесі електромагнітної чи сильної взаємодії. Якщо провести операцію зарядового зіставлення, то ці взаємодії не змінюються: у будь-якому процесі з частинками відповідає такий же процес з ан-

тичастинками; такий симетрії законів сильної та електромагнітної взаємодії відповідає закон збереження зарядової парності. Але за слабкої взаємодії цей закон порушується: продукти розпаду частинок летять в один бік, а античастинок — в інший. Для опису цих процесів і вводять зарядову парність: якщо за зарядового зіставлення хвильова функція не змінюється, то її вважають додатною, у протилежному випадку — від'ємною. Це число є мультикативним: зарядова парність системи є добутком зарядової парності частин. Зарядова парність фотона від'ємна, а  $\pi$ -мезона — додатна, тому розпад його на два фотони можливий, бо  $(-1)^2 = 1$ , а на три фотона неможливий.

**Зарядове зіставлення** — операція заміни частинок їхніми античастинками. Сильна та електромагнітна взаємодії за З. з. не змінюються: для будь-якого процесу з частинками для тих самих взаємодій існує точно такий самий процес з античастинками. Такий симетрії законів сильної й електромагнітної взаємодії відносно З. з. відповідає закон збереження зарядової парності. За слабкої взаємодії цей закон порушується: якщо продукти розпаду частинок летять переважно в один бік, то за розпаду античастинок — в інший. Назва «зарядове зіставлення» не зовсім вдала, оскільки цій операції підлягають і нейтральні, і істинно нейтральні частинки, позбавлені електричного заряду.

**Зарядове число  $Z$**  — число, яке співпадає з атомним номером хімічного елемента — кількість протонів в ядрі, тобто заряд ядра дорівнює  $Ze$ , де  $e$  — елементарний електричний заряд. Ця величина співпадає з атомним номером хімічного елемента в таблиці Менделєєва й дорівнює кількості електронів у нейтральному атомі.

**Зарядовий мультиплет** — групи частинок, які однаково поведуться за сильних взаємодій, але відрізняються зарядом, причому ці частинки розглядають як одну частинку у різних зарядових станах. Найвідоміші з них: дуплет «протон — нейтрон», триплет гіперонів  $\Sigma^-, \Sigma^0, \Sigma^+$ , триплет піонів  $\pi^-, \pi^0, \pi^+$ .

**Заряд ядра** — електричний заряд атомного ядра  $Ze$ , де  $Z$  — число протонів у ядрі,  $e$  — заряд протона. Уперше З. я. було визначено на основі дослідів із розсіювання  $\alpha$ -частинок ядра (див. *Досліди Резерфорда*), а потім за законом зміщення Мозлі в рентгенівських спектрах.

**Застосування рентгенівського випромінювання** — випромінювання рентгенівських променів у різних галузях медицини, науки й техніки.

Відразу після відкриття рентгенівського випромінювання його було застосовано в медицині. Цьому сприяла його велика проникна здатність та особливості поглинання. Кістки й тканини по-різному поглинають рентгенівське випромінювання, оскільки в перші входить кальцій, а в другі — вода, і відношення їхніх коефіцієнтів поглинання дорівнює приблизно 68. Тому на рентгенівських знімках тінь від кісток різко виділяється. Пізніше була розроблена рентгенівська дефектоскопія — виявлення наявності, місця й розмірів внутрішніх дефектів у виробках шляхом їх рентгенівського просвічування. Після того, як була досконало вивчена природа рентгенівського випромінювання, одержана дифракція, його почали застосовувати для дослідження будови кристалів. Так було створено рентгенівський структурний аналіз, за допомогою якого визначено атомні структури мінералів, неорганічних сполук, сплавів, структури складних органічних сполук, проводиться наукове прогнозування добування нових матеріалів із наперед заданими властивостями та ін. Рентгено-спектральний аналіз дає змогу з великою точністю визначити довжини хвиль та інтенсивності тонкої структури рентгенівських спектрів випромінювання й поглинання. На основі таких відомостей можна визначити енергію зв'язку електронів у різних стаціонарних станах, стежити за змінами величин енергії зв'язку за зміни взаємодії й характеру взаємодії в конденсованих системах, тобто одержати відомості про енергетичний спектр електронів.

Велике практичне значення має рентгеноспектральний хімічний аналіз елементарного складу речовини. Один із його нових методів (так званий локальний рентгеноспектральний хімічний аналіз) дає змогу визначити елементарний хімічний склад усіх елементів таблиці Менделєєва в мікроскопічних об'ємах близько кубічного мікрметра. У наш час це єдиний метод визначення складу окремих вузлів схем мікроелектроніки, перехідних шарів у приладах квантової електроніки. На практиці використовують кілька методів рентгеноспектрального й рентгеноструктурного аналізу, а саме: метод Лауе — нерухомий монокристал опромінюється вузьким пучком рентгенівського випромінювання, спектр якого неперервний (суцільний); метод обертового кристала — монокристал, що обертається, опромінюють монохроматичними променями; метод порошків (метод Дебая — Шеррера — Хелла) — полікристалічне тіло опромінюють монохроматичним рентгенівським

випромінюванням. Великого значення набули дослідження рентгенівського випромінювання космічних тіл, які проводять зі штучних супутників. На основі цих досліджень стає можливим визначення складу небесних тіл за їх рентгенівським випромінюванням. Ці дослідження привели до створення рентгенівської астрономії. Широкого практичного застосування набула також рентгенівська мікроскопія. Хоча роздільна здатність рентгенівських мікроскопів на 2–3 порядки нижча від роздільної здатності електронних, проте велика проникна здатність рентгенівського випромінювання дає змогу розв'язувати ряд практичних задач металознавства, біології та інших галузей знань.

**Захист від йонізаційних випромінювань** — сукупність заходів, які забезпечують зниження рівня опромінення обслуговуючого персоналу, який працює поблизу джерел випромінювання, до гранично допустимих доз.

**Захист ядерного реактора** — комплекс споруд, які призначені для зниження інтенсивності випромінювання, що йде з реактора, до гранично допустимої дози, безпечної для обслуговувального персоналу, а також для захисту обладнання й матеріалів від руйнувань під дією випромінювання.

**Збагачення урану** — фізичний процес збільшення співвідношення вмісту ізоотопу урану  $^{235}_{92}\text{U}$  до  $^{238}_{92}\text{U}$ . Ізотоп  $^{238}_{92}\text{U}$ , незважаючи на радіоактивність, дуже стабільний, він не здатний до самостійної ланцюгової ядерної реакції на теплових нейтронах, на відміну від рідкісного  $^{235}_{92}\text{U}$ , який інтенсивно використовують в атомній промисловості й для створення ядерної зброї. Нині  $^{235}_{92}\text{U}$  є основним ядерним паливом, без нього неможливе одержання плутонію, який використовують для створення ядерної та термоядерної зброї. Однак через те, що частка ізоотопу  $^{235}_{92}\text{U}$  мала (0,72 %), підготовка ядерного палива обов'язково повинна включати стадію збагачення урану.

Збагачення урану здійснюють двома основними методами розділення ізоотопів: газодифузійним методом та методом газового центрифугування. У Росії, Великій Британії, Німеччині, Нідерландах та Японії застосовують метод центрифугування, за якого газ  $\text{UF}_6$  розкручують до дуже високої швидкості й через різниці в масі молекул відбувається просторове розділення ізоотопів, які потім переводять назад в метал. У відходах залишається тільки 0,2–0,3 %  $^{235}_{92}\text{U}$ . Відносні пропорції

урану-238 (синій) та урану-235 (червоний) на різних стадіях збагачення.

**Збереження принципи** — особливий клас наукових принципів, що відображають постійність фундаментальних властивостей або відношень природи. У структурі фізичних теорій 3. п. формулюють як закони збереження і як принципи інваріантності. У цей час відомі закон збереження енергії, маси, імпульсу, моменту імпульсу, спина, ізотопічного спіну, парності, дивності, лептонного заряду, баріонного заряду тощо. У спеціальній теорії відносності формулюють принцип інваріантності законів природи по відношенню до систем, рухомих одна відносно одної рівномірно й прямолінійно.

У фізичну теорію входять фундаментальні сталі:  $h$  — стала Планка у квантовій механіці,  $c$  — стала швидкості світла в теорії відносності. Постійність цих величин можна розглядати як особливий тип 3. п. Таким чином, типи 3. п. різноманітні. За мірою спільності дії 3. п. можна розділити на загальні й окремі. Закон збереження енергії, наприклад, належить до класу загальних 3. п., а закон збереження парності — до класу окремих 3. п. Можна розрізняти 3. п. і за характером величин (речі, властивості або відношення), що зберігаються, і за математичними формами. У дослідженні складних, зокрема біологічних, систем важливе значення має поняття структури, і 3. п. мають тут форму структурних принципів. У зв'язку з цим велику роль відіграє співвідношення 3. п. з властивостями симетрії, тобто з гармонічним ритмом або закономірним розташуванням частин загалом. Симетрія в цьому плані виступає як єдність збереження й зміни, пов'язана з тотожністю й відмінністю поданих об'єктів. 3. п. контролюють процеси взаємних перетворень матеріальних об'єктів. Вони є глибокою основою закономірних, необхідних причинних зв'язків природи. Будучи найбільш загальними законами в тій або тій науковій теорії, вони мають велике евристичне значення. 3. п. відображають одну зі сторін діалектичної суперечності — протиріччя збереження й зміни.

**Земана явище** — розщеплення вироджених рівнів в атомах та молекулах за їх перебування в магнітному полі. Це призводить до появи розщеплених ліній в спектрах випромінювання, поглинання та радіочастотних спектрах, останні виникають за переходах між підрівнями одного рівня (мала різниця між підрівнями). Величина розщеплення залежить від величини магнітного по-

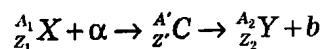
ля, тому цей ефект використовують для вимірювання останнього за допомогою оптичних методів у різних фізичних дослідженнях: фізиці плазми, астрофізиці тощо.

**Зіверт (Зв)** — одиниця еквівалентної дози випромінювання в СІ; 1 Зв дорівнює еквівалентній дозі йонізаційного випромінювання, за якого добуток поглиненої дози в біологічній тканині стандартного складу й середнього коефіцієнта якості дорівнює  $1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} = 1 \text{ Зв} = \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}$ . Спеціальною одиницею еквівалентної дози йонізаційного випромінювання є 1 бер = 1 рад, якщо коефіцієнт якості випромінювання  $k=1$ ; 1 Зв = 100 бер.

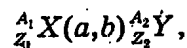
**Зіверт у секунду** — одиниця потужності еквівалентної дози в СІ; 1 Зв дорівнює потужності, якщо за 1 с утворюється еквівалентна доза йонізаційного випромінювання.

**Зіткнення бомбардуєчих частинок із ядром мішені** — зіткнення частинок-снарядів (до яких належать нейтрони,  $\alpha$ -частинки, протони, дейтрони) з ядрами-мішенями. Частинка-снаряд повинна мати достатню енергію для подолання значного потенціального бар'єра кулонівських сил відштовхування ядра-мішені. Проникнувши в ядро-мішень, частинка-снаряд застрягає в ньому, передаючи при цьому свою енергію значному числу нуклонів у радіусі дії ядерних сил. Якщо ядро-мішень, одержавши таку енергію, стає збудженим протягом часу  $\tau_1 \approx 10^{-14}$  с, то такі ядерні реакції відбуваються через складене або компаунд-ядро.

Складене, або компаунд-ядро, через час  $\tau_1 \approx 10^{-14}$  с переходить у нормальний стан, випромінюючи іншу частинку. Схематично ядерні перетворення через проміжне складене ядро виглядає так:



або



де  ${}^A_1X$  — вихідне ядро-мішень;  $a$  — частинка-снаряд;  ${}^{A'}_2C$  — складене, або компаунд-ядро;  $b$  — частинка, яка вилітає з ядра внаслідок реакції;  ${}^{A_2}_2Y$  — ядро, яке є продуктом ядерної реакції. Серед ядерних реакцій, які відбуваються через складене ядро, слід відзначити ядерні реакції відриву та ядерні реакції захоплення.

**Зони енергетичні** — поняття з квантової (зонної) теорії твердих тіл. Взаємодія атомів між

собою призводить до розщеплення атомних рівнів: замість одного рівня з'являються близькі рівні, кількість яких дорівнює кількості атомів. З огляду на те, що кількість атомів дуже велика, а величина зовнішніх меж розщеплення є обмеженою, це призводить до утворення областей, що складаються з дуже близько розташованих рівнів — їх називають зонами.

як вид атомів, що характеризується одиницею протонним числом (зарядом ядра).

Зазвичай у природі більшість хімічних елементів існує у вигляді ізотопів. Тому відносна атомна маса таких елементів визначається величинами відносних атомних мас кожного з нуклідів з урахуванням їхньої масової частки в природі. Наприклад, елемент Оксиген являє собою суміш ізотопів — нуклідів  $^{16}_8\text{O}$  — 99,757 %,  $^{17}_8\text{O}$  — 0,039 % і  $^{18}_8\text{O}$  — 0,204 %. Щоб знайти відносну атомну масу Оксигену, треба:

$$A_r = \frac{16 \cdot 99,757 + 17 \cdot 0,039 + 18 \cdot 0,204}{100} = 15,99447.$$

Заокруглюємо знайдене середнє значення, виходить  $A_r(\text{O}) = 16$ .

Відносна атомна маса елемента в періодичній системі — це середнє значення атомних мас його ізотопів з урахуванням їхніх масових частининок у природному елементі. Саме тому, що майже всі елементи — це суміші нуклідів, їхні відносні атомні маси не цілочислові, а дробові. Відносна атомна маса таких елементів, як Натрій, Алюміній, Фосфор, що не мають ізотопів, не є цілочисловою, а лише наближається до неї. Це пояснюється тим, що Карбон, який береться за точку відліку атомних мас інших елементів, сам складається з двох природних ізотопів  $^{12}_6\text{C}$  і  $^{13}_6\text{C}$ , а для визначення відносної атомної маси беруть один із природних ізотопів, саме  $^{12}_6\text{C}$ , або Карбон-12. Оскільки ізотопи певного елемента мають однакове протонне число (заряд ядра), а отже, і однакове число електронів, які однаково розташовані за енергетичними рівнями, то їхні хімічні властивості також практично однакові. Тому можна говорити про хімічні властивості, наприклад хлору, не беручи до уваги його ізотопний склад.

**Ізобари** — атоми, які мають однакові масові числа, але належать до різних елементів. Інакше кажучи, це атоми, ядра яких мають однакову кількість нуклонів, але різну кількість протонів і нейтронів.

**Ізотопи** — це нукліди одного хімічного елемента, які мають однакове протонне число (заряд ядра).

Позначення нуклідів Оксигену: Оксиген-16, Оксиген-17, Оксиген-18, або  $^{16}_8\text{O}$ ,  $^{17}_8\text{O}$ ,  $^{18}_8\text{O}$ .

Треба звернути увагу, що термін «ізотопи» вживають лише в множині (застаріле «ізотоп» і є «нуклід»). Наприклад, природний Оксиген, крім нуклідів  $^{16}_8\text{O}$ , містить іще атоми з нуклонними числами 17 і 18. Це означає, що в природному Оксигені є різні види атомів, які в ядрі містять однакову кількість протонів (по 8), але різну кількість нейтронів (відповідно 8, 9, 10). Саме тому вони й різняться між собою атомною масою. Зазначені нукліди, або  $^{16}_8\text{O}$ ,  $^{17}_8\text{O}$ ,  $^{18}_8\text{O}$ , і є ізотопами Оксигену.

Назви й символи ізотопів збігаються з назвами й символами відповідного хімічного елемента. Виняток становлять лише ізотопи найлегшого з елементів — Гідрогену. Вони мають нуклонні числа 1, 2, 3 і власні назви та символи (див. табл.).

Ізотопи Гідрогену й Карбону

Таблиця

Нукліди		Кількість		Нуклонне число
позначення	назва	протонів	нейтронів	
$^1_1\text{H}$	Протій	1	0	1
$^2_1\text{H}$	Дейтерій	1	1	2
$^3_1\text{H}$	Тритій	1	2	3
$^{12}_6\text{C}$	Карбон-12	6	6	12
$^{13}_6\text{C}$	Карбон-13	6	7	13
$^{14}_6\text{C}$	Карбон-14	6	8	14

Відкриття ізотопів на початку ХХ століття дало змогу поглибити знання про хімічний елемент,

Ізотопи

Таблиця

Стабільні	Радіоактивні
$^{16}_8\text{O}$ , $^{17}_8\text{O}$ , $^{18}_8\text{O}$ , $^{39}_{18}\text{Ar}$ , $^{40}_{18}\text{Ar}$ , $^{14}_7\text{N}$ , $^{15}_7\text{N}$	$^{125}_{53}\text{I}$ , $^{131}_{53}\text{I}$ , $^{133}_{55}\text{Cs}$ , $^{137}_{55}\text{Cs}$ , $^{88}_{38}\text{Sr}$ , $^{90}_{38}\text{Sr}$

Ізотопи (окремі нукліди) поділяють на стабільні й радіоактивні (радіонукліди). Стабільні нукліди мають усі «парні» елементи й більшість «непарних» із протонним числом (зарядом ядра) < 83. Нукліди всіх елементів, розташованих у періодичній системі після Вісмуту, радіоактивні.

**Ізотопів розділення** — виділення окремих ізотопів із природної їх суміші чи збагачення суміші окремими ізотопами. Існує багато методів І. р. Усі вони ґрунтуються на відмінності у властивостях ізотопів та їхніх сполук, зумовлених різницею мас їхніх атомів. Існують дифузійні й електромагнітні методи І. р. за допомогою електролізу, центрифугування тощо.

**Ізотопічна інваріантність** — вид симетрії, властивий сильній взаємодії елементарних частинок. Проявляється в існуванні ізотонічних мультиплетів адронів. Члени такого мультиплету мають близькі маси, однаковий спін, внутрішню парність, баріонний заряд, дивність, але різні електричні заряди. Приклади І. м.: дублет нуклонів, триплет піонів, триплет гіперонів тощо.

**Ізотопічний мультиплет** — група адронів, які, маючи однакові баріонний заряд, спін, дивність, парність і близькі маси, але різні електричні заряди, однаково поведуться за сильних взаємодій: з точки зору цієї взаємодії вони нерозрізними, симетричними.

**Ізотопічний спін, або ізоспін**, — квантове число, що дозволяє трактувати елементарні частинки з близькими значеннями мас і схожими властивостями щодо взаємодії, як стани однієї спільної родинної частинки.

Ізотопічний спін позначають зазвичай літерою  $I$ .

Наприклад, близькі за масою протон і нейтрон утворюють дублет станів нуклона. Ізотопічний спін для дублета дорівнює  $\frac{1}{2}$ . При цьому прото-

ну приписують проекцію ізотопічного спіну  $+\frac{1}{2}$ , а нейтрону —  $-\frac{1}{2}$ .

Відповідним чином піони складають триплет, а тому ізотопічний спін для них дорівнює 1. Загалом ізотопічний спін описується оператором, аналогічним оператору спіну, який діє в уявному ізотопічному просторі. Якщо частинки взаємодіали тільки через сильну взаємодію, то напрямок координатних осей у цьому просторі жодним чином не був би пов'язаний із будь-якою іншою характеристикою. Коли, окрім сильної взаємодії, наявна ще й електромагнітна взаємодія, то енергія частинки змінюється. Проекція однієї з компонент ізотопічного спіну на вибраний напрямок в ізотопічному просторі залежить від заряду частинки. Саме тому протон має ізотопічний спін  $\frac{1}{2}$ ,

а нейтрон —  $-\frac{1}{2}$ . Загалом для вираження зв'язку між ізотопічним спіном і зарядом існує формула Гелл-Манна — Нісідзіми:

$$q = e \left( I_3 + \frac{1}{2} Y \right),$$

де  $e$  — елементарний заряд,  $I_3$  — проекція ізотопічного спіну, а число  $Y$  — однакове для всієї родини частинок. Це число називають гіперзарядом. Для нуклонів гіперзаряд дорівнює 1.

Поняття ізоспіну запровадив Вернер Гайзенберг 1932 року для пояснення симетрії нейтрона.

**Імпульсний реактор** — ядерний реактор, сконструйований для роботи в імпульсному режимі. Імпульси потужності створюються внаслідок різкого збільшення реактивності, після внесення в систему додаткових кількостей розщеплюваних речовин або видалення поглинаючих матеріалів І. р. ядерний генерує короточасні імпульси потоку порядку  $10^{12} + 10^{14}$  нейтронів із  $1 \text{ см}^2$  за імпульс тривалістю 100 мкс.

**Інстантон** — вид флуктуацій вакууму, за яких виникає й зникає сильне глюонне поле кварків. Поводяться як псевдочастинки.

**Іскрова камера** — прилад для реєстрування траєкторій заряджених частинок. Складається з набору плоских електродів у камері з низьким тиском, де непарні електроди заземлено, а на парні подається висока напруга (15 кВ). За пролітання частинки в І. к. видно іскровий слід на її шляху.

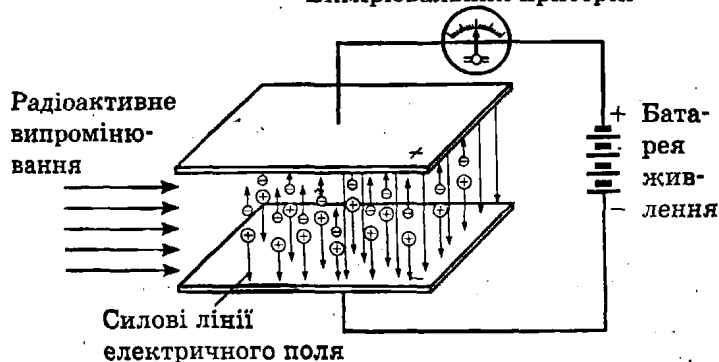
**Іскровий лічильник** — прилад для реєстрування заряджених частинок, принцип дії якого ґрунтується на виникненні іскрового розряду в газі за потрапляння в нього зарядженої частинки. Виготовляють у вигляді герметично закритих заповнених газом посудин із двома паралельно розташованими плоскими електродами. До електродів прикладають постійну напругу, щоб за проходження через посудину йонізаційних частинок між електродами відбувався іскровий пробій. Іскра проскакує в тому місці, де частинка за пролітання спричинила йонізацію газу.

**Істинно нейтральна частинка** — елементарна частинка, у якій всі характеристики, що відрізняють частинку від античастинки (електричний заряд, баріонне й лептонне числа, дивність, чарівність), дорівнюють нулю. І. н. ч. тотожна зі своєю античастинкою. До неї належать фотон,  $\pi^0$ -мезон і  $\eta^0$ -мезон,  $\gamma$ -частинка.

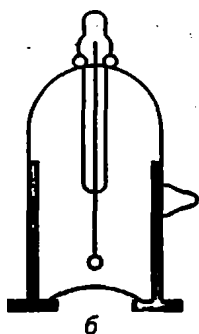
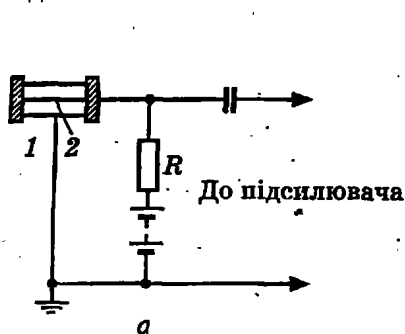
## Й

**Йонізаційна камера** — прилад для реєстрування й дослідження різного роду випромінювань. Являє собою заповнену якимось газом герметичну закриту посудину з двома електродами, на які подається певна різниця потенціалів. Якщо випромінювання немає, то електричний опір газового проміжку дуже великий і в колі І. к. струму практично немає. Заряджені частинки, пролітаючи через камеру, йонізують атоми або молекули газу. Під дією електричного поля йони й електрони переміщуються в напрямку електродів, і в колі І. к. проходить струм.

Вимірювальний пристрій



**Йонізаційний лічильник** — прилад, у якому заряджену частинку реєструють за імпульсом газорозрядного струму, що зумовлюється йонізаційною дією частинки в газах.



Найбільш поширеним є газорозрядний лічильник Мюллера (рис. а). У ньому вмонтовано два електроди: один — це провідний шар на внутрішній поверхні скляного циліндра або просто металевий циліндр 1, другий — металева нитка 2, натягнута вздовж осі циліндра. На електроди лічильника подається електрична напруга, близька до розрядної. Завдяки цьому розряд починається лише тоді, коли в лічильник потрапить елементарна частинка або  $g$ -фотон, які спричиняють початкову йонізацію газу.

Ядерні частинки або  $g$ -фотона можна реєструвати лише початком газового розряду, бо коли

розряд уже почався, попадання нових частинок у лічильник істотно не впливатиме на розрядний струм і їх не можна виявити. Тому після кожної частинки, що потрапила в лічильник і зумовлювала розряд, треба автоматично припинити розряд; це зробить лічильник придатним до реєстрування наступної частинки.

За способом припинення розряду лічильники поділяються на *несамогасні* й *самогасні*.

У *несамогасних* лічильниках у коло послідовно з анодом вмикають дуже великий опір  $\sim 10^9 \text{ Ом}$ . За виникнення розрядного струму на ньому падає переважна частина напруги джерела струму, тоді як між електродами вона різко зменшується й розряд припиняється. Цей процес триває близько  $10^{-2} \text{ с}$  (мертвий час). Отже, максимальна швидкість лічби таких лічильників не перевищує  $100 \frac{\text{імп}}{\text{с}}$ .

Конструктивно простіші й мають більшу швидкість лічби *самогасні* лічильники. Припинення розряду в них досягається спеціальним підбором газів; наприклад, беруть 90 % аргону і 10 % пари етилового спирту чи інший багатоатомний газ, йонізаційний потенціал якого менший, ніж для аргону. Загальний їхній тиск становить близько 1 кПа.

Суть *гасіння* розряду така. У лічильнику електричне поле стає сильнішим із наближенням до осі, тут електрони здійснюють ударну йонізацію газу. Проте початковий імпульс йонізації, зумовлений ядерною частинкою, швидко закінчується; електрони вміть досягають анода, а малорухливі позитивні йони ще деякий час оточують нитку анода й настільки послаблюють біля неї поле, що ударна йонізація стає неможливою, лічильник не реагує на нові досліджувані частинки. З наближенням позитивних йонів до катода йони одноатомного газу нейтралізуються внаслідок вивільнення електронів із багатоатомних молекул. Останні перетворюються на важкі йони, які за наближенні до катода викидають електрони з металу й перетворюються на нейтральні молекули. Мертвий час *самогасних* лічильників —  $10^9 \text{ с}$ .

Для реєстрування  $\beta$ -частинок малих енергій, порядку 0,2–0,1 MeV, та  $\alpha$ -частинок, проникна здатність яких дуже мала, використовують торцеві лічильники (рис. б). У них нитку анода замінено голкою, а в передній кінець трубки вмонтовано слюдяне віконце такої товщини, щоб частинки могли проникати в лічильник. Слюдяне віконце в лічильниках для  $\beta$ -частинок має товщину близько 0,01 мм, для  $\alpha$ -частинок — близько 0,005 мм.

**Калібрувальна інваріантність** — вимога незалежності фізичних теорій від певних перетворень, які відображають приховану симетрію фізичних полів. Поняття калібрувальної інваріантності важливе для сучасної фізики, оскільки допомагає навести порядок у великій різноманітності елементарних частинок. Перетворення, щодо яких вимагається інваріантність фізичних теорій, називають калібрувальними перетвореннями, а самі такі теорії — калібрувальними теоріями. Прикладом калібрувальних перетворень є множення хвильової функції на довільне комплексне число з модулем, рівним одиниці, тобто число виду  $e^{i\alpha}$ . Оскільки значення спостережуваних фізичних величин у квантовій механіці отримують як матричні елементи, у які входить добуток хвильової функції на комплексну спряжену, таке перетворення нічого не змінює у фізичних результатах теорії.

Тобто, мовою математики та теоретичної фізики, квантова механіка є калібрувальною теорією щодо перетворень.

**Калібрувальна симетрія** — поняття квантової теорії поля, що означає незмінність рівнянь руху за так званих калібрувальних перетворень (наприклад, таких, як зміна фази хвильової функції, зміна кута повороту), що спричиняє так звані калібрувальні поля.

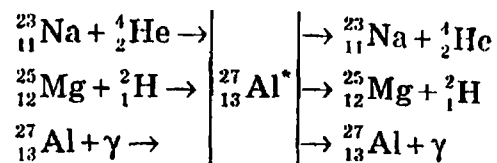
**Калібрувальні поля** — векторні поля, унаслідок яких забезпечується інваріантність рівнянь руху відносно калібрувальних перетворень. Приклади К. п.: електромагнітне в електродинаміці, глюонні поля, поля проміжних векторних бозонів у теорії слабкої взаємодії.

**Каліфорній** — штучно добутий у 1950 р. радіоактивний хімічний елемент з атомним номером 98. Відомі ізотопи К. із масовими числами від 244 до 254.

**Камера Вільсона** — див. *Вільсона камера*.

**Канал реакції** — один із різних шляхів, яким може піти хімічна або ядерна реакція, у результаті якої за однакових вихідних реагентів утворюються різні продукти. Ядерну реакцію, що спричиняється до утворення проміжного ядра, називають вхідним каналом ядерної реакції, а кожний окремий вид розпаду проміжного ядра — вихідним каналом.

Наприклад, проміжне ядро  $^{27}_{13}\text{Al}$  має три вхідні канали його утворення й три вихідні канали його розпаду:



Здійснення того чи того виду вихідного каналу залежить від енергії збудження проміжного ядра  $E^*$ . Якщо енергія збудження перевищує енергію зв'язку  ${}^4_2\text{He}$ -частинки або дейтрона  ${}^2_1\text{H}$ , проміжне ядро може перейти в основний стан, випустивши одну з цих частинок. Якщо ж  $E^*$  менша від енергії цих частинок, то перехід в основний стан відбувається через випускання одного або кількох  $\gamma$ -квантів.

**Каони (K-мезони)** — група нестабільних мезонів, у яку входять дві заряджені ( $K^+$  і  $K^-$ ), дві нейтральні частинки ( $K^0$  і  $\bar{K}^0$ ) з нульовим спіном і масою спокою, приблизно в 970 разів більшою, ніж маса спокою електрона.  $K^-$  і  $\bar{K}^0$  є античастинками для  $K^+$  і  $K^0$ , які належать до дивних адронів, з нульовим спіном, з половинним ізоспином, масою приблизно 490 MeV. До складу каонів входить дивний кварк. Чотири каони позначаються  $K^-$ ,  $K^+$ ,  $K^0$  та  $\bar{K}^0$ . Дивність каонів полягає в тому, що вони народжуються за сильною взаємодії, розпадаються тільки через слабку взаємодію, а тому мають порівняно тривалий час життя. Два нейтральних каони народжуються парами внаслідок сильною взаємодії, але згодом за допомогою механізму, який називають осциляцією нейтральних частинок, перетворюються на суміш двох інших каонів: нейтрального каону з довгим часом життя й нейтрального каона з коротким часом життя. Часи життя цих двох частинок відрізняються на три порядки. Каони відіграли значну роль у встановленні фундаментальних законів збереження. К. беруть участь у сильній взаємодії, тобто належать до групи адронів; вони не мають баріонного заряду й мають значення квантового числа дивності відмінним від нуля; у  $K^+$  і  $K^0$  дивність  $S = +1$ , а в  $K^-$  і  $\bar{K}^0$  —  $S = -1$ . К. спільно з гіперонами утворюють групу дивних частинок, для деяких  $S$  не дорівнює нулю. Через різні дивності  $K^0$  і  $\bar{K}^0$  є самостійними частинками, які по-різному беруть участь у сильній взаємодії.

**Квадруполь** — електрично нейтральна система, що складається з двох однакових електрично нейтральних диполів із протилежними дипольними моментами.

Далі буде... §