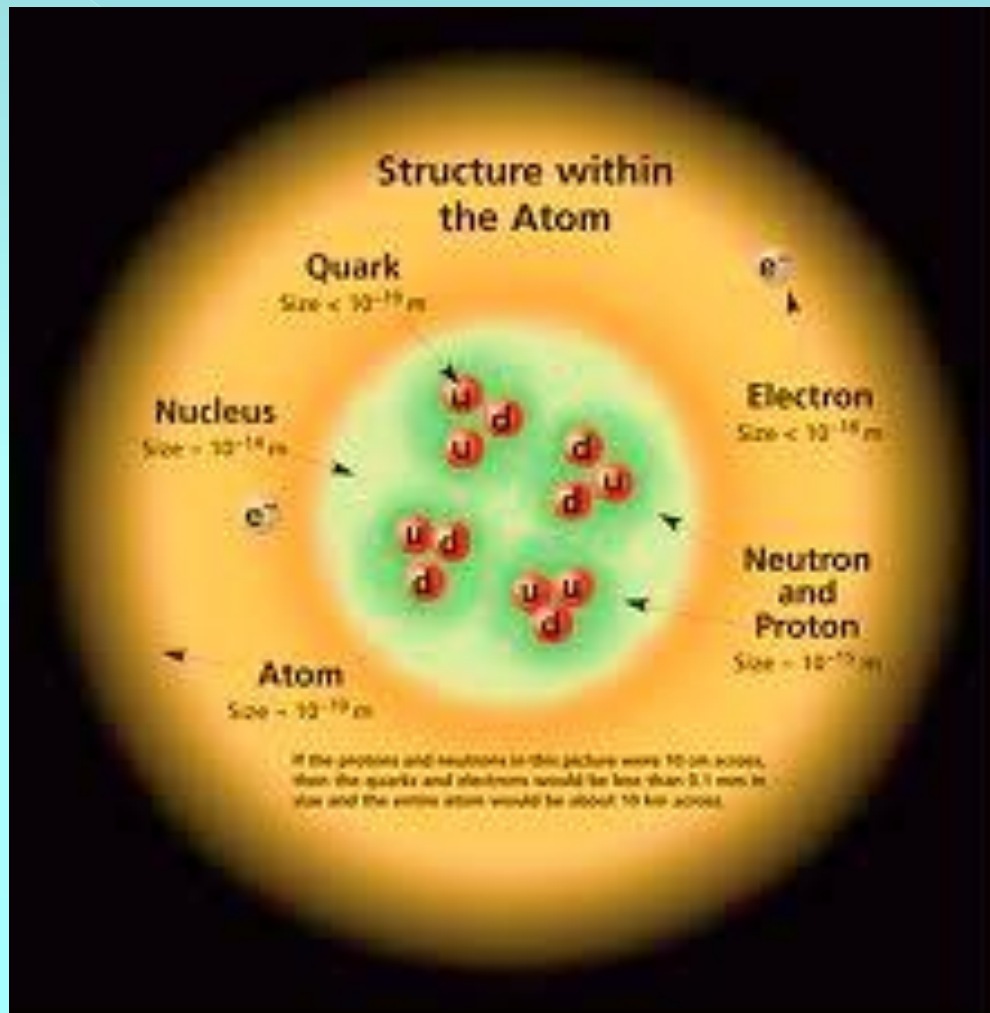


7. Фізика атомного ядра



7.1.1. Склад, будова та характеристики атомних ядер. Моделі ядер. Основні властивості ядерних сил.

7.1.2. Енергія зв'язку та питома енергія зв'язку атомних ядер. Дефект мас.

7.1.3. Радіоактивність. Закон радіоактивного розпаду. Активність нукліду.

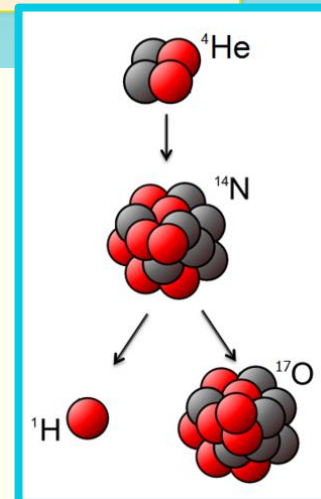
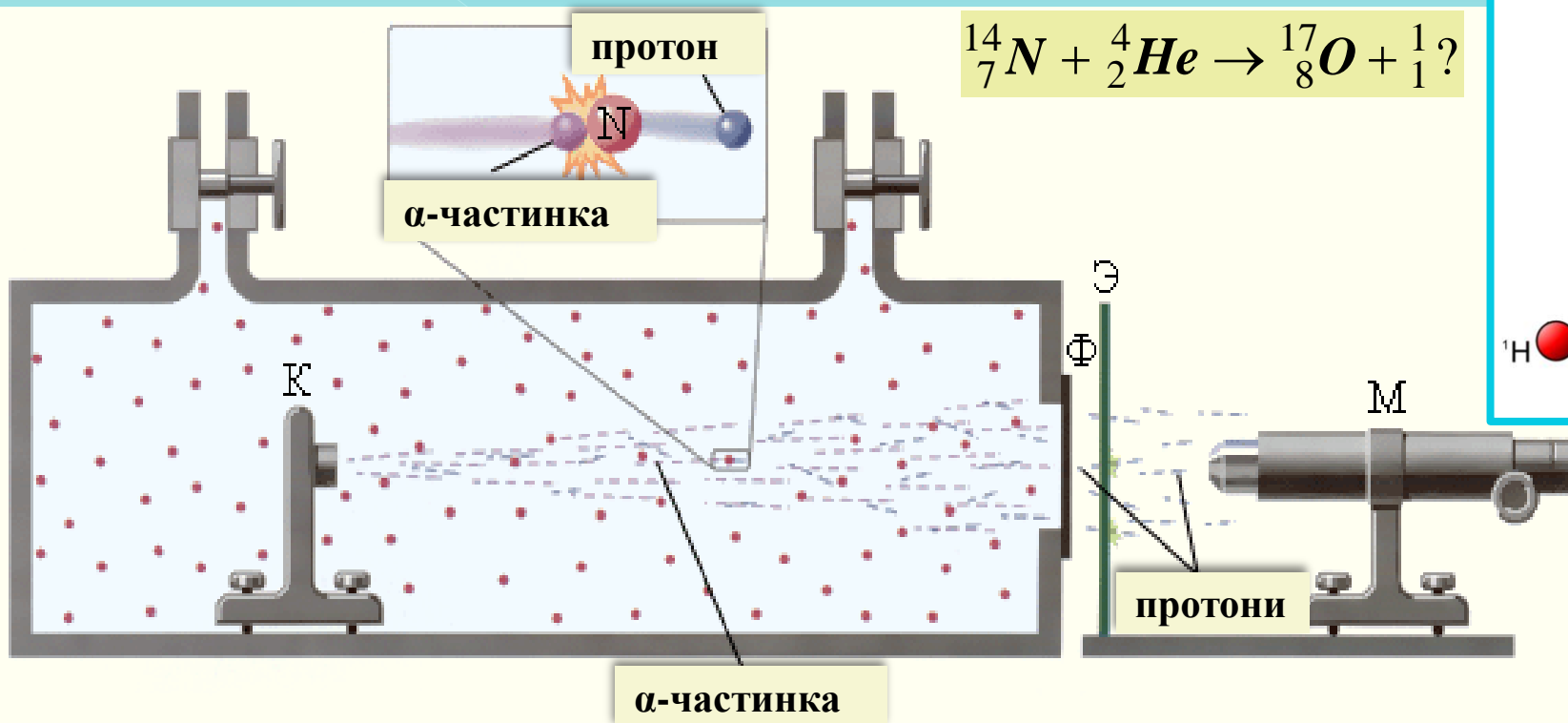
7.1.4. Основні види радіоактивного випромінювання та їхні властивості.

7.1.5. Взаємодія іонізуючих випромінювань з речовиною. Доза та потужність дози опромінення. Біологічна дія іонізуючих випромінювань.

7.1.6. Ядерні реакції. Основні види ядерних реакцій. Шляхи отримання внутрішньоядерної енергії.

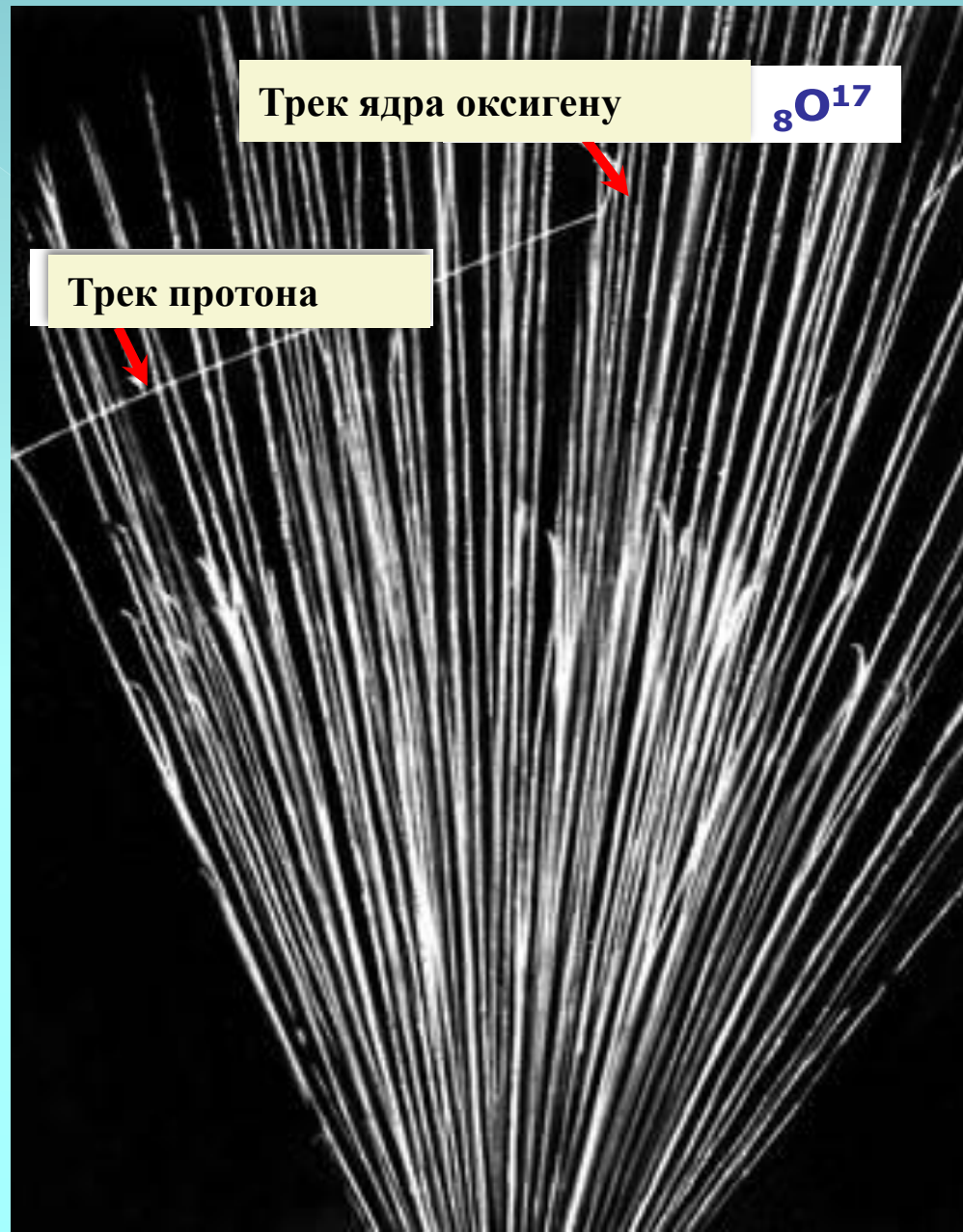
Схема досліду Резерфорда з виявлення протонів в продуктах розщеплення ядер (1919 р.)

Ядерна реакція - це перетворення атомних ядер під час їхньої взаємодії з елементарними частинками або іншими ядрами.



К - свинцевий контейнер з радіоактивним джерелом α-частинок,
Ф - металева фольга,
Е - екран, покритий сульфідом цинку,
М - мікроскоп

Відкриття протону (1919 р.)

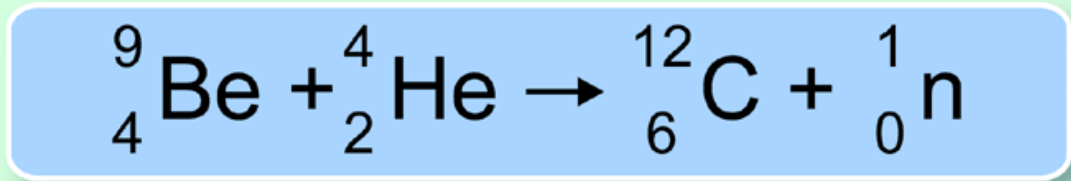
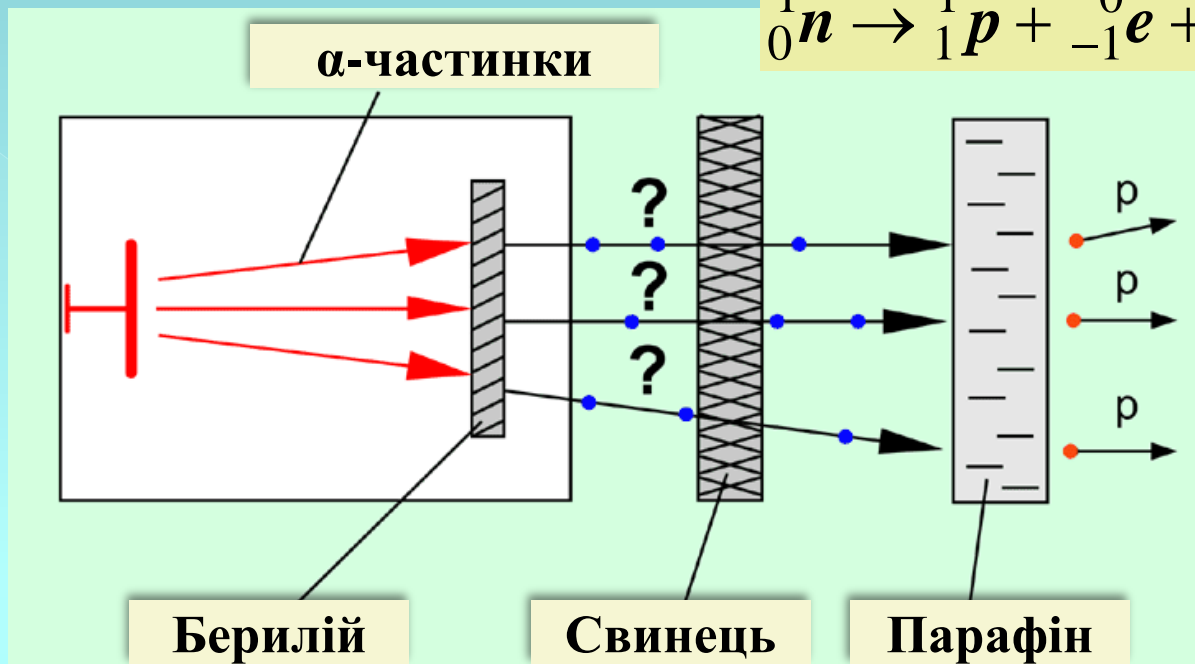


Відкриття нейтрону 1932

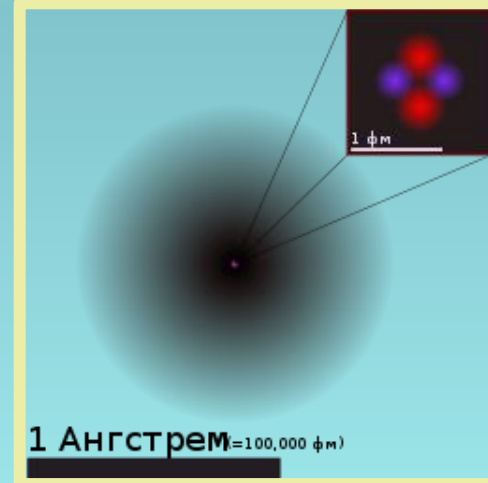


Д. Чедвік

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



Будова ядра атома



Заряд та розміри атомного ядра

Заряд ядра

$$q = Z \cdot e$$



p - протон

Радіус ядра

$$R = 1,3 \cdot 10^{-15} \cdot \sqrt[3]{A} \text{ м.}$$

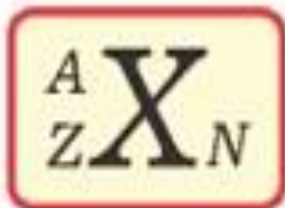


n - нейтрон



Склад ядра

Позначення ізотопу



Z – кількість протонів, зарядове число

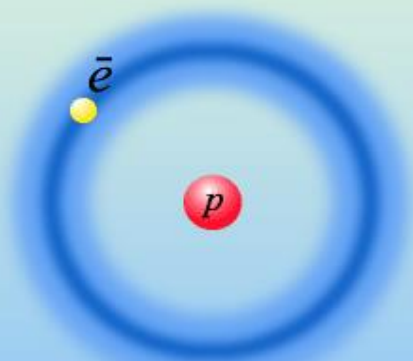
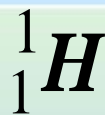
N – кількість нейтронів

$A = Z + N$ – кількість нуклонів, масове число

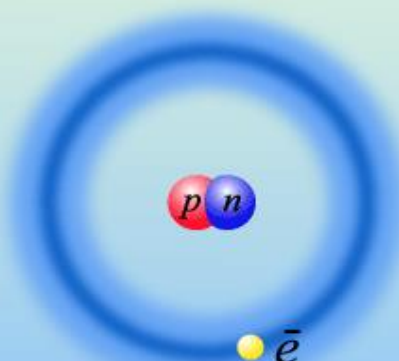
Ізотопи -

різновиди атомів того самого хімічного елемента, ядра яких містять ту саму кількість протонів, але різну кількість нейтронів.

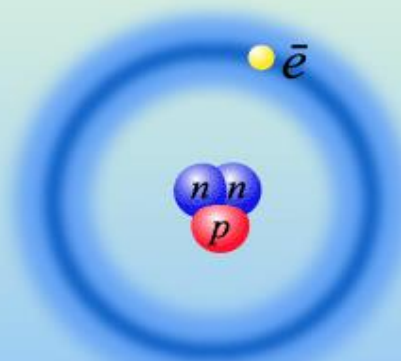
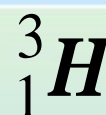
протій



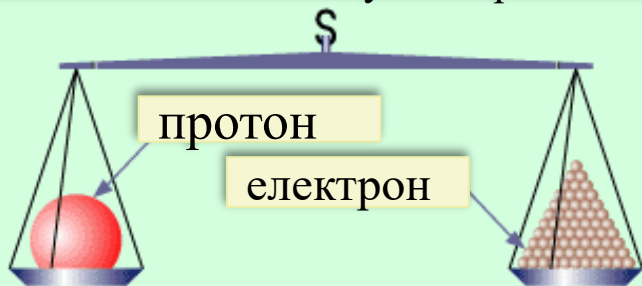
дейтерій



третій

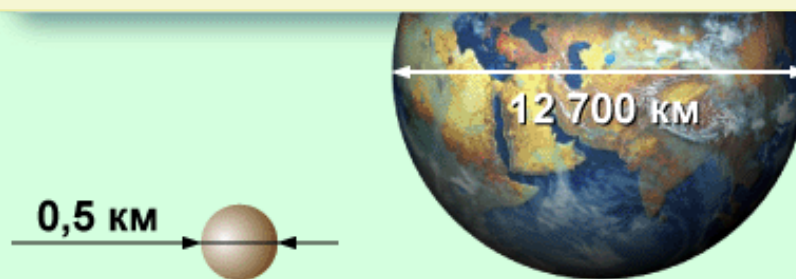


Маса протона або нейтрона у 1840
більша за масу електрона



тобто практично вся маса атома
зосереджена у його ядрі

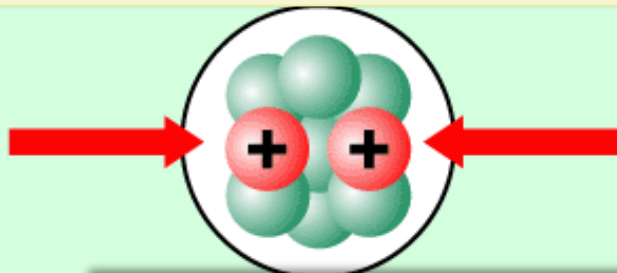
Густина ядерної речовини сягає 10^{14} кг/м³



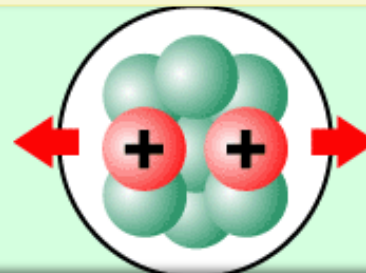
Куля, що складається з ядерної речовини
діаметром 0,5 км дорівнює вазі Земної кулі

Сили взаємодії у ядрі атома

Ядерні сили притягання



Електричні сили відштовхування



Ядерні сили притягання дуже значні та перевищують у багато разів
електростатичні сили відштовхування

Властивості ядерних сил

1

• Є СИЛАМИ **ПРИТЯГАННЯ**

2

• Є СИЛАМИ **КОРОТКОДІЮЧИМИ**

3

• Є **ЗАРЯДОНЕЗАЛЕЖНИМИ**

4

• МАЮТЬ ВЛАСТИВІСТЬ **НАСИЧЕННЯ**

5

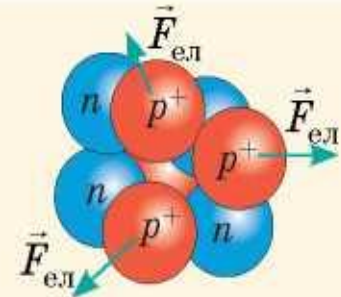
• **НЕ Є ЦЕНТРАЛЬНИМИ**

6

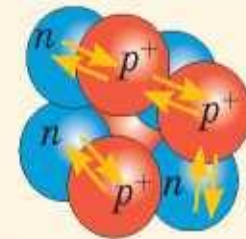
• МАЮТЬ ОБМІННУ ВЗАЄМОДІЮ (π -МЕЗОН)

7

• ЗАЛЕЖАТЬ ВІД **ОРІЄНТАЦІЇ СПІНІВ** НУКЛОНІВ



Кулонівські (електростатичні) сили відштовхування намагаються «зруйнувати» ядро



Ядерні сили утримують нуклони всередині ядра

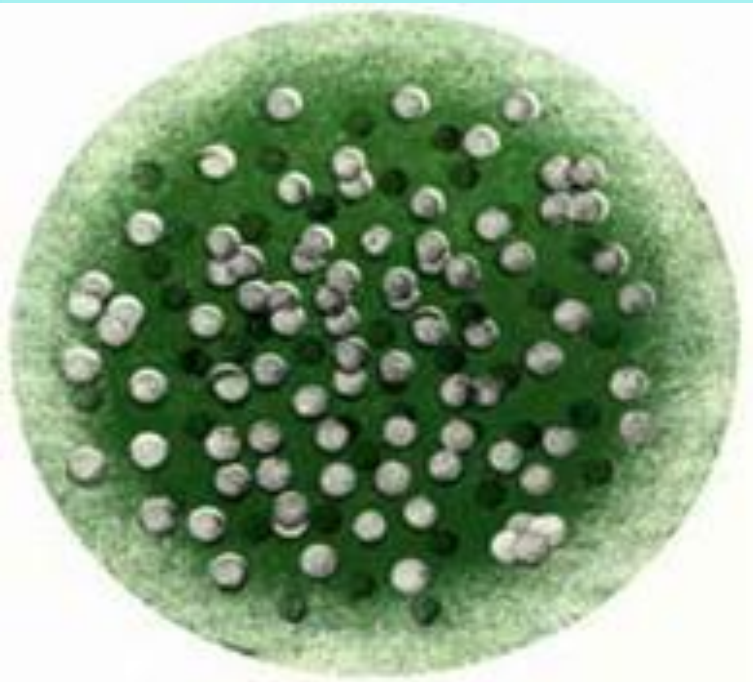
Моделі атомних ядер

КРАПЕЛЬНА
1936
М. БОРН

ПЕРША ОБОЛОНКОВА МОДЕЛЬ БУЛА ЗАПРОПОНОВАНА

ДМИТРОМ ІВАНЕНКОМ 1932

ГЕППЕРТ-МАЄР ТА ЄНССОН 1949



7.1.2. Енергія зв'язку та питома енергія зв'язку атомних ядер. Дефект мас.

Дефект мас -

різниця між масою спокою атомного ядра даного ізотопу, вираженої в атомних одиницях маси, і сумою мас спокою складових його нуклонів

$$\Delta M = Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}}$$

ΔM - дефект мас

Zm_p - маса всіх протонів у ядрі

Nm_n - маса всіх нейтронів у ядрі

$M_{\text{я}}$ - маса ядра

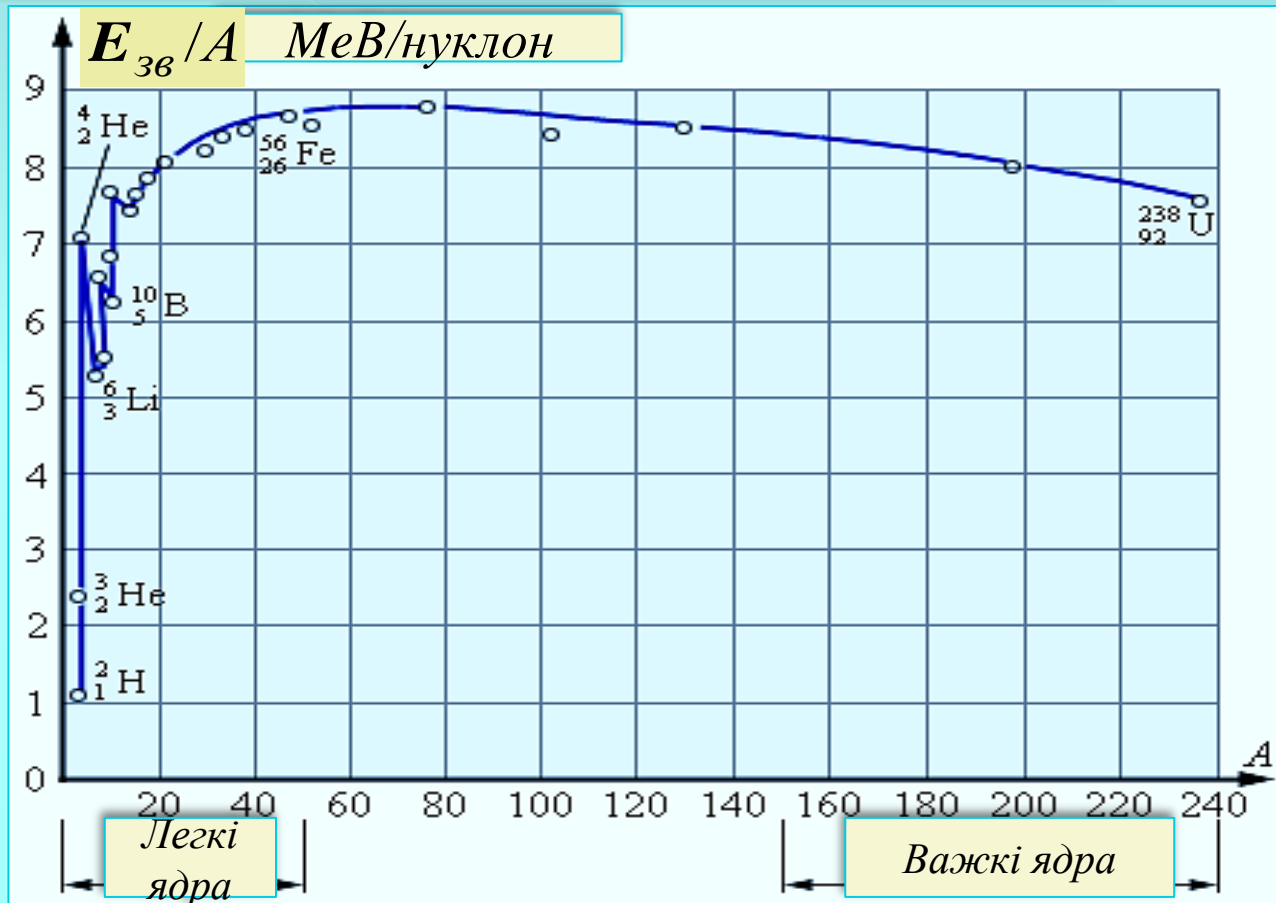
Енергія зв'язку атомних ядер

Енергія зв'язку - це енергія, необхідна для повного розщеплення ядра на окремі нуклони

$$E_{36} = \Delta mc^2$$

Питома енергія зв'язку - це енергія, необхідна для повного розщеплення ядра на окремі нуклони

$$\delta E_{36} = \frac{E_{36}}{A}$$



7.1.3.

Радіоактивність.

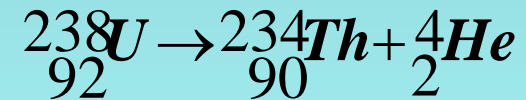
Закон радіоактивного
розпаду.

Активність нукліду.

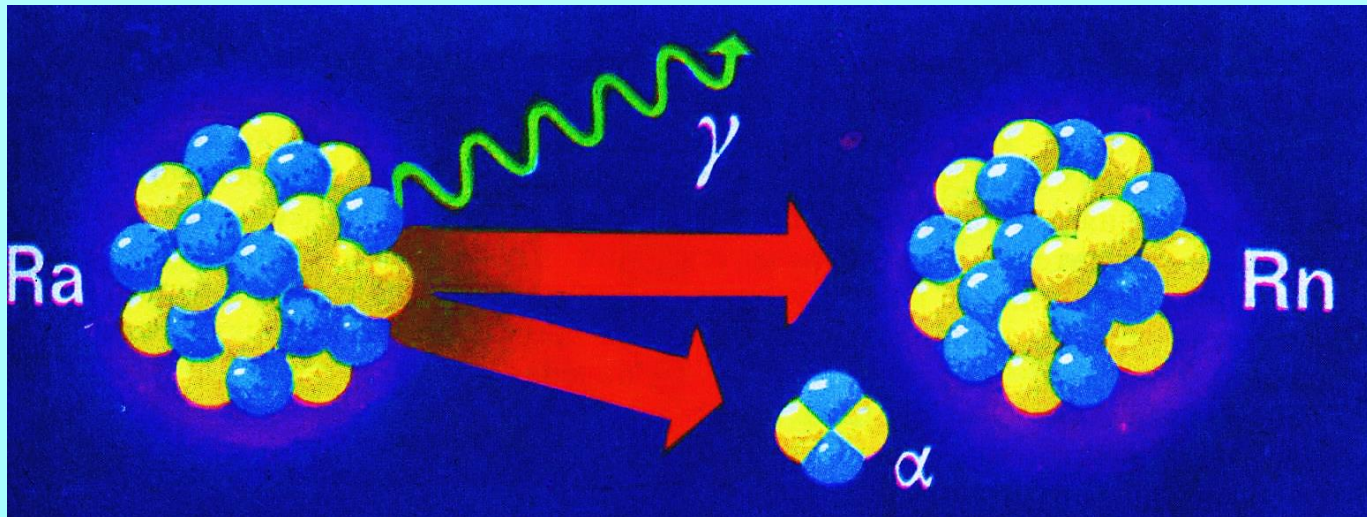
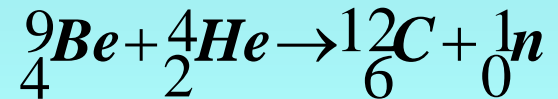
Радіоактивність -

явище перетворення нестійкого ізотопу хімічного елементу на інакший ізотоп (зазвичай іншого хімічного елементу) з одночасним випромінюванням гамма-квантів, елементарних частинок або ядерних фрагментів

Природна (1886 Беккерель)



Штучна (1919 Резерфорд)

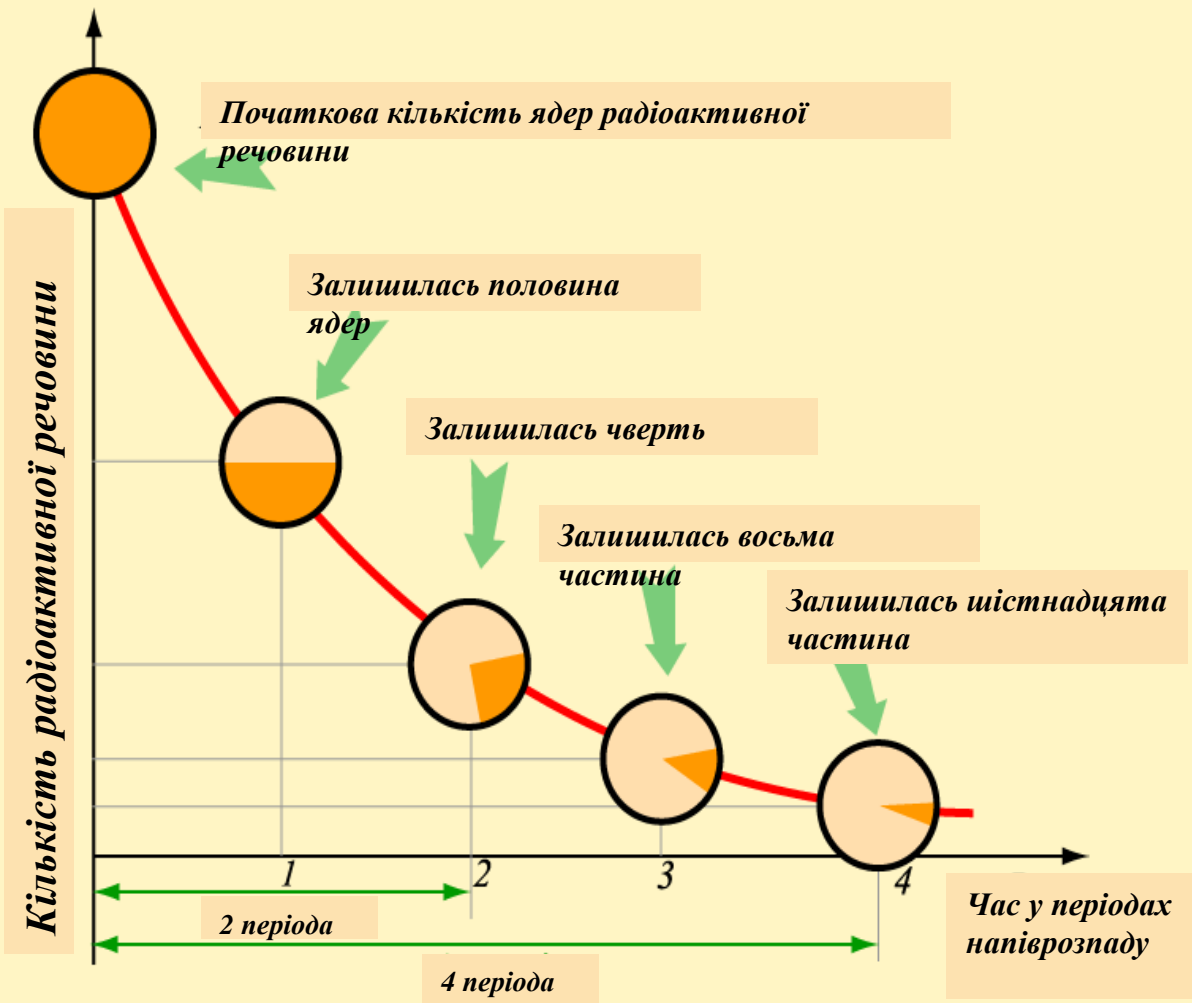


Закон радіоактивного розпаду -

кількість розпадів за одиницю часу прямо пропорційна до початкової кількості ядер:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \Rightarrow \frac{dN}{N} = -\lambda dt \Rightarrow \int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\int_0^t \lambda dt \Rightarrow \ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t \Rightarrow$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$



Активністю радіоактивного джерела називають кількість розпадів, що відбуваються в певному радіоактивному джерелі за секунду:

$$A = \frac{\Delta N}{\Delta t} = \lambda N$$

Період піврозпаду - дорівнює часу, протягом якого розпадається половина наявної кількості ядер даного радіонукліда.

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

Властивості радіоактивного розпаду

1. Розпад того чи іншого ядра радіонукліда подія **випадкова**, тобто не можливо передбачити, яке саме ядро розпадеться

2. Неможливо передбачити у який саме **момент часу** відбудеться розпад радіонукліда

3. Можна точно сказати, що за період напіврозпаду розпадеться **половина** радіоактивних ядер

Періоди напіврозпаду деяких ізотопів

Радіонуклід	Період піврозпаду
Йод-131	8 діб
Калій-40	1,25 млрд років
Карбон-14	5700 років
Кобальт-60	5,3 року
Плутоній-239	24 тис. років
Радій-226	1600 років
Радон-220	55,6 секунди
Радон-222	3,8 доби
Стронцій-89	50,5 доби
Стронцій-90	28,9 року
Уран-235	0,7 млрд років
Уран-238	4,5 млрд років
Цезій-137	30 років

7.1.4.

Основні види радіоактивного випромінювання та їхні властивості.

Дослід з виявлення α -, β - і γ -випромінювань

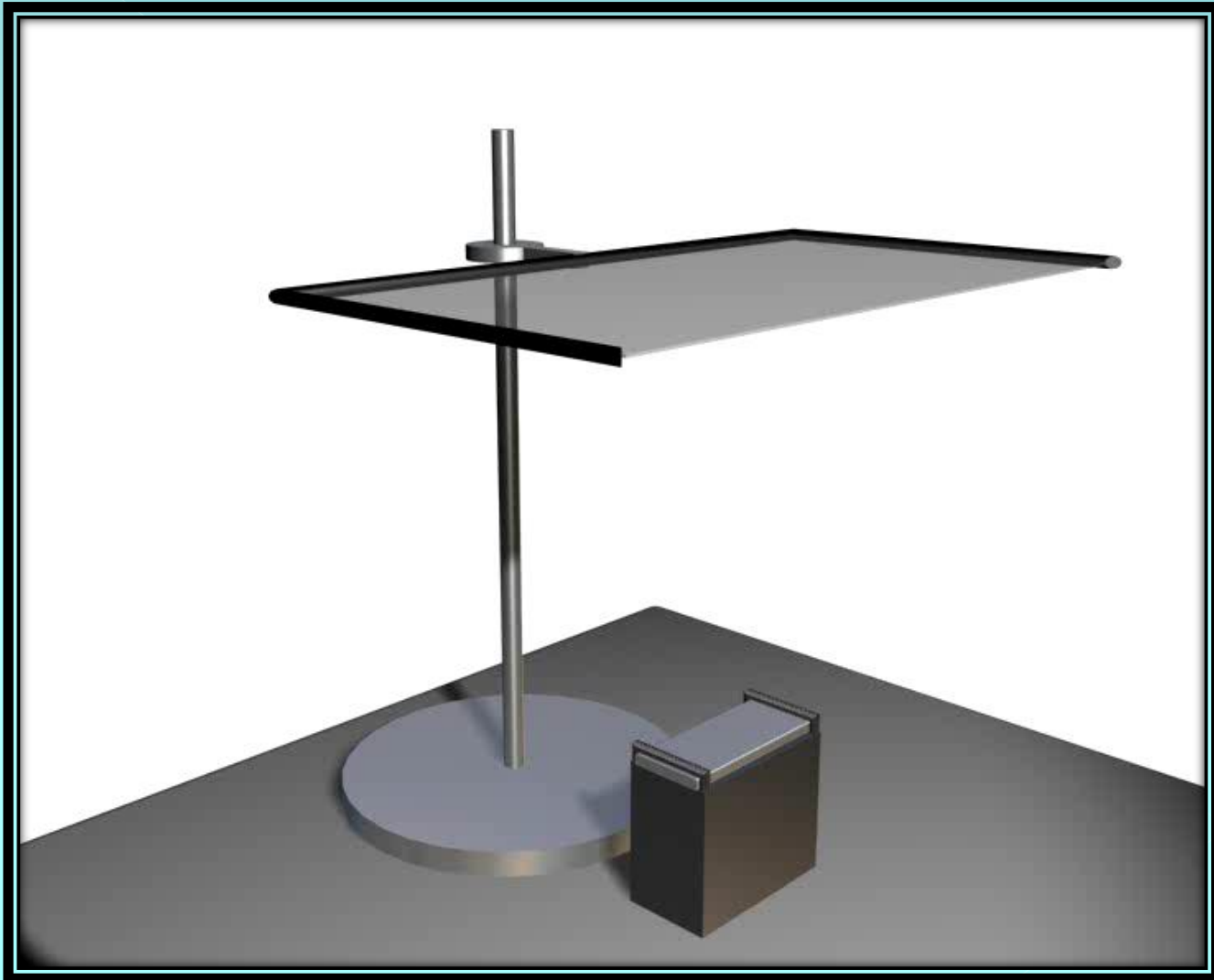
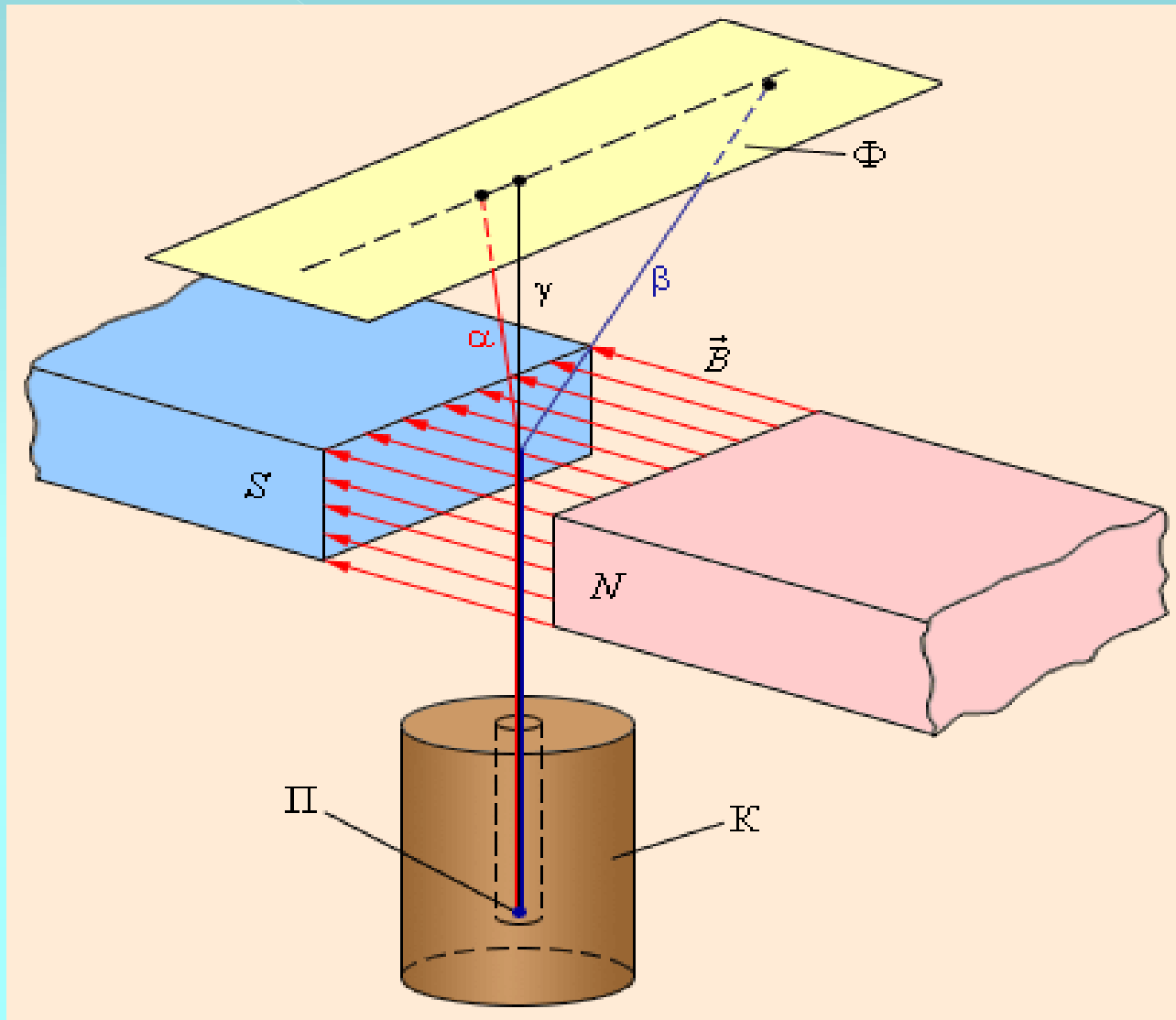


Схема досліду з виявлення α -, β - і γ -випромінювань



К - свинцевий
контейнер

П - радіоактивний
препарат

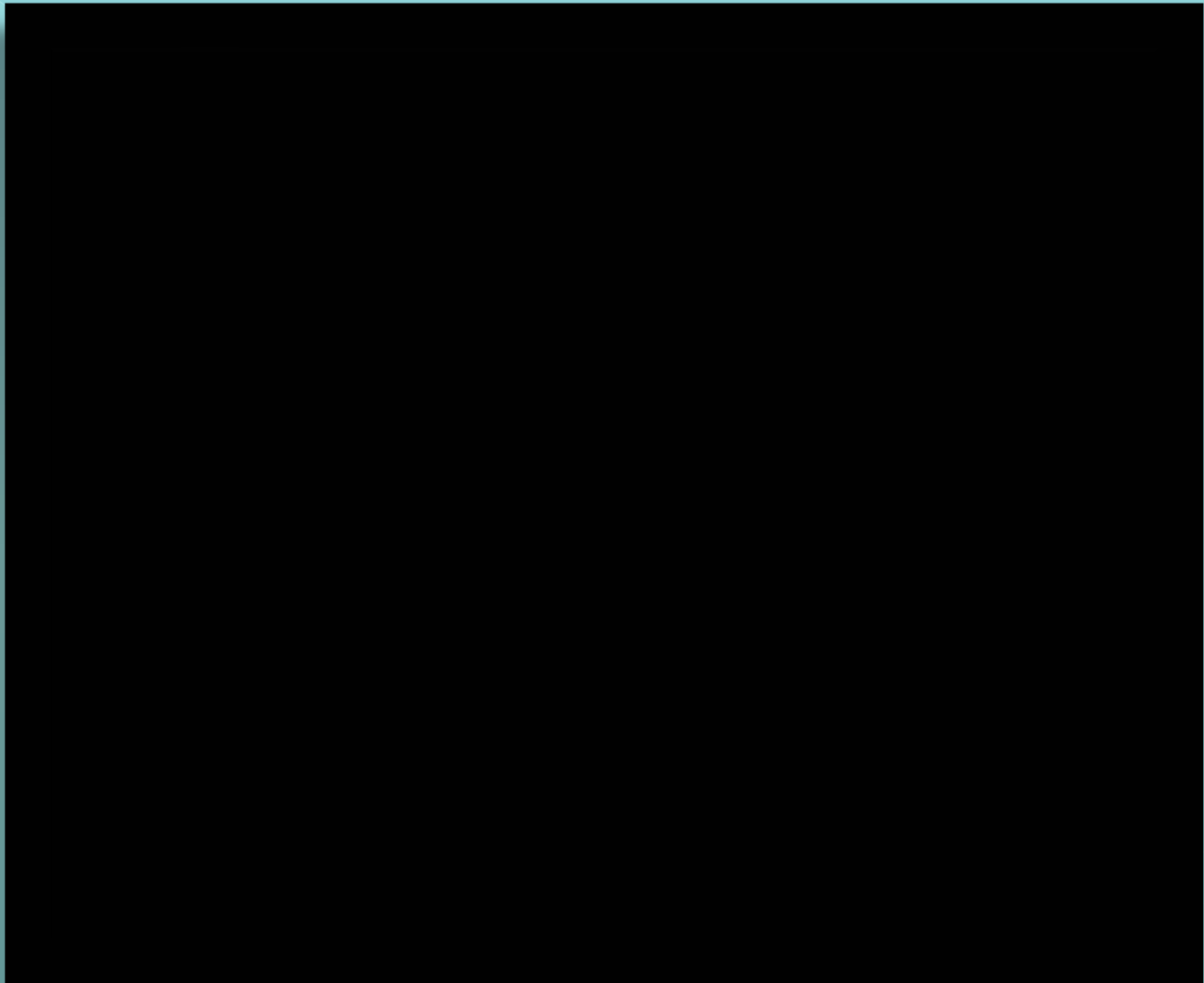
Ф - фотопластинка

B - індукція
магнітного поля

Види радіоактивного випромінювання

α -випромінювання	β^- -випромінювання	β^+ -випромінювання	γ -випромінювання
<p>Потік α-частинок — ядер атомів Гелію ${}^4_2\text{He}$, які рухаються зі швидкістю порядку 10^7 м/с.</p> <p>$q_\alpha = +2e \approx$ $\approx 3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл, $m_\alpha \approx 4,0$ а. о. м \approx $\approx 6,6 \cdot 10^{-27}$ кг</p>	<p>Потік β^--частинок — електронів ${}^0_{-1}e$, які летять зі швидкістю, наближеною до швидкості світла.</p> <p>$q(\beta^-) = -e \approx$ $\approx -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, $m_e \approx 5,5 \cdot 10^{-4}$ а. о. м \approx $\approx 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг</p>	<p>Потік β^+-частинок — позитронів ${}^0_{+1}e$, які летять зі швидкістю, наближеною до швидкості світла.</p> <p>$q(\beta^+) = -e \approx$ $\approx +1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, $m(e^+) \approx 5,5 \cdot 10^{-4}$ а. о. м \approx $\approx 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг</p>	<p>γ-випромінювання — електромагнітні хвилі надзвичайно високої частоти (понад 10^{18} Гц). Швидкість поширення цих хвиль у вакуумі становить $3 \cdot 10^8$ м/с.</p>

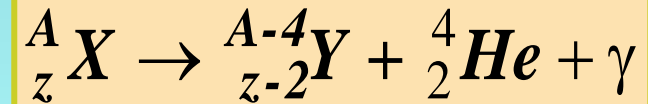
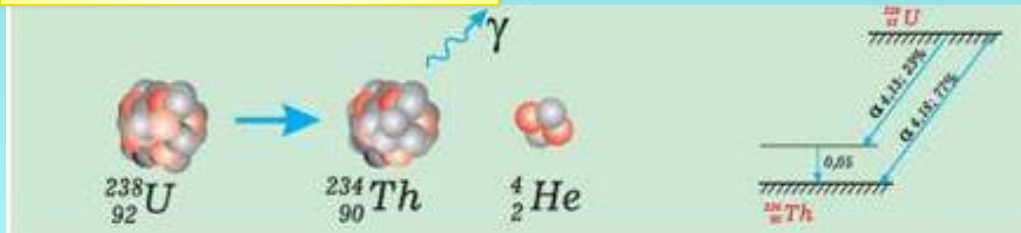
α - та β - розпад



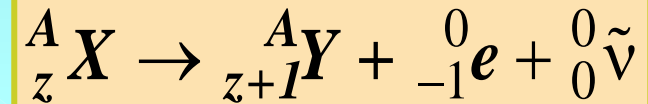
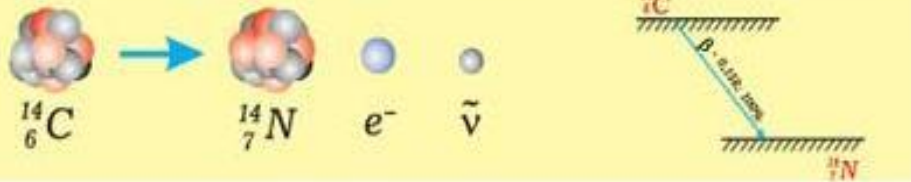
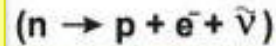
Закономірності α - та β - розпаду. Правила зміщення

Основою закономірностей та правил зміщення є *закони збереження заряду, маси, моменту імпульсу та енергії*

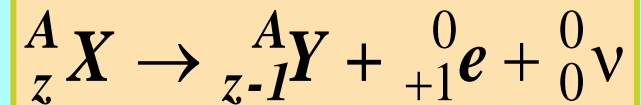
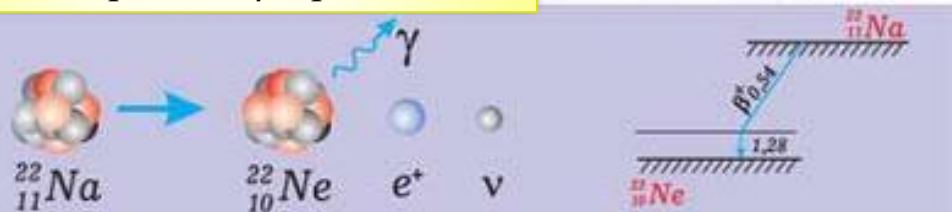
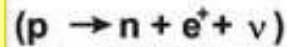
α - розпад



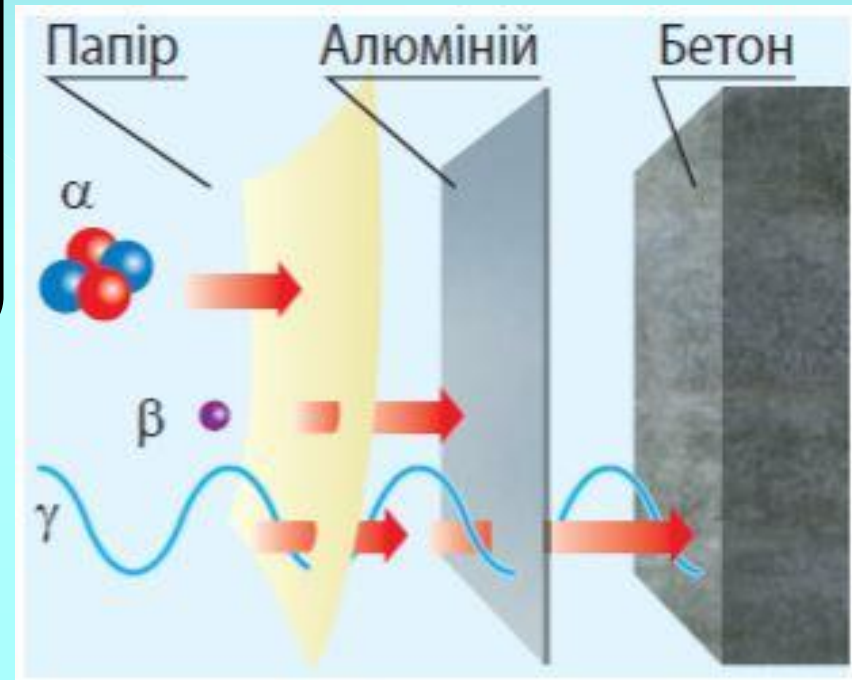
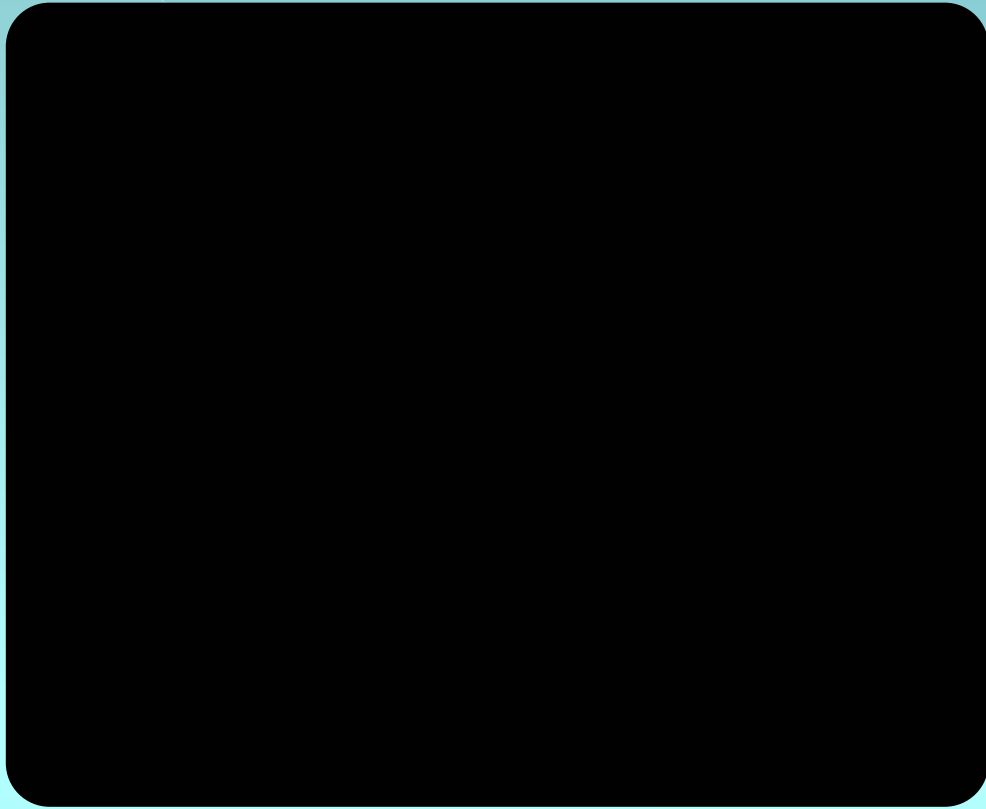
Електронний β - розпад



Позитронний β - розпад

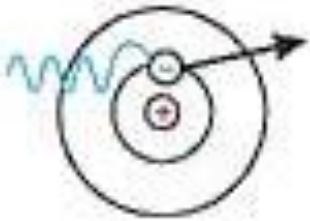


Захист від радіоактивного випромінювання

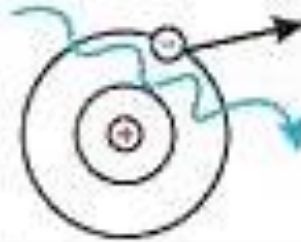


Властивості радіоактивних випромінювань

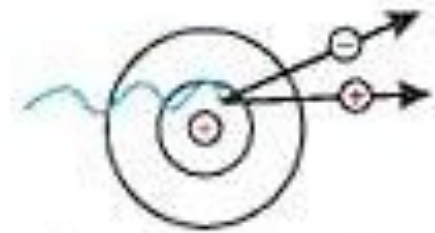
Основні процеси, які супроводжують проходження **рентгенівського та гамма-випромінювання** через речовину



Фотоефект



Ефект Комптона



Народження пари

Поглинання γ – випромінювання в речовині

Енергія γ – квантів	Товщина шару речовини, на якій потік γ – випромінювання зменшується в 10 разів		
	Вода	Бетон	Свинець
0,5 МэВ	24 см	12 см	1,3 см
1,0 МэВ	33 см	16 см	2,9 см
5,0 МэВ	76 см	36 см	4,7 см

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

Властивості радіоактивних випромінювань

Основные процессы, сопровождающие прохождение быстрых заряженных частиц через вещество



Длина пробега альфа-частиц и бета-частиц в воздухе и воде

Энергия частиц	0,5 МэВ	5 МэВ
Воздух	α → 0,3 см β → 2,5 м	α → 3,5 см β → 25 м
	α → 0,004 мм β → 2,6 мм	α → 0,045 мм β → 26 мм

Методи реєстрації радіоактивних випромінювань

Метод фотоэмульсий

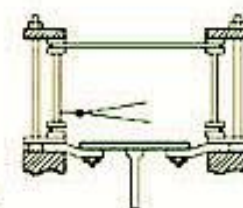


Урановая руда

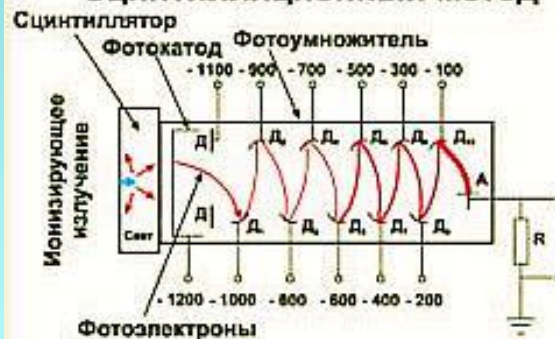


След на фотопленке от излучений урановой руды

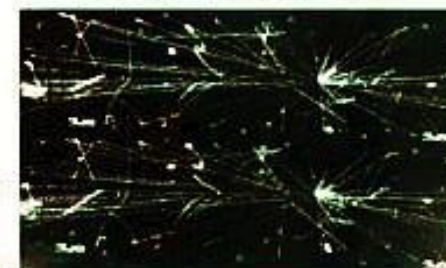
Камера Вильсона



Сцинтилляционный метод



Трековая камера

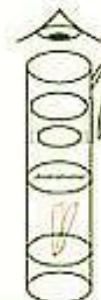


Стереоснимок следов частиц, возникших при столкновении протона с антипротоном в стримерной камере

Ионизационная камера



Карманный дозиметр



Счетчик Гейгера-Мюллера

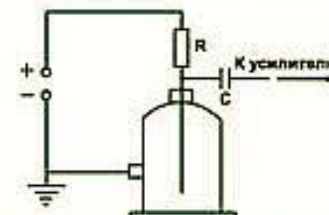


Схема включения счетчика Гейгера-Мюллера



Радиометр



7.1.5.

Взаємодія іонізуючих випромінювань з речовиною.

Доза та потужність дози опромінення.
Біологічна дія іонізуючих випромінювань.

Дозиметрия



Единицы СИ доз ионизирующего излучения

Наименование величины	Единицы		
	Наименование	Обозначение	Определение
Экспозиционная доза облучения	кулон на килограмм	Кл/кг	Кулон на килограмм равен экспозиционной дозе рентгеновского и гамма-излучений, при которой сопряженная корпускулярная эмиссия в сухом атмосферном воздухе массой 1 кг производит ионы, несущие электрический заряд каждого знака, равный 1 Кл
Мощность экспозиционной дозы	ампер на килограмм	А/кг	Ампер на килограмм равен мощности экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучений, при котором за время 1 с сухому атмосферному воздуху передается экспозиционная доза излучения 1 Кл/кг
Поглощенная доза излучения	грэй	Гр	Грэй равен поглощенной дозе излучения, при которой облученному веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения 1 Дж
Мощность поглощенной дозы излучения	грэй в секунду	Гр/с	Грэй в секунду равен мощности поглощенной дозы излучения, при которой за время 1 с облученным веществом поглощается доза излучения 1 Гр
Эквивалентная доза излучения	зиверт	Зв	Зиверт равен эквивалентной дозе излучения, при которой поглощенная доза равна 1 Гр и коэффициент К качества излучения равен единице
Мощность эквивалентной дозы излучения	зиверт в секунду	Зв/с	Зиверт в секунду равен мощности эквивалентной дозы излучения, при которой за время 1 с облучаемым веществом поглощается эквивалентная доза излучения 1 Зв

Коэффициент К качества излучения для некоторых видов излучения

Рентгеновское и гамма-излучения	1
Электроны, позитроны, β-излучение	1
Нейтроны с энергией ≤ 0,1–10 МэВ	10
Протоны с энергией ≤ 10 МэВ	10
α-излучения с энергией 10 МэВ	20

Связь единиц дозы излучения СИ с внесистемными единицами

1 рентген = 1Р = 2,58 · 10 ⁴ Кл/кг
Биологический эквивалент рентгена (бэр)
1 бэр = 0,01 Зв
Экспозиционной дозе 1 Р рентгеновского и гамма-излучения соответствует эквивалентная доза ≈ 0,01 Зв (1 Зв ≈ 100 Р)

Джерела радіаційних випромінювань. Допустимі дози опромінення

Естественные источники радиации



Внутреннее облучение, обусловленное естественными изотопами в тканях организма

Средняя общая эквивалентная доза облучения человека от естественных источников радиации равна **2 мЗв/год** или **0,2 бэр/год**

Допустимі та небезпечні дози опромінення

Предельно допустимые эквивалентные дозы облучения

Для профессионалов	за год	50 мЗв (5 бэр)
Для ограниченной части населения	за год	5 мЗв (0,5 бэр)
	за 70 лет	350 мЗв (35 бэр)

Предельно допустимая мощность экспозиционной дозы

Для профессионалов (1700 рабочих часов в год): 30 мкЗв/час (3 мбэр/час)*

* Мощности экспозиционной дозы 3 мбэр/час для рентгеновского и гамма-излучения соответствует экспозиционная доза 3 мР/час

Опасные дозы однократного общего облучения

Гибель отдельных клеток крови и половых клеток:	0,1-0,5 Зв (10-50 бэр)
Нарушения в работе кроветворной системы:	0,5-1,0 Зв (50-100 бэр)
Острая лучевая болезнь (≈50% смертельных исходов):	3-5 Зв (300-500 бэр)

7.1.6.

Ядерні реакції.

Основні види ядерних реакцій.

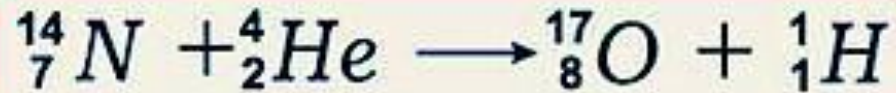
Шляхи отримання

внутрішньоядерної енергії.

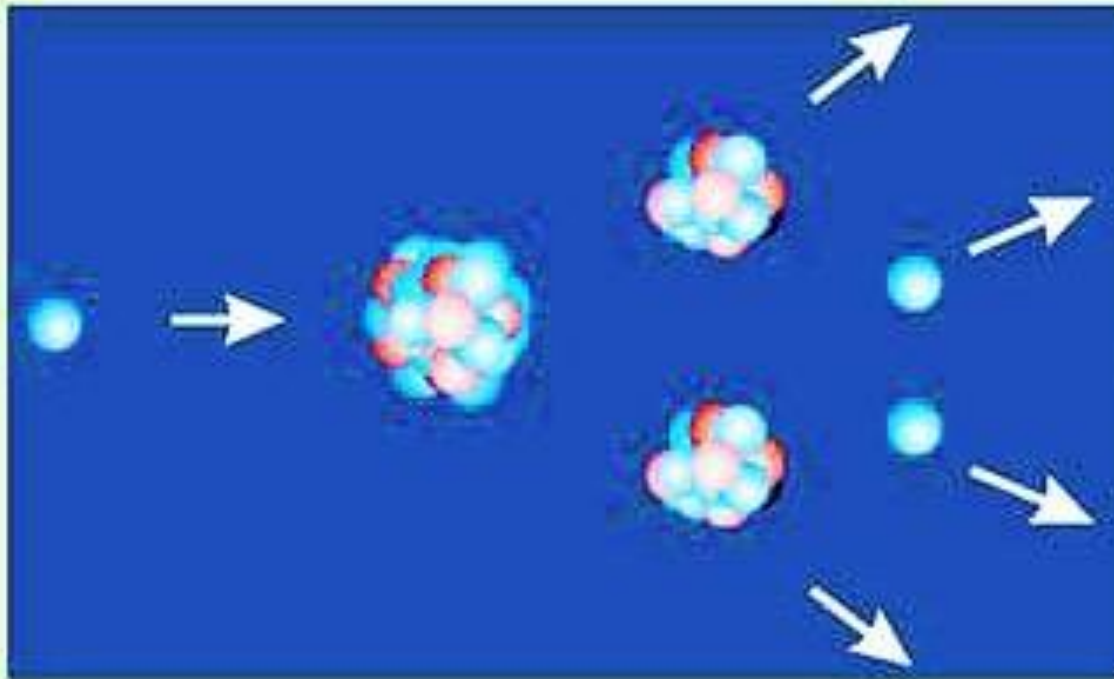


Ядерні реакції поділу

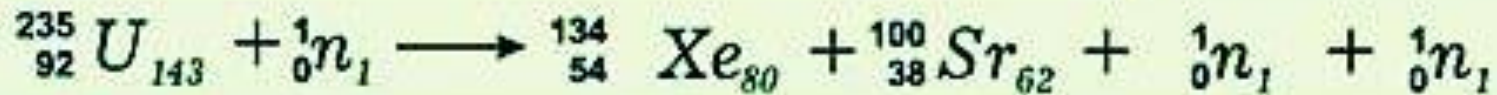
Первая осуществленная человеком ядерная реакция:



Реакция деления ядра урана

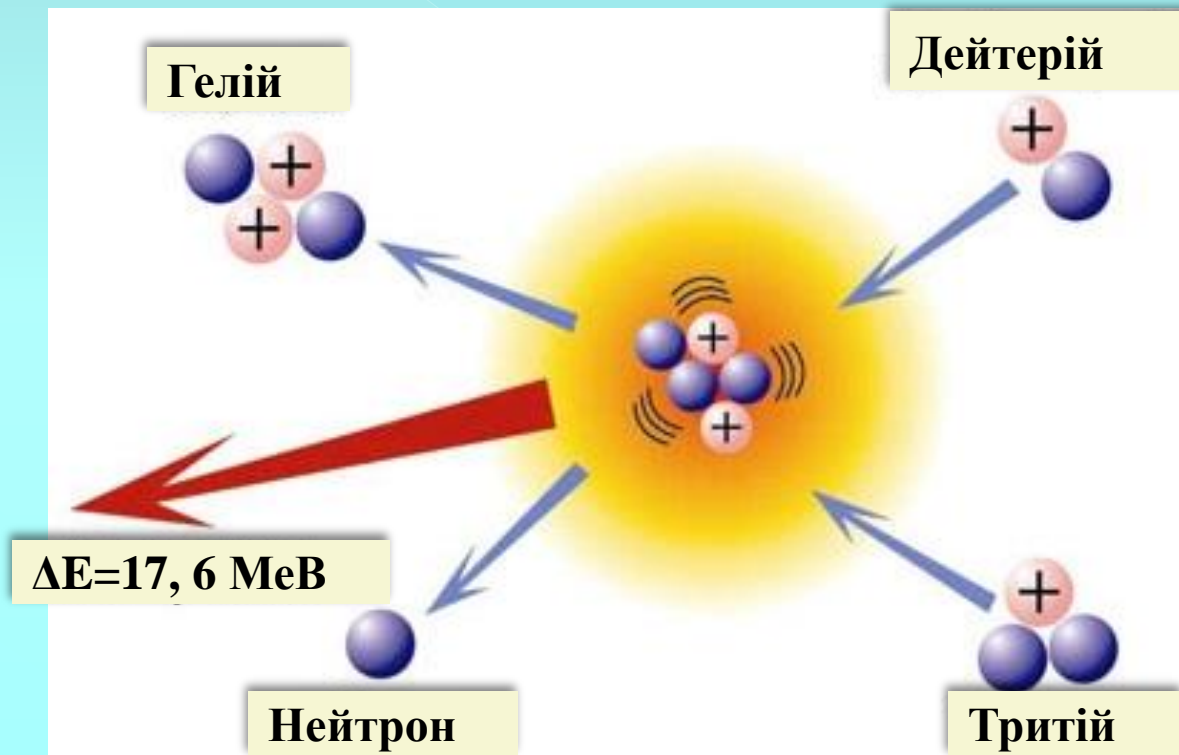
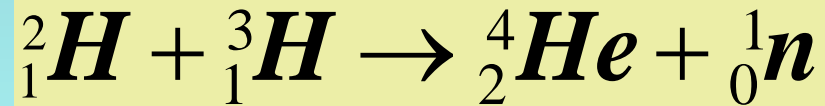


$$\Delta E = 200 \text{ МэВ}$$

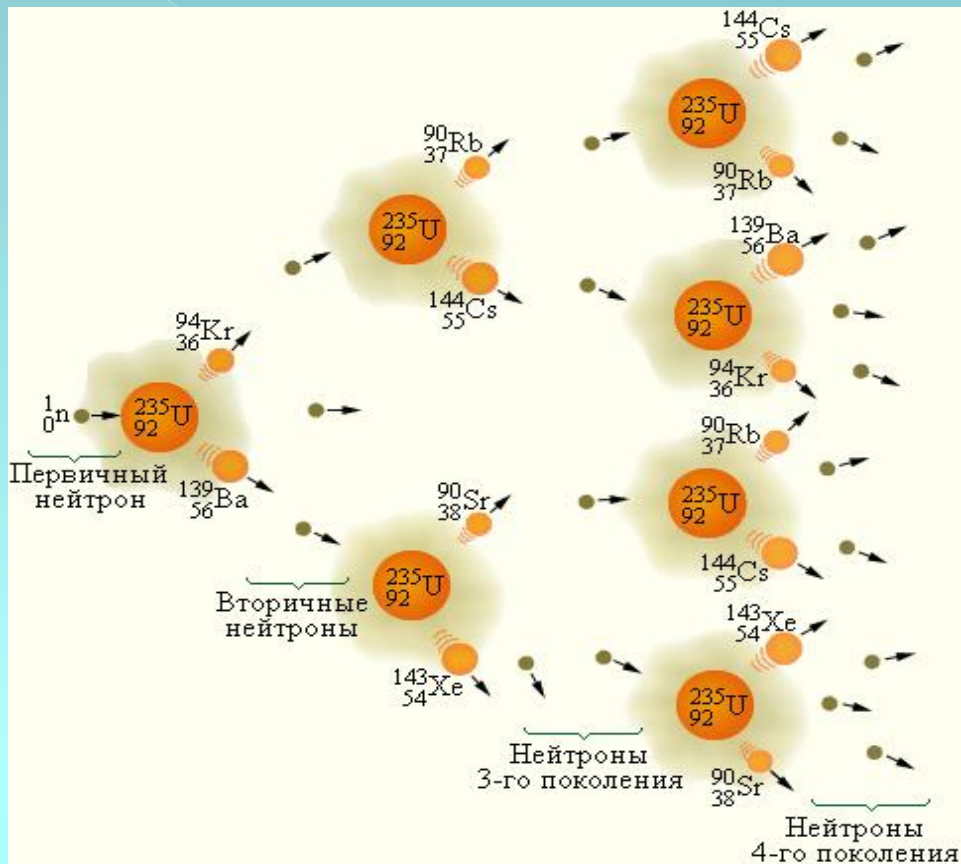


Ядерні реакції синтезу

Реакцію злиття легких ядер у важчі ядра, яка відбувається за дуже високих температур (понад 10^7 °C) і супроводжується виділенням енергії, називають термоядерним синтезом.

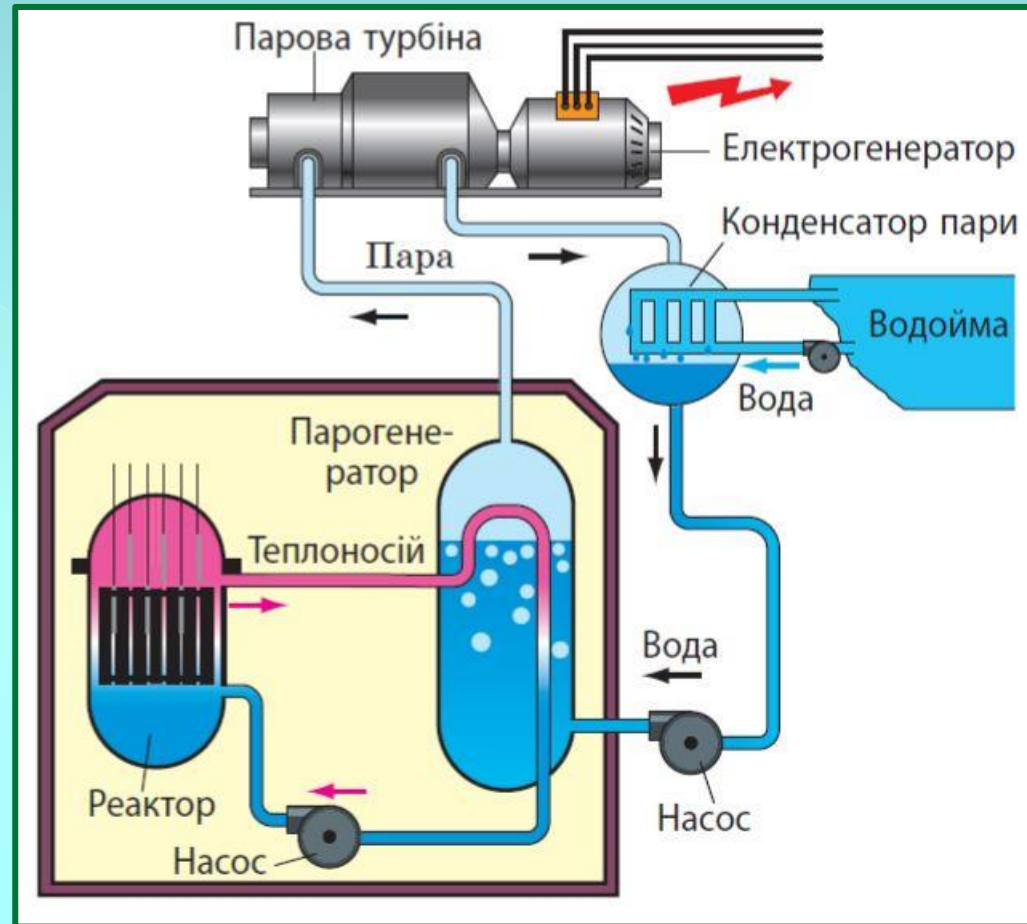
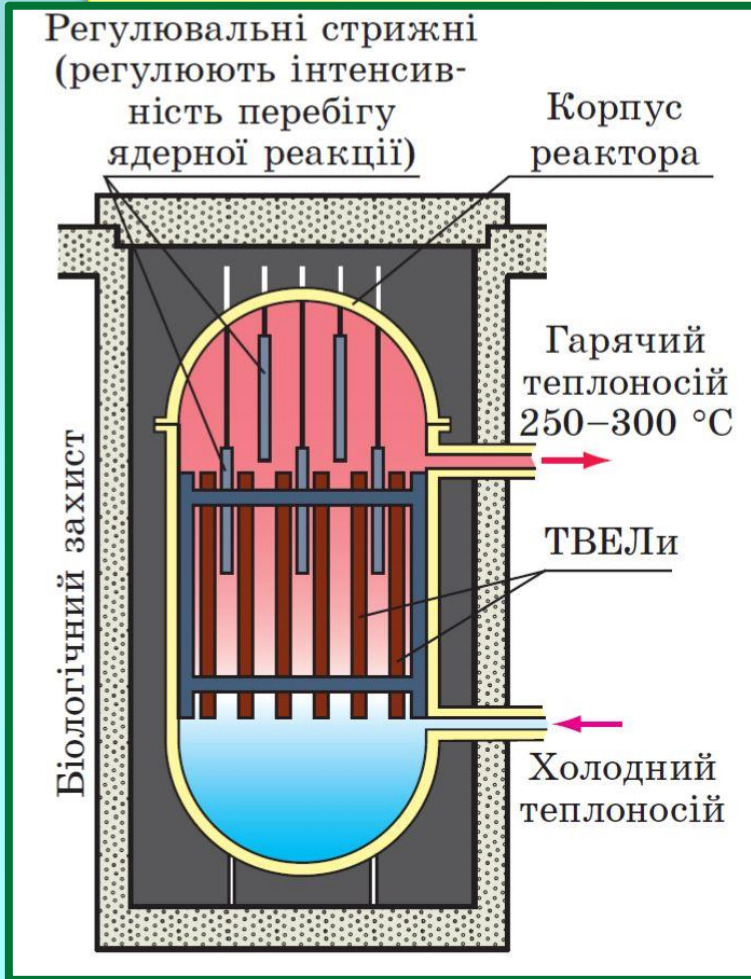


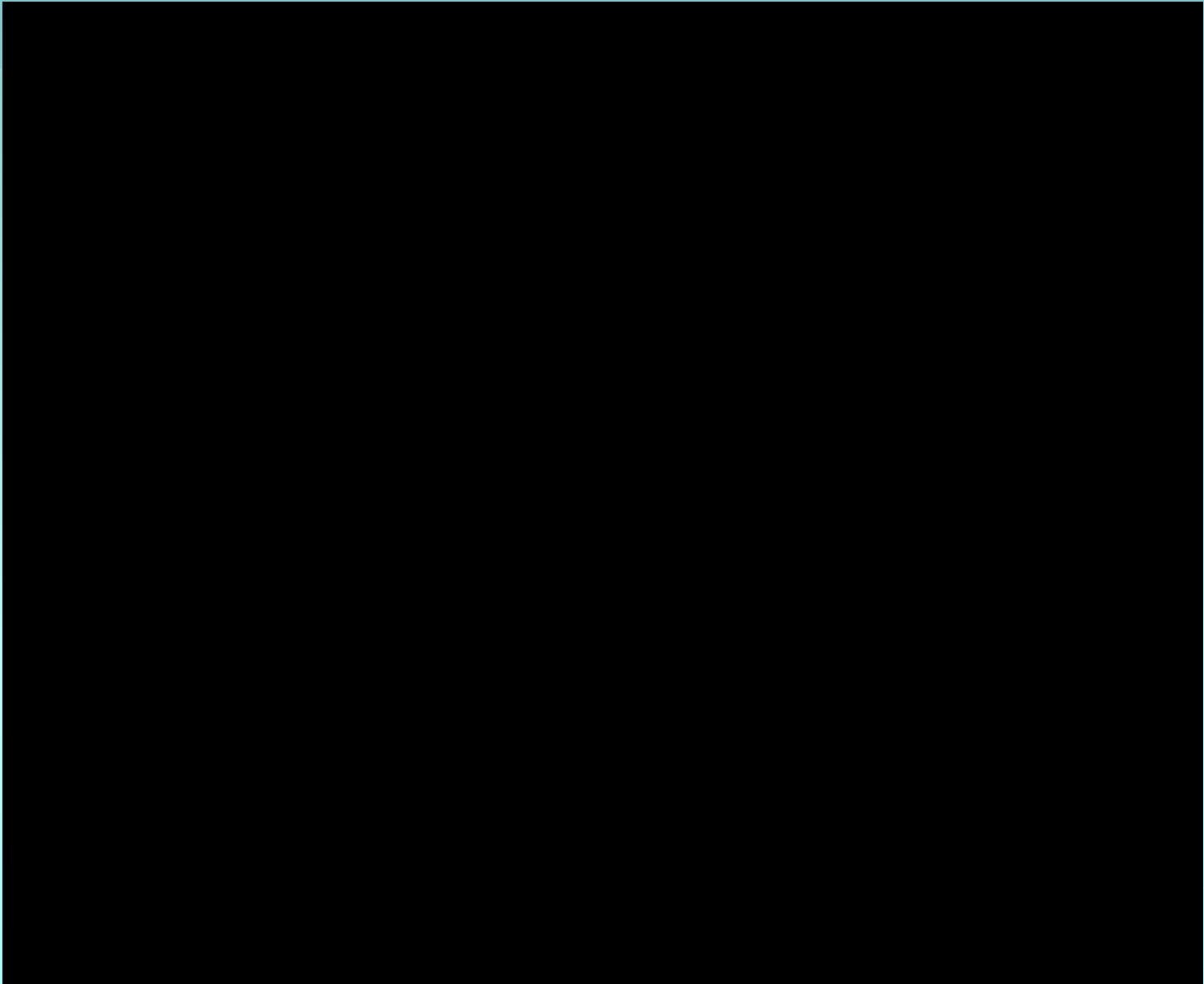
Ланцюгова реакція поділу ядер урану



Ядерна енергетика

Схема пристрою ядерного реактора на повільних нейтронах та принцип роботи атомної електростанції







ATOM BASS

MIXTAPE



BY ZNAMIN

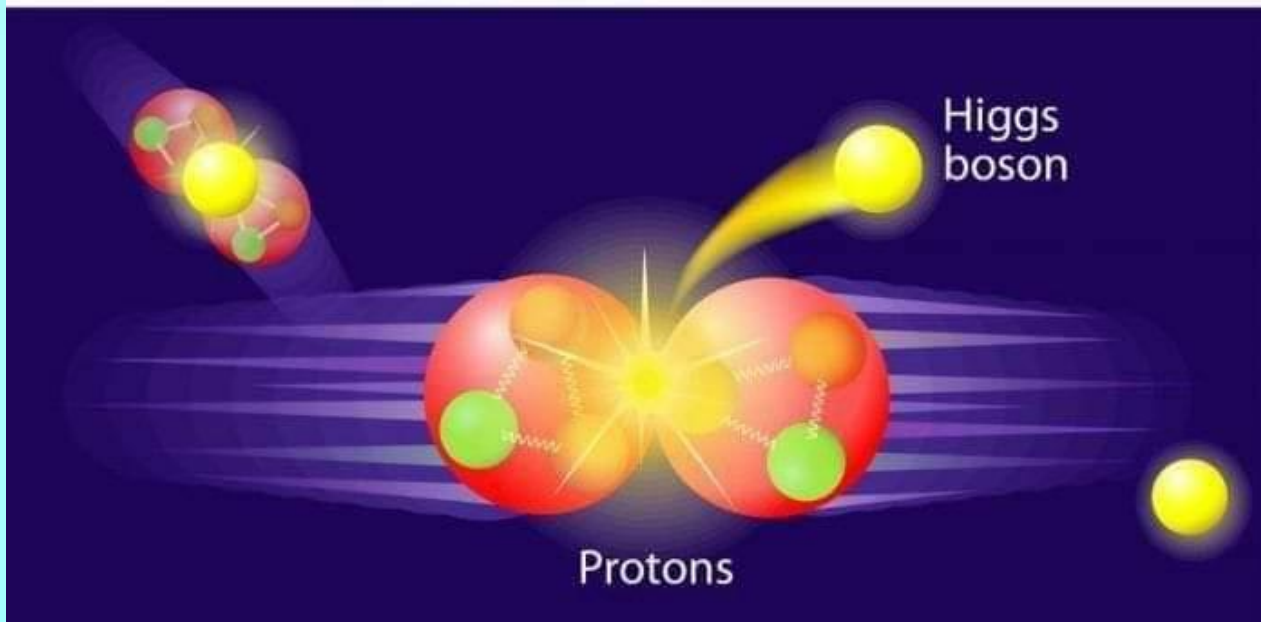
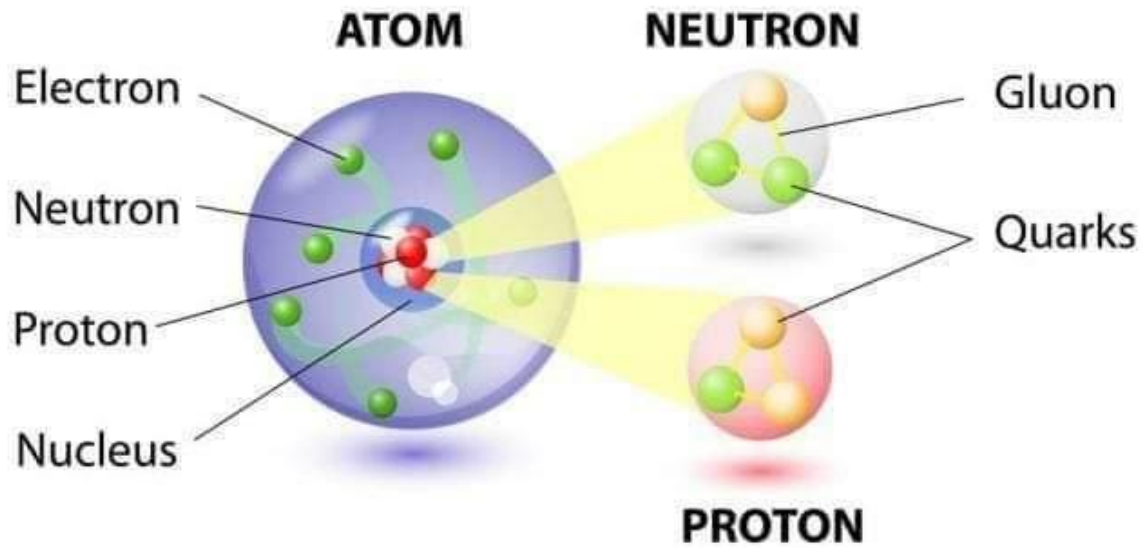


DUBSTEPPER

Елементарні частинки та фундаментальні взаємодії



HIGGS BOSON



Стандартна модель



Все, з чого ми складаємося і бачимо у Всесвіті, побудоване всього з трьох елементарних частинок. Це **2 кварки** (верхній і нижній) та **електрон**. Також є **нейтрино**, які не взаємодіють зі звичайною речовиною і в величезних кількостях пролітають крізь предмети, наші тіла та Землю. 2-е та 3-є покоління ферміонів є нестійкими.

Ферміони (12 частинок матерії)

кванти полів, які утворюють матерію

Бозони (частинки-переносники взаємодій)

кванти полів взаємодій

1-е покоління	2-е покоління	3-є покоління	Бозони
кварки (відчують сильну взаємодію)			γ фотон квант ел-магнітного поля переносник електромагнітної взаємодії
u верхній	c зачарований	t істинний	g глюон квант глюонного поля переносчик сильної ядерної взаємодії
d нижній	s дивний	b чарівний	Z Z-бозон кванти поля слабкої взаємодії переносники слабкої ядерної взаємодії
лептони (не відчують сильну взаємодію)			W W-бозон Z-бозон і 2 W-бозона (із зарядами +1 і -1)
e електрон	μ мюон	τ тау-лептон	H бозон Хіггса квант поля Хіггса переносник енергії поля Хіггса, яке забезпечує масами всі частинки
ν_e електронне нейтрино	ν_μ мюонне нейтрино	ν_τ тау-нейтрино	

Гравітація до стандартної моделі не входить, але гравітаційні хвилі відкриті та передбачають існування гравітона — кванта гравітаційного поля.

Згідно квантової теорії поля, елементарні частинки — це кванти (найменші долі) полів, зумовлених цими частинками. Поля — це те, з чого все складається, а частинки — це те, як ми можемо це спостерігати. Електрони й кварки — це вібрації в електричному та кваркових полях.