

У НОМЕРІ:

Педагогічні заходи

Учасники Всеукраїнського конкурсу
«Учитель року — 2018» 2

Олімпіади, конкурси, турніри

Упоряд. Алексейчук В. І.
Всеукраїнський фізичний конкурс
«Левеня-2018» 28

Плануємо навчальну діяльність

Бузько В. Л.
Фізика. 10 клас. Рівень стандарту 47
Кравченко Т. В.
Фізика. 10 клас. Рівень стандарту 53

Опановуємо педагогічні технології

Кулікова Т. М., Рогожинська Л. Ф.
Урок як форма кейс-методу 59

Методичний банк. Внесок № 95

Кухар М. А.
Фізика + медицина + гігієна = здоров'я.
Курс за вибором. 9 клас 32-1

Школа для вчителя. Випуск 105

Александров М. Г., Пугач М. П.,
Сембратович В. С., Лапта С. І.
Тлумачний словник із фізики від «А» до «Я».
Розділ VII. Основи квантової фізики,
фізика атома та атомного ядра 32-4-1

«Фізика в школах України. Позакласна робота» № 7 (55)

На нашому сайті <http://journal.osnova.com.ua>

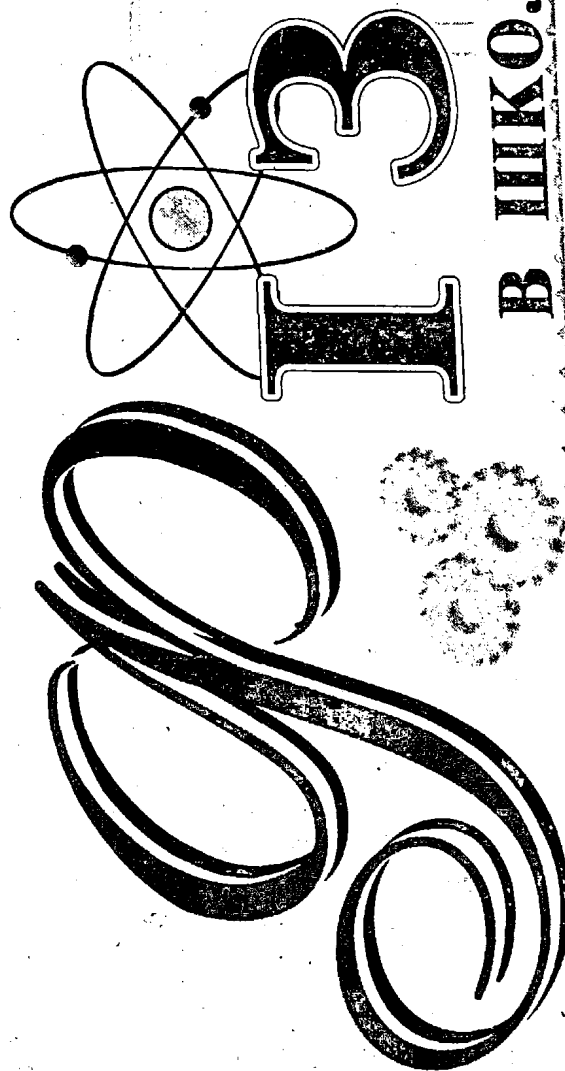
Керівнику гуртка

Цегельник Ю. Г.	
Міжпредметні зв'язки та розвиток пошукових, експериментальних умінь і дослідницьких навичок . . .	2
Заняття № 7. Туристична фізика	2
Заняття № 8. Дифузія в природі та екологічні проблеми нашого селища	5
Заняття № 9. Дифузія в природі та екологічні проблеми нашого селища	7
Заняття № 10. Фізика й екологічні проблеми річки Оріль	8
Заняття № 11. Фізика й екологічні проблеми річки Оріль	10
Заняття № 12. Енергозбереження країни	11
Заняття № 13. Таємниці зоряного неба	13
Заняття № 14. Таємниці зоряного неба	15
Заняття № 15. «Космічна» подорож на планету Фізика	16
Заняття № 16. Фізика й моя майбутня професія	19
Заняття № 17. Фізика й моя майбутня професія	22
Заняття № 18. Підсумкове заняття	23

Явище, що спостерігається, не потребує доказів.
Р. Хайнлайн

НАУКОВО-МЕТОДИЧНИЙ ЖУРНАЛ

ФІЗИКА
В ШКОЛАХ УКРАЇНИ



Учасник проекту: Фізико-математичний ліцей № 27 м. Харкова ■
Передплатні індекси
08417, 95936, 08418, 37058
Виходить двічі на місяць ■ Виходить двічі на місяць
Заснований у серпні 2003 р. ■ Заснований у серпні 2003 р.
№ 13-14 (353-354) липень 2018 р.

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

Джерела ядерних випромінювань — випромінювачі атомних ядер, елементарних частинок і гамма-квантів. Д. я. в. можуть бути радіоактивні елементи, ядерні реактори, прискорювачі заряджених частинок, термоядерні реакції тощо.

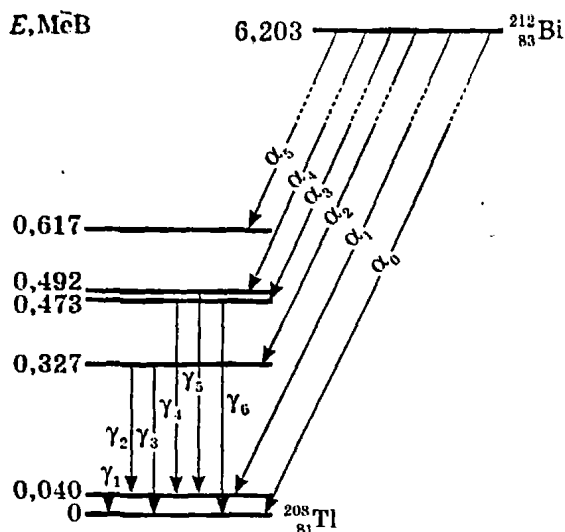
Дивність — специфічне квантове число (дивина), що характеризує кварки та адрони, які народжуються за сильної взаємодії, а розпадаються через слабку взаємодію. Дивному кварку приписують дивність, що дорівнює $S = -1$, його антикварку $S = +1$, а іншим кваркам та антикваркам $S = 0$. Дивність адрону дорівнює сумі дивностей складових кварків. Враховуючи, що адрони складаються з трьох кварків, вони можуть мати дивність від 0 до 3. За сильних та електромагнітних взаємодій дивність зберігається (тому дивні частинки народжуються парами — одна з додатною дивністю, друга — з від'ємною), за слабкої змінюється на 1 (дивний кварк перетворюється на інші види кварків). Частинки, які мають відмінну від нуля дивність, називаються дивними. Приклади: K^0 , Λ^0 . Поняття «дивність» запровадили Мюррей Гел-Ман і Казухіко Нісідзіма. Дивність є одним з ароматів.

Дивні частинки — численні адрони, до складу яких входять s -кварки чи \bar{s} -антикварки. Д. ч. названо так через невідповідність між малою імовірністю їхнього розпаду й великою імовірністю

народження за достатньої енергії. Народжуються Д. ч. парами за сильної взаємодії, а розпадаються поодиночі за слабкої. Опис таких процесів вимагав введення нового квантового числа, яке отримало назву «дивність». До Д. ч. належать каони, гіперони, дивні резонанси. Приклади їхнього кваркового складу: $K^+ = u\bar{s}$; $\Sigma^+ = u\bar{s}s$; $\Omega^- = sss$. За сильних та електромагнітних взаємодій має місце закон збереження дивності. За слабких взаємодій цей закон порушається (s -кварк перетворюється на інший кварк). Усі Д. ч. нестабільні: розпадаються за час $10^{-8} \div 10^{-10}$ с. 1947 року в складі космічних променів вперше спостерігали дивні частинки, але тільки 1954 року в експериментах на прискорювачах зафіксували дивні частинки.

Дискретний спектр альфа-випромінювання — спектр, який показує, що ядра випромінюють не одну, а кілька груп α -частинок, енергії яких утворюють дискретний спектр. Його називають тонкою структурою α -спектра. На рисунку показано схематичне пояснення виникнення різних груп α -частинок, що випромінюються за розпаду ядра $^{212}_{83}\text{Bi}$. Зліва на рисунку наведено енергетичні рівні дочірнього ядра $^{208}_{81}\text{Tl}$. У збуджених станах дочірнє ядро перебуває доволі малий проміжок часу $10^{-8} \div 10^{-18}$ с і переходить у стани з меншою енергією або в основний стан. При цьому відбувається випромінювання фотонів. На рисунку показано виникнення γ -фотонів шести різних енергій.

Продовження. Початок див. у № 3–4 (343–344), 5–6 (345–346), 7–8 (347–348) та 9–10 (349–350).



Дифракція рентгенівських променів — результат інтерференції відбитих від речовини (розсіяних) рентгенівських променів, використовують для знаходження сталих ґраток за допомогою формули Бреґа — Вульфа.

Дифракція частинок — наявність максимумів на картинці розсіювання частинок кристалами, рідинами та газами.

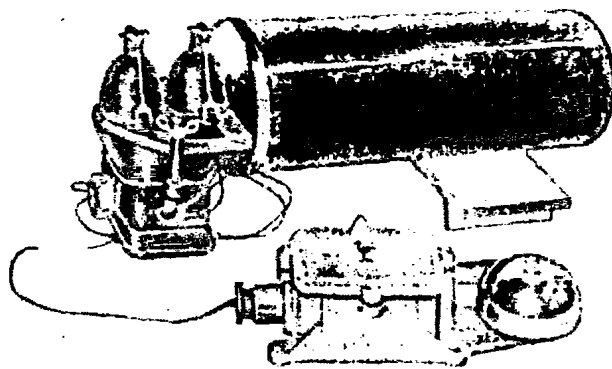
Дифузійна камера — прилад для спостереження слідів йонізаційних частинок. Ці сліди частинок стають видимими завдяки конденсації на йонах пари рідини, що перебуває в перенасиченому стані. Уздовж шляху частинки на йонах утворюються краплі, і за досить сильного освітлення слід частинки можна сфотографувати. На відміну від камери Вільсона, у якій необхідне для її роботи перенасичення створюється на порівняно короткий час (0,1–1 с) у результаті адіабатного розширення газу, у Д. к. ці умови існують стаціонарно. Винайшов Д. к. американський фізик А. Лансдорф у 1936 р.

Доза опромінення — міра дії рентгенівського та радіоактивного випромінювання на речовину. Розрізняють поглинуту та експозиційну дозу.

Дозиметричні прилади (дозиметри) — пристрої, призначені для виміру доз йонізаційних випромінювань або величин, пов'язаних із дозами. Д. п. можуть служити для виміру доз одного вигляду випромінювання (γ -дозиметри, нейтронні дозиметри і т. д.) або змішаного випромінювання. Д. п. для виміру експозиційних доз рентгенівського і γ -випромінювань зазвичай ґрадуують у рентгенах і називаються рентгенметрами. Рентгенметри вимірюють активності або концентрацію радіоактивних речовин.

У детекторі Д. п. відбувається поглинання енергії випромінювання, що приводить до виникнення радіаційних ефектів, величина яких вимірюється за допомогою вимірювальних пристроїв. По відношенню до вимірювальної апаратури Д. п. детектор є датчиком сигналів. Сигнали детектора реєструються вихідним пристроєм (стрілочні прилади, самописці, електромеханічні лічильники, звукові або світлові сигналізатори тощо).

За способом експлуатації розрізняють Д. п. стаціонарні, переносні (можна переносити лише у вимкненому стані) і портативні (або ношені, або індивідуальні). Д. п. для вимірювання дози випромінювання, отриманого кожною людиною, що перебуває в зоні опромінення, називаються індивідуальним дозиметром. Залежно від типу детектора розрізняють йонізаційні дозиметри, сцинтиляційні, люмінесцентні, напівпровідникові, фотодозиметри тощо. У разі йонізаційних камер склад газу й речовини стінок вибирають таким, щоб за тотожних умов опромінення забезпечувало однакове поглинання енергії (з розрахунку на одиницю маси) у камері й біологічній тканині. У Д. п. для вимірювання експозиційних доз камери наповнюють повітрям. Приклад йонізаційного дозиметра — мікрорентгенметри МРМ-2. Прилад забезпечений сферичною йонізаційною камерою й забезпечує діапазон виміру від 0,01 до $30 \frac{\text{мкР}}{\text{с}}$ для випромінювань з енергіями фотонів від 25 кеВ до 3 МеВ. Відлік свідчень виробляється за стрілочним приладом.



■ Рис. 1. Дозиметр СД-1-М

Прилад СД-1-М (рис. 1) служить для запобігання про перевищення заданої величини потужності дози γ -випромінювання. Детектором служить Гейгера — Мюллера лічильник, поміщений у циліндровий чохол. Прилад забезпечений звуковою й світловою сигналізацією, яка спрацьовує за перевищення заданої величини потужності дози.

Поріг спрацьовування регулюється в межах від 2 до $10 \frac{\text{мР}}{\text{с}}$. Зовнішня сигналізація може бути видалена на відстань до 250 м від датчика; вона автоматично відмикається за зменшення рівня випромінювання нижче від порогу спрацьовування.

Прилад СП-1 (сигнальний прилад, або автоматичний сигнальний прилад типу СП-1) призначений для автоматичного контролю забрудненості радіоактивними речовинами поверхонь тіла й одягу людини. Він має декілька газорозрядних лічильників, розташованих так, що лічильники реєструють випромінювання зі всієї поверхні тіла людини. На спеціальному світловому табло, що змальовує силует людини, спалахують світлові сигнали, що показують місця перевищення допустимих норм забруднення.

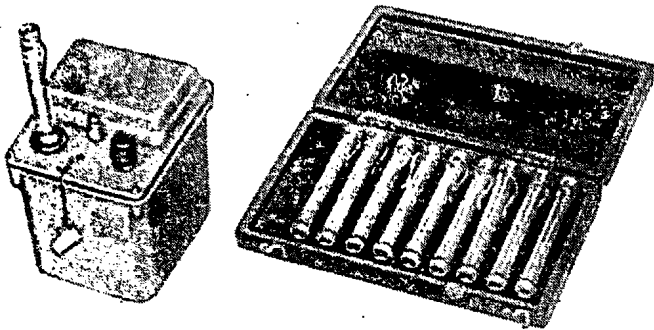


Рис. 2. Комплект індивідуальних дозиметрів ДК-0,2 із загальним вимірювальним пристроєм (зліва)

Індивідуальні дозиметри ДК-0.2 у вигляді циліндрів розміром зі звичайний олівець пристосовані для носіння в кишені (рис. 2). У циліндрі розташовані мініатюрна іонізаційна камера й одонитний електрометр. Відхилення нитки електрометрії й відлік дози відображаються візуально за допомогою оптичного пристрою з шкалою проградуєваною в мР. Йонізаційна камера грає роль конденсатора, який розряджається в результаті йонізації повітря (між електродами) під дією йонізаційного випромінювання. Міра розрядки конденсатора фіксують за відхиленням нитки електрометрії й однозначно визначає дозу випромінювання (дозиметр заздалегідь заряджає за допомогою спеціального зарядного пристрою). У сцинтиляційних Д. п. світлові спалахи, що виникають у сцинтиляторі під дією випромінювання, перетворюються за допомогою фотоелектронного помножувача в електричні сигнали, які потім реєструються вимірювальним пристроєм (див. Сцинтиляційний спектрометр). У люмінесцентних Д. п. використано той факт, що люмінофори здат-

ні акумулювати поглинену енергію випромінювання, а потім звільняти її дорогою люмінесценції під дією додаткового збудження, яке здійснюється або нагріванням люмінофора, або його опроміненням. Інтенсивність світлового спалаху люмінесценції, вимірювана за допомогою спеціальних пристроїв, пропорційна дозі випромінювання. Залежно від механізму люмінесценції й способу додаткового збудження розрізняють термолюмінесцентні (рис. 3.) і радіофотолюмінесцентні дозиметри. Особливістю люмінесцентних дозиметрів є здатність зберігати інформацію про дозу; у потрібний момент інформація може бути отримана шляхом додаткового збудження. Люмінофор запаений у скляний балон разом із нагрівальною спіраллю, електроди якої виведені назовні. Балон поміщається в металевий або пластмасовий футляр, що має пристосування для кишенькового носіння. Для вимірювання дози скляний балон своїми електродами вставляють у вимірювальний пристрій, у якому відбуваються нагрівання люмінофора шляхом пропускання електричного струму через нагрівальну спіраль і вимір інтенсивності світла термолюмінесценції. Уся процедура вимірювання триває кілька хвилин. Після достатнього прогрівання дозиметр знову готовий до роботи. Подальшим розвитком люмінесцентних дозиметрів стали Д. п., засновані на термоекзоелектронній емісії. За нагрівання деяких люмінофорів, заздалегідь опромінених йонізаційним випромінюванням, з їхньої поверхні вилітають електрони (екзоелектрони). Їхнє число пропорційне дозі випромінювання в речовині люмінофора. Екзоелектрони мають дуже малі енергії (до 10 еВ) і їх реєстрація складна. В одному з експериментальних варіантів такого дозиметра люмінофор поміщають усередину газорозрядного лічильника, що дозволяє зареєструвати екзоелектрони.

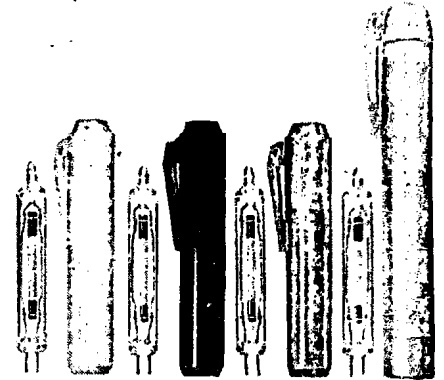


Рис. 3. Індивідуальні термолюмінесцентні дозиметри виробництва бельгійської фірми

До пристроїв, що накопичують інформацію про дозу випромінювання, належать Д. п., у яких детектором служать спеціальні сорти фоточутливих

До пристроїв, що накопичують інформацію про дозу випромінювання, належать Д. п., у яких детектором служать спеціальні сорти фоточутливих

плівки. Оптична густина почорніння (після хімічної обробки) є мірою дози випромінювання.

Сучасні дозиметри:

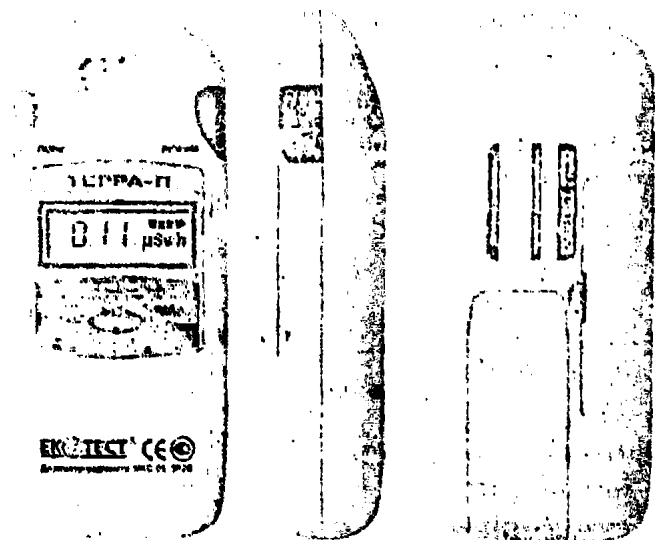


Рис. 4. Дозиметр-радіометр побутовий МКС-05 «Терра-П». Потужність еквівалента дози гамма- і рентгенівського випромінювання (^{137}Cs) $\left(\frac{\text{мкЗв}}{\text{год}}\right)$: 0,1...999,9; $\pm 25\%$. Густина потоку бета-частинок $\left(\frac{1}{\text{см}^2 \cdot \text{хв}}\right)$: 10...100 000; Часові інтервали вимірювання (с): 5...70

1. Дозиметр-радіометр МКС-05 «Терра-П» (Львів). Вимірює потужність дози гамма-випромінювання та її дозу. Дозиметр-радіометр дозволяє задавати пороговий рівень потужності дози (базово встановлено $30 \frac{\text{мкР}}{\text{год}}$). За перевищення порогового значення потужності дози дозиметр сигналізує за допомогою світлової індикації. У дозиметрі є будильник, а також є годинник. Також за розрядки джерел живлення дозиметр подає звукові сигнали. МКС-05 «ТЕРРА-П» є найбільш дешевим дозиметром у класі побутових дозиметрів. Варто звернути увагу, що МКС-05 «ТЕРРА-П» не можна використовувати для офіційних оцінок радіаційного стану навколишнього середовища (рис. 4).

Основними цілями застосування поданого дозиметра-радіометра є контроль радіаційних параметрів житлових будинків, приміщень, транспортних засобів, будматеріалів, проведення оцінок у підсобному господарстві, а також оцінки радіаційного забруднення ягід і грибів.

2. Радіометр РКС-01 «СТОРА». Вимірює потужність дози гамма-випромінювання та поверхневу густину потоку бета-частинок. Радіометр РКС-01 «СТОРА» використовують для екологічних досліджень навколишнього середовища,

для здійснення радіометричного контролю на підприємствах, для контролю радіаційного стану житлових приміщень, будівель і споруд, прилеглих до них територій, предметів побуту, одягу, транспорту, поверхні ґрунту на приватних подвір'ях (рис. 5).

Дозиметрія — розділ технічної фізики, завданням якої є вимірювання й розрахунок дози в полях джерел випромінювання; вимірювання активності радіоактивних препаратів. Фізичною основою Д. є закони взаємодії заряджених частинок, короткохвильового електромагнітного випромінювання й нейтронів із речовиною.

Методи вимірювання дози ґрунтуються на застосуванні йонізаційних камер, лічильних трубок, фотоплівки, сцинтиляційних або хімічних дозиметрів, калориметрів.

Доповнюваності принцип — один із принципів квантової механіки, запропонований Нільсом Бором у рамках копенгагенської інтерпретації. Цей принцип тісно пов'язаний із принципом невизначеності Гейзенберга. За Нільсом Бором, кожна фізична величина разом зі своєю канонічно спряженою утворює пару комплементарних величин, при цьому в будь-якому стані квантової системи певне значення може мати лише одна з них або ж вони обидві не мають певного значення. У зв'язку з цим за Бором опис квантового стану розпадається на два взаємно виключні класи, які доповнюють один одного в тому сенсі, що їхня сукупність могла б дати повний класичний опис фізичної системи. Копенгагенська інтерпретація була спробою сформулювати фізико-філософські принципи квантової механіки, математичний апарат якої на ту пору вже в основному склався й чудово описував експериментальні результати, однак якісне розуміння того, що стоїть за математичними формулами, ще не склалося. Принцип доповнюваності намагається пояснити, яким чином одна й та ж частинка може мати хвильові та корпускулярні властивості, як це впливає з корпускулярно-хвильового дуалізму Луї де Бройля.

Досліди Резерфорда — досліди з розсіювання альфа-частинок за проходження скрізь тонку металеву фольгу. Ці досліди мали метою підтвердження моделі атома за Томсоном, у якій атом по-

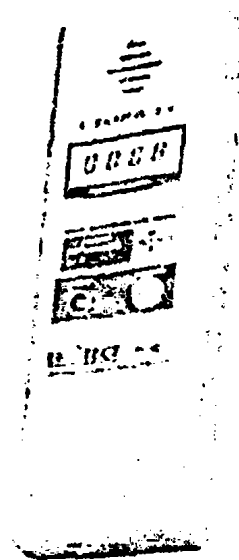


Рис. 5. Радіометр РКС-01 «СТОРА»

стає як заряджена по об'єму куля, у ній містяться електрони. (Див. Резерфорда досліди з розсіювання α -частинок.)

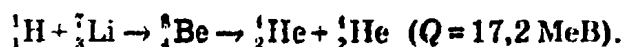
Дублети спектральні — подвійні лінії в спектрах атомів (або йонів) з одним зовнішнім електроном (наприклад, у спектрах лужних металів). Поява Д. с. пояснюється розщеплюванням енергетичних рівнів атомів на 2 підрівні в результаті взаємодії орбітального моменту зі спіном електрона (див. Спін-орбітальна взаємодія).

Е

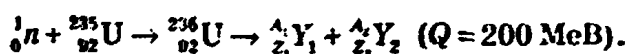
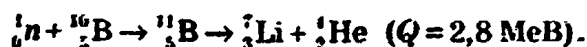
Ейнштейній (Es) — штучно видобутий радіоактивний хімічний елемент із порядковим номером 99. Відомі ізотопи Es із масовими числами від 246 до 255; масове число найбільш стійкого ізоотопу 254. Його назвали на честь А. Ейнштейна.

Еквівалентна доза опромінення — міра біологічної дії опромінення, що залежить від виду випромінювання та його енергії. Визначається як добуток поглинутої дози на коефіцієнт якості променя (порівняльний коефіцієнт якості) $H = DK$. Для рентгенівського й гамма-проміння $K = 1$, для теплових нейтронів $K = 3$, для нейтронів з енергіями 5 MeV цей коефіцієнт $K = 7$. Е. д. о. вимірюють в одиницях поглинутої дози — греях; позасистемною одиницею еквівалентної дози є бер, що відповідає поглинутій дозі в 0,01 Гр за $K = 1$; у СІ за одиницю еквівалентної дози взято зіверт: $1 \text{ Зв} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} = 10^2 \text{ бер}$.

Екзоенергетичні реакції — екзотермічні реакції з $Q > 0$. У цьому випадку частина енергії спокую вихідного ядра X і взаємодійної частинки a перетворюються на кінетичну енергію продуктів реакції, при цьому маса останніх зменшується. Прикладом такої реакції є



Екзоенергетичні реакції можуть відбуватися і за нульової кінетичної енергії взаємодійних частинок, якщо їх наближенню не заважають кулонівські сили відштовхування:



Екранування заряду ядра — ефект послаблення електричного поля, створюваного в поданій точці ядром атома, через наявність в атомі електронів.

Експозиційна доза — це міра йонізаційної дії рентгенівського й гамма-випромінювань на пові-

тря за нормальних умов. Позначається $D_{\text{екп}}$. Різним тілам властива різна робота йонізації складових частинок, тому для визначення дії проміння за еталон узято повітря за нормальних умов; чисельно ця доза визначається відношенням сумарного заряду всіх йонів одного знака, які утворилися в певному об'ємі повітря, до його маси в цьому об'ємі. Експозиційну дозу вимірюють у кулонах на кілограм. На практиці користуються також позасистемною одиницею експозиційної дози — рентгеном, $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$; відповідно до неї

в 1 м^3 повітря за нормальних умов утворюється $2,08 \cdot 10^{15}$ пар йонів. На їх утворення витрачається енергія, яка дорівнює $88 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$. Енергетичний еквівалент рентгена — $88 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Дж}}{\text{г}}$.

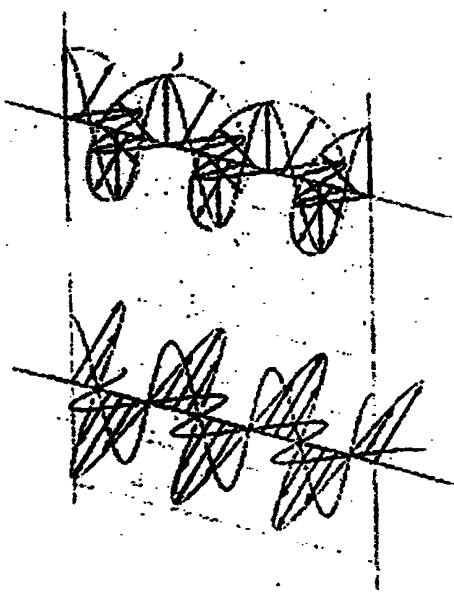
Електричний заряд — основна характеристика частинок, що визначає їхню здатність взаємодіяти між собою через електромагнітну взаємодію. Заряджені частинки й тіла, що складаються з них, можуть як притягатися, так і відштовхуватися, і для опису такої відмінності частинки поділяють на від'ємно (негативно) і додатно (позитивно) заряджені. Частинки з різнойменними зарядами притягаються, а частинки з однойменними — відштовхуються. Відповідно в атомній системі одиниць частинки можуть мати заряд -1 або 1 . У популярних системах одиниць, таких як СІ, заряд частинок за абсолютною величиною дорівнює елементарному електричному заряду e .

Інтенсивність взаємодії між зарядженими частинками визнається сталою тонкої структури α . Вона на два порядки величини менша від інтенсивності сильної взаємодії й набагато більша від інтенсивності як слабкої, так і гравітаційної взаємодії. Зважаючи на те, що сильна взаємодія проявляється тільки на віддальх порядку розмірів атомного ядра, більшість сил у макроскопічному світі має електромагнітний характер. Винятком є тільки сили тяжіння, які, хоча й є дуже слабкими, завжди мають характер притягання, і, сумуючись від великої кількості частинок, дають у сумі значний ефект.

Електромагнітна взаємодія — взаємодія, якою зумовлена більшість явищ у світі, який оточує людину. Електромагнітна взаємодія відповідає за притягання електронів до ядер атомів, а тому відповідає за формування атомів та молекул і за їхні властивості. Проявом електромагнітної взаємодії є також світло — потік фотонів.

Е. в. — найбільш досліджена з чотирьох фундаментальних фізичних взаємодій. Основними рівняннями електромагнетизму є рівняння Максвелла. Поширюється у формі електромагнітного поля, що складається з векторних безмасових квантів — фотонів. Завдяки нульовій масі фотонів взаємодія є далекодією; прикладом електромагнітної взаємодії на великій відстані є прийом випромінювання галактик і квазарів на відстанях у мільярди світлових років. В електромагнітній взаємодії беруть участь кварки й лептони, що мають електричний заряд.

Електромагнітна взаємодія друга за інтенсивністю з фундаментальних взаємодій і слабша лише від сильної взаємодії, яка, однак, має короткий радіус дії. Вона набагато сильніша за слабку взаємодію та гравітацію. Особливістю електромагнітної взаємодії проте є те, що електричні заряди бувають двох знаків, а тому можуть як притягатися в разі різноименних зарядів, так і відштовхуватися в разі однойменних зарядів. Цим електромагнітна взаємодія суттєво відрізняється від гравітаційної, яка завжди має характер притягання. Завдяки існуванню двох типів зарядів більшість тіл у навколишньому світі електрично нейтральні, тоді як великі маси створюють великі сили тяжіння, незважаючи на слабкість гравітаційної взаємодії. На сучасному етапі розвитку фізики існує теорія електрослабкої взаємодії, яка об'єднує ці два типи взаємодії в єдине поле. У класичних (неквантових) рамках електромагнітна взаємодія описується законами класичної електродинаміки. Крім електростатичного притягання (або відштовхування) електричних зарядів за законом Кулона, існує ще багато видів електромагнітної взаємодії. Електромагнітна взаємодія, наприклад, визначає хімічні, пружні сили



й сили тертя, випромінювання електромагнітних хвиль і багатьох інших. Квантовий опис електромагнітної взаємодії дає квантова електродинаміка.

Відповідно до квантової електродинаміки, будь-який електричний заряд оточений електромагнітним полем, із яким він взаємодіє. У результаті цієї взаємодії випускаються або поглинаються фотони — елементарні частинки, які безпосередньо здійснюють електромагнітну взаємодію. В атомі немає фотонів у готовому вигляді, вони виникають безпосередньо в момент їх випускання, а виникнувши, завжди рухаються зі швидкістю світла. В електромагнітній взаємодії беруть участь усі елементарні частинки, крім нейтральної антинейтрино. Навіть якщо частинка не має електричного заряду, вона все одно бере участь в електромагнітній взаємодії, тому що взаємодія електричних зарядів — це лише один із численних електромагнітних ефектів, які спостерігають у природі. Найменший час, за який мікрочастинки встигають почати взаємодіяти електромагнітним способом, $t_{\text{ел.маг.}} \approx 10^{-20}$ с.

Електромагнітне поле — поле, описуване двома векторами: напруженістю електричного поля E та магнітною індукцією B . Ці дві складові електромагнітного поля не є незалежними одна від одної. За зміни системи відліку, переходу від однієї інерціальної системи відліку до одної, вони переходять одна в одну за законом, заданим перетвореннями Лоренца. У теорії відносності їх об'єднують у тензор електромагнітного поля $F_{\mu\nu}$.

Завдяки існуванню електричних зарядів електрична складова поля може бути як потенціальною, так і вихровою, тоді як магнітна складова поля може бути тільки вихровою. Разом потенціальну та вихрову складові поля можна описати електричним потенціалом ϕ та векторним потенціалом A , визначеними з точністю до певного калібрування.

Змінне в часі магнітне поле породжує вихрове електричне поле, змінне електричне поле породжує вихрове магнітне поле. Перше з цих явищ називається електромагнітною індукцією, друге — робить змінне електричне поле аналогічним електричному струму. Разом ці два явища створюють можливість для існування в просторі електромагнітних хвиль. Саме у вигляді електромагнітних хвиль поширюється збурення електричного поля, викликане рухом його джерел — частинок з електричними зарядами та магнітними моментами. Електромагнітні хвилі поширюються в просторі зі

скінченною швидкістю, яка задається фундаментальною фізичною константою швидкістю світла. Скінчення швидкість поширення збурення електромагнітного поля забезпечує виконання принципу близькодії.

Електромагнітний імпульс — сильне змінне електромагнітне поле, так званий електромагнітний імпульс (ЕМІ), яке виникає за ядерного вибуху в результаті сильних струмів в йонізованому радіацією й світлового випромінювання в повітрі. Хоча воно й не робить ніякого впливу на людину, вплив ЕМІ пошкоджує електронну апаратуру, електроприлади й лінії електропередач. Окрім цього, велика кількість йонів, яка виникла після вибуху, перешкоджає поширенню радіохвиль і роботі радіолокаційних станцій. Цей ефект може бути використаний для засліплення системи попередження про ракетний напад.

Електрон — стабільна частинка з від'ємним електричним зарядом, з яких складається оболонка атома. Відкритий Д. Томсоном у 1897 р. Утворюючи електронні оболонки атомів, електрони є основними структурними одиницями матерії. Значення фізичних величин електрона є основою для більшості одиниць, які використовують в атомній фізиці: елементарний електричний заряд, маса частинок, магнетон Бора та інших. Ферміон зі спіном $\frac{1}{2}$ підпорядковується статистиці Ферма — Дірака. Його магнітний момент дорівнює $1,0011\mu_B$, де μ_B — магнетон Бора. $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$ кг $= 5,45 \cdot 10^{-4}$ а.о.м. Відривається від атома за йонізації, є носієм струму в металах, напівпровідниках та газах. Бере участь в електромагнітних та слабких взаємодіях. Відіграє велике значення у фізиці твердого тіла, у великій кількості фізичних явищ. Класичний радіус e : $r_e = 2,82 \cdot 10^{-15}$ м. Античастинкою E . є позитрон.

Електрон-вольт — несистемна одиниця енергії, що дорівнює енергії, яку набуває електрон після проходження різниці потенціалів в 1 В; $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж. Широко використовується в атомній та ядерній фізиці.

Електронна конфігурація атома — символічний запис розподілу електронів в атомі за енергетичними рівнями, наприклад запис електронної конфігурації гелію $1s^2 2s^2 2p^6$ означає: 2 електрони на K -оболонці (шарі) із $n=1$, $l=0$; 2 + 6 електронів на L -оболонці (шарі) з $n=2$, причому 2 електрони перебувають на підоболонці (підгрупі) з $l=0$, а 6 електронів перебувають на підоболонці (підгрупі) з $l=1$.

Електронна оболонка атома — група вироджених або близьких за енергією електронних орбіталей атома. На кожній з оболонок може розташовуватися лише певне число електронів (див. *Принцип Паулі*). Розрізняють внутрішні й зовнішні (валентні) електронні оболонки. Внутрішні оболонки відповідають за спектри рентгенівського випромінювання та спектри рентгенівського поглинання атомів. Зовнішні оболонки відповідають за хімічні властивості атома. Оболонки бувають заповненими, незаповненими та частково заповненими. Основою класифікації електронних оболонок є енергетичний спектр атома водню. В атомі водню, якщо його розглядати, використовуючи нерелятивістську квантову механіку, енергія електронної орбіталі залежить тільки від головного квантового числа. s -, p -, d -орбіталі, що відповідають одному головному квантовому числу, мають однакову енергію. При врахуванні релятивістських ефектів, однак, виродження частково знімається, тобто в спектрі з'являється тонка структура.

Електронні оболонки складніших атомів із більшим числом електронів будуються на основі класифікації атомних орбіталей. Проте, на відміну від атома водню, енергії s -, p -, d - та f -орбіталей мають різне значення. Це розщеплення зумовлене різними причинами: урахуванням релятивістських ефектів, зокрема спін-орбітальною взаємодією, екрануванням ядра внутрішніми оболонками, надтонкою структурою. Тому кожна з електронних оболонок розпадається на підоболонки. Традиційно для важких елементів оболонку з найменшою енергією називають K -оболонкою, наступну за енергією оболонку — L -оболонкою тощо.

Електронне захоплення — ядерне перетворення, пов'язане з поглинанням ядром електрона електронної оболонки та перетворенням протона ядра на нейтрон та випусканням нейтрино. При цьому заряд ядра (атомний номер) зменшується на одиницю, а масове число не змінюється. Найчастіше захоплюється електрон із внутрішніх оболонок, тому електронне захоплення називають електронним захопленням. Наприклад, K -захоплення, L -захоплення, M -захоплення (захоплюється електрон із внутрішніх K -, L -, M -оболонок). Вільне місце заповнює зовнішній електрон, тому електронне захоплення супроводжується випусканням квантів характеристичного рентгенівського спектра.

Електронний мікроскоп — прилад, що дозволяє отримувати зображення об'єктів із максимальним

збільшенням до 10^6 разів завдяки використанню, на відміну від оптичного мікроскопа, замість світлового потоку пучка електронів з енергіями 200 еВ — 400 кеВ і більше (наприклад, прозорі електронні мікроскопи високого розширення з прискорювальною напругою 1 МВ).

Роздільна здатність електронного мікроскопа в 1000–10000 разів перевершує дозвіл традиційного світлового мікроскопа й для кращих сучасних приладів може бути менше одного ангстрема. Для отримання зображення в електронному мікроскопі використовують спеціальні магнітні лінзи, що керують рухом електронів у колоні приладу за допомогою магнітного поля.

Перший електронний мікроскоп створили в 1931 р. німецькі інженери Ернст Руска й Макс Кноль. Ернст Руска отримав за це відкриття Нобелівську премію з фізики в 1986 р. Він розділив її з винахідниками тунельного мікроскопу, оскільки Нобелівський комітет відчував, що винахідників електронного мікроскопу несправедливо забули. Типи електронних мікроскопів:

1. Просвічувальний електронний мікроскоп — прилад, у якому електронний пучок просвічує предмет наскрізь.
2. Сканувальний електронний мікроскоп використовує для дослідження поверхні об'єкта вибиті електронним пучком вторинні електрони.
3. Сканувальний просвічувальний електронний мікроскоп дозволяє вивчати окремі ділянки об'єкта.
4. Рефлекторний електронний мікроскоп використовує пружно-розсіяні електрони.

Електронний мікроскоп можна також спорядити системою детектування рентгенівських променів, які за зіткнення з високоенергетичними електронами випромінюють сильно збуджені атоми речовини. За вибивання електрона з внутрішніх електронних оболонок утворюється характеристичне рентгенівське випромінювання, досліджуючи яке, можуть встановити хімічний склад матеріалу. Вивчення спектру непружно-розсіяних електронів дозволяє отримувати інформацію про характерні електронні збудження в матеріалі досліджуваного предмета. Електронні мікроскопи широко використовують у фізиці, матеріалознавстві, біології.

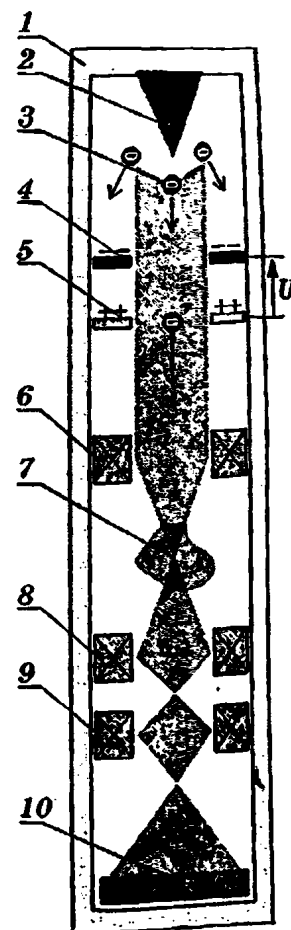
Електронний шар (оболонка) — сукупність електронів в атомі з однаковим головним квантовим числом n . Її позначаються великою латинською буквою, починаючи з K і далі за алфа-

вітом. Число станів у шарі дорівнює $2n^2$. K -шар містить у собі всі стани, починаючи з $n = 1$, тобто оболонку $1s$ і два стани; шар L містить у собі стани починаючи з $n = 2$, тобто дві оболонки $2s$ і $2p$ і 8 станів; M — з $n = 3$, має три оболонки $3s$, $3p$, $3d$ і 18 станів тощо.

Електронного мікроскопа будова — будова, яку можна розглянути на прикладі приладу, який працює на пропусканні монохроматичного пучка електронів, який формується в електронній гарматі. Його характеристики покращуються конденсорною системою, яка складається з конденсорної діафрагми й електронних лінз. Залежно від типу лінз, магнітних чи електростатичних, розрізняють магнітні й електростатичні мікроскопи. Надалі пучок потрапляє на предмет, розсіюючись на ньому. Розсіяний пучок проходить через апертуру й потрапляє в об'єктивну лінзу, яка призначена для розтягування зображення. Розтягнутий пучок електронів спричиняє світіння люмінофора на екрані. У сучасних мікроскопах використовують кілька ступенів збільшення. Апертурна діафрагма об'єктива електронного мікроскопа дуже мала, становить соті частки міліметра.

Якщо пучок електронів від об'єкта потрапляє безпосередньо на екран, то об'єкт виглядатиме на ньому темним, а навколо утворюватиметься світлий фон. Таке зображення називається *світлопольним*. Якщо ж в апертуру об'єктивної лінзи потрапляє не основний пучок, а розсіяний, то утворюється *темнопольне* зображення. Темнопольне зображення контрастніше, ніж світлопольне, але роздільна здатність у нього менша.

■ Схематична будова електронного мікроскопа: 1 — стійка; 2 — джерело електронів; 3 — електрони; 4 — катод; 5 — анод; 6 — оптична лінза; 7 — зразок; 8 — дифракційний об'єктив; 9 — проекційний об'єктив; 10 — детектор



Далі буде... ☞