

# Лекція №14

Закон радіоактивного розпаду. Ядерні реакції

Викл Коваль В.В.

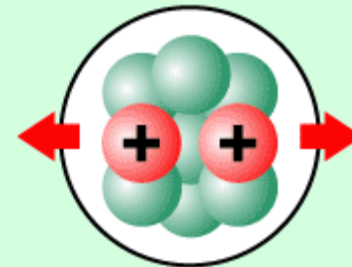
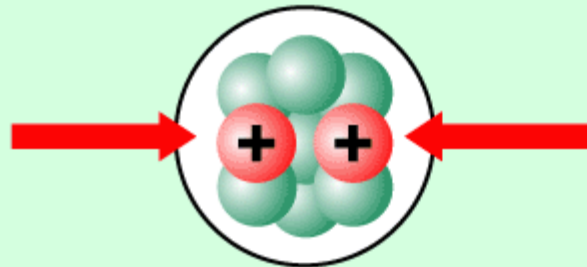
ФОК

2021р.

# Питання

Склад і характеристика атомного ядра. Ізотопи, ізобари, ізотони, ізомери. Дефект маси й енергія зв'язку ядра. Залежність питомої енергії зв'язку ядра від масового числа. Краплинна й оболонкова моделі ядра. Ядерні сили. Закон радіоактивного розпаду. Середній час життя, період напіврозпаду, активність радіоактивної речовини. Види радіоактивного розпаду. Альфа-розпад. Енергія

# ФІЗИКА АТОМНОГО ЯДРА



# ПРОТОННО-НЕЙТРОННА СТРУКТУРА ЯДРА



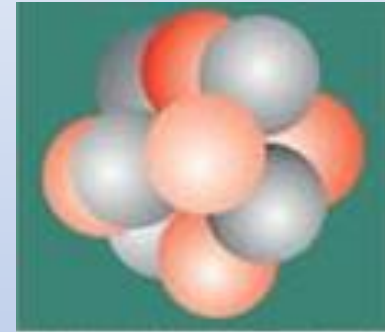
- **протон**  $q_p = +|e| = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл},$

$$m_p = 1.673 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1836 m_e$$



- **нейтрон**  $q_n = 0,$

$$m_n = 1.675 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1838.5 \cdot m_e$$

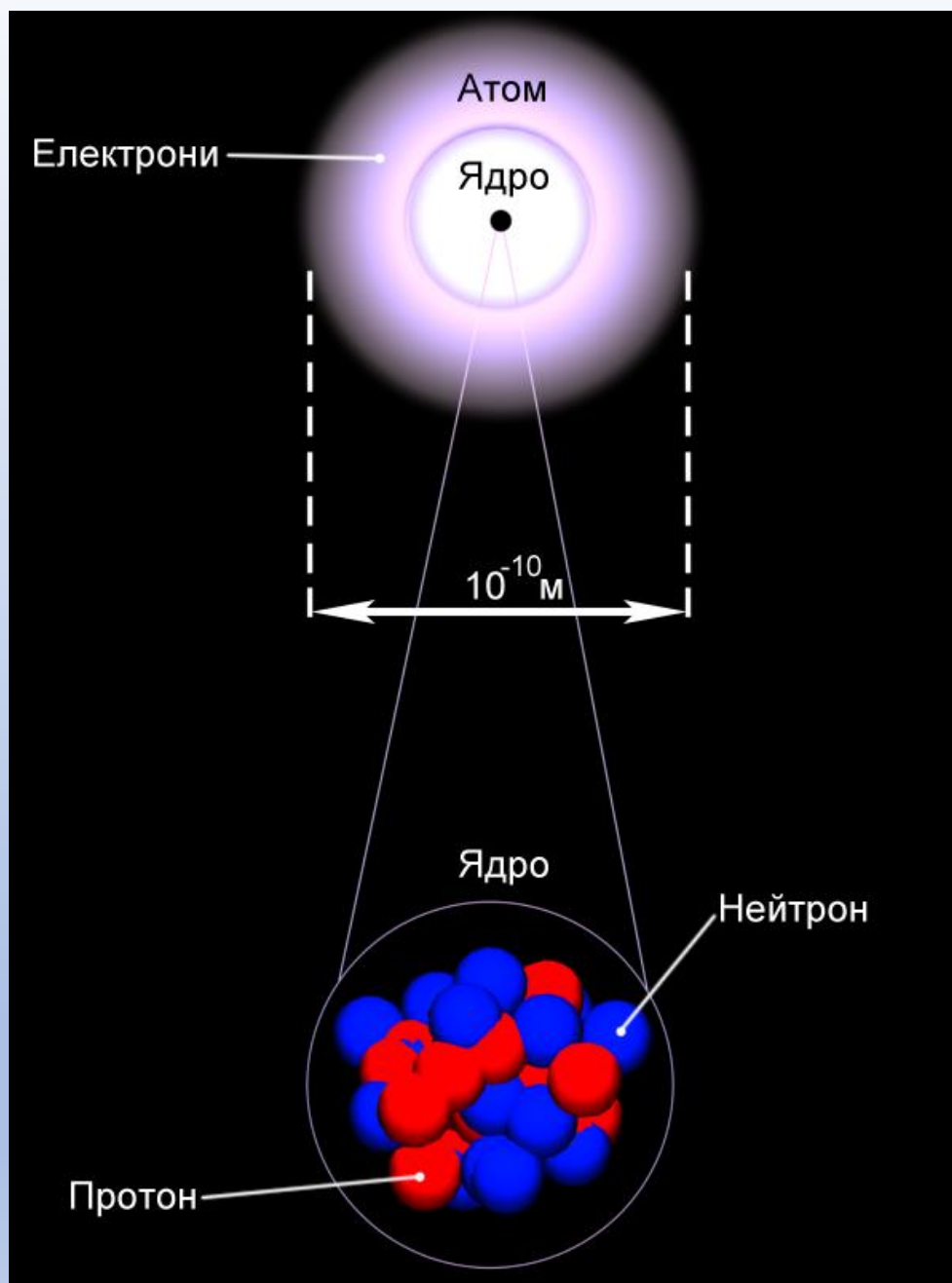


- **ядро**

$$m_p \approx m_n \approx 1 \text{ а.о.м.}$$

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

$$A = Z + N$$



$${}_Z X^A, \text{ або } {}_Z^A X$$

$${}_{92}^{238}U \text{ або } {}^{238}U, \quad {}_6^{12}C \text{ або } {}^{12}C$$

${}^1\text{H}$  - водень,  ${}^2\text{H}$  - дейтерій,  ${}^3\text{H}$  – тритій

$${}^{233}\text{U}, {}^{235}\text{U}, {}^{238}\text{U}$$

$${}^3\text{H}, {}^3\text{He} \quad {}^{10}\text{Be}, {}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{C} \quad {}^2\text{H}, {}^3\text{He}$$

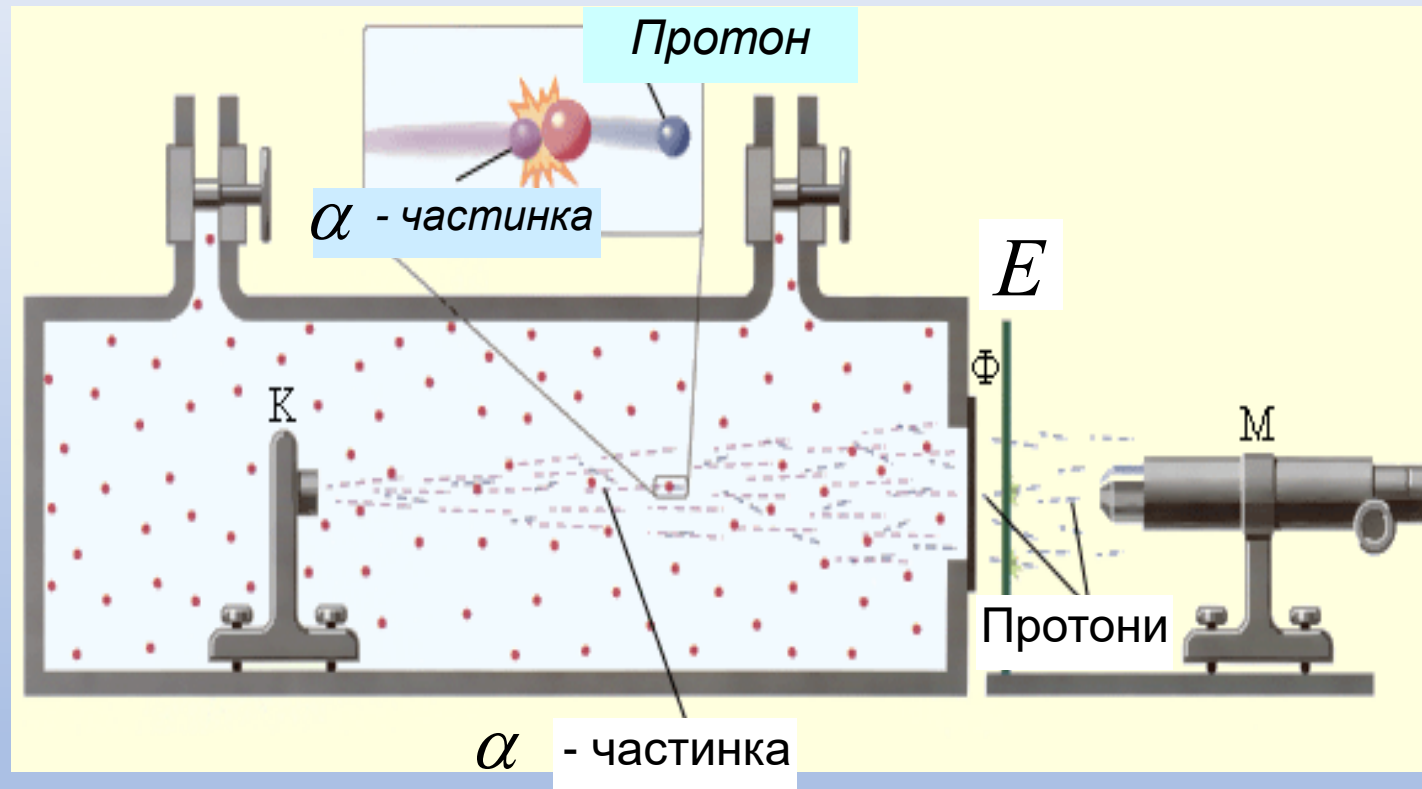
## ЗАРЯД ЯДРА

$$q_{\text{я}} = Z \cdot |e|$$

$$|e| = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

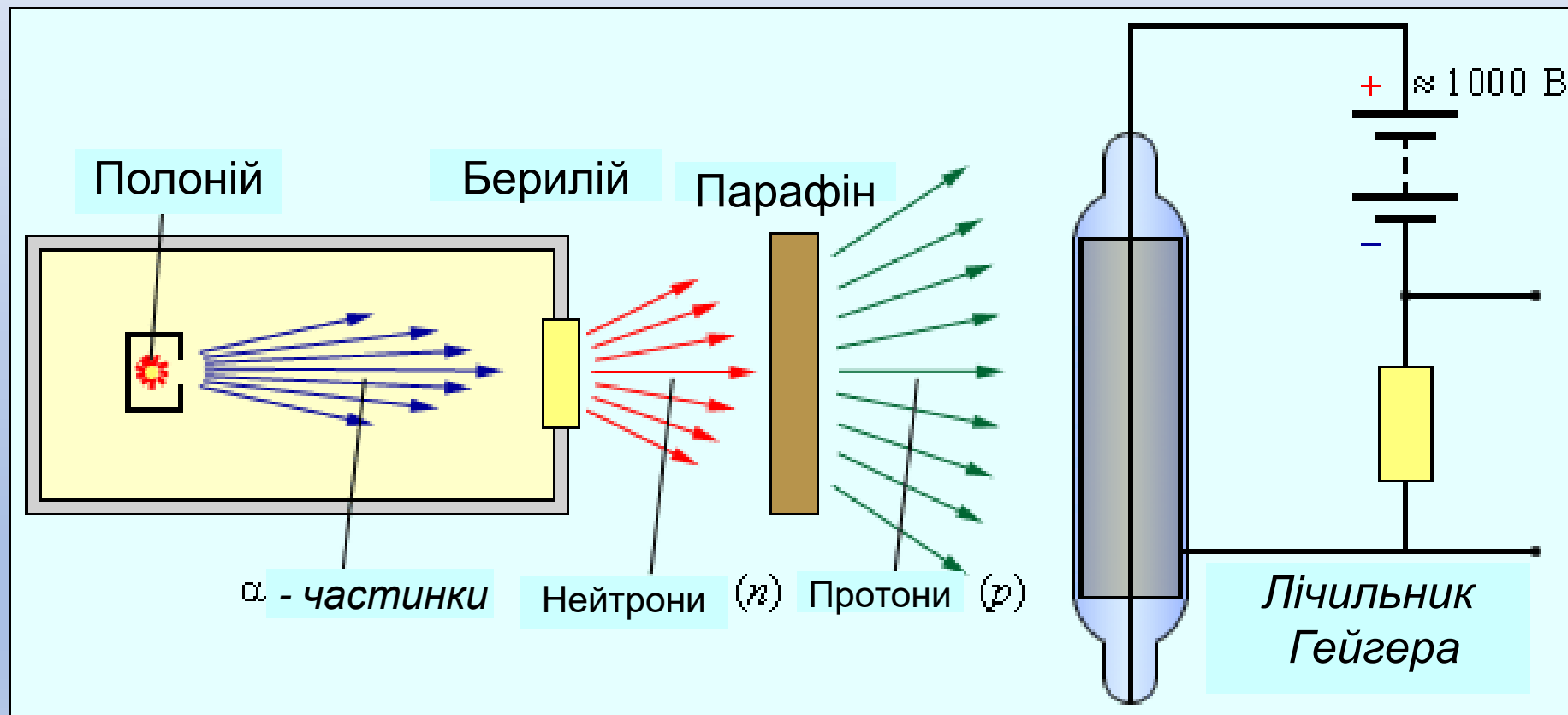
$$\sqrt{\omega} = C(Z - \sigma)$$

## Схема дослідів Резерфорда і Чедвіка з виявлення протонів у продуктах розщеплення ядер



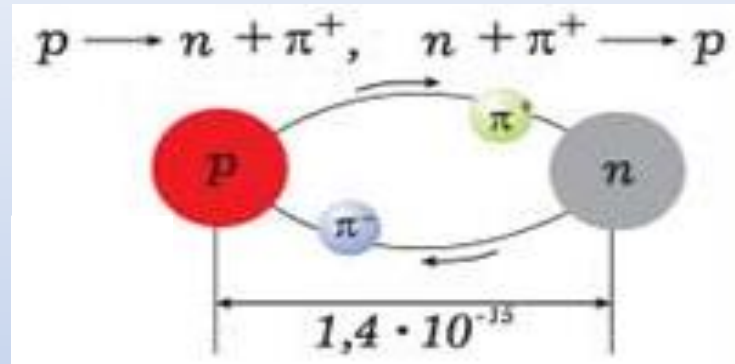
*К – свинцевий контейнер с радіоактивним джерелом  $\alpha$ -частинок, Ф – металева фольга, Е – екран, покритий сульфідом цинку, М – мікроскоп.*

# Схема установки для виявлення нейтронів (дослід Чедвіка)





# ЯДЕРНІ СИЛИ



## Енергія зв'язку ядра

$$\Delta m = Z \cdot m_p + N \cdot m_n - m_{\text{я}}$$

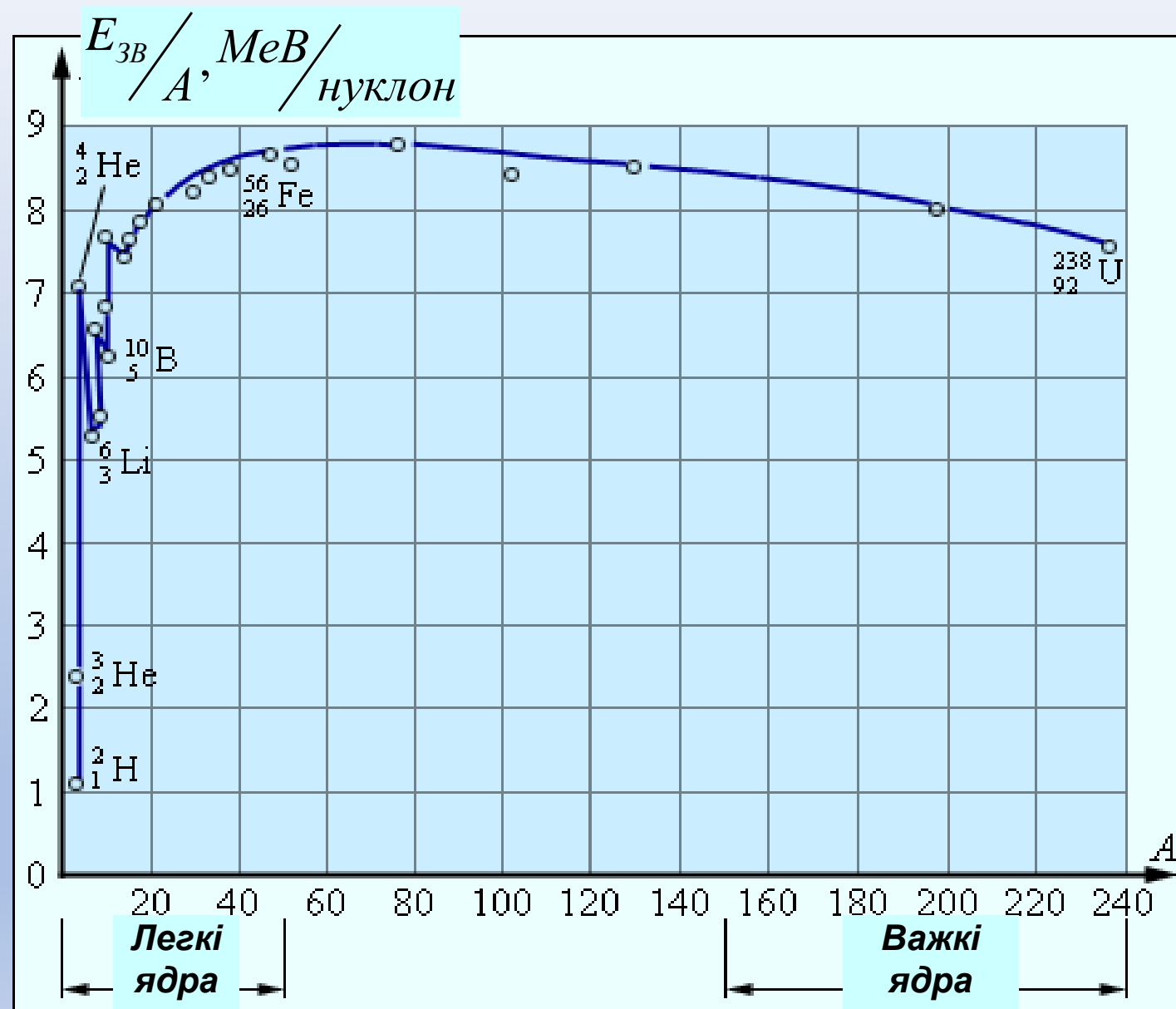
$$E_{\text{зв}} = \Delta m c^2$$

$$f = \frac{E_{\text{зв}}}{A}$$

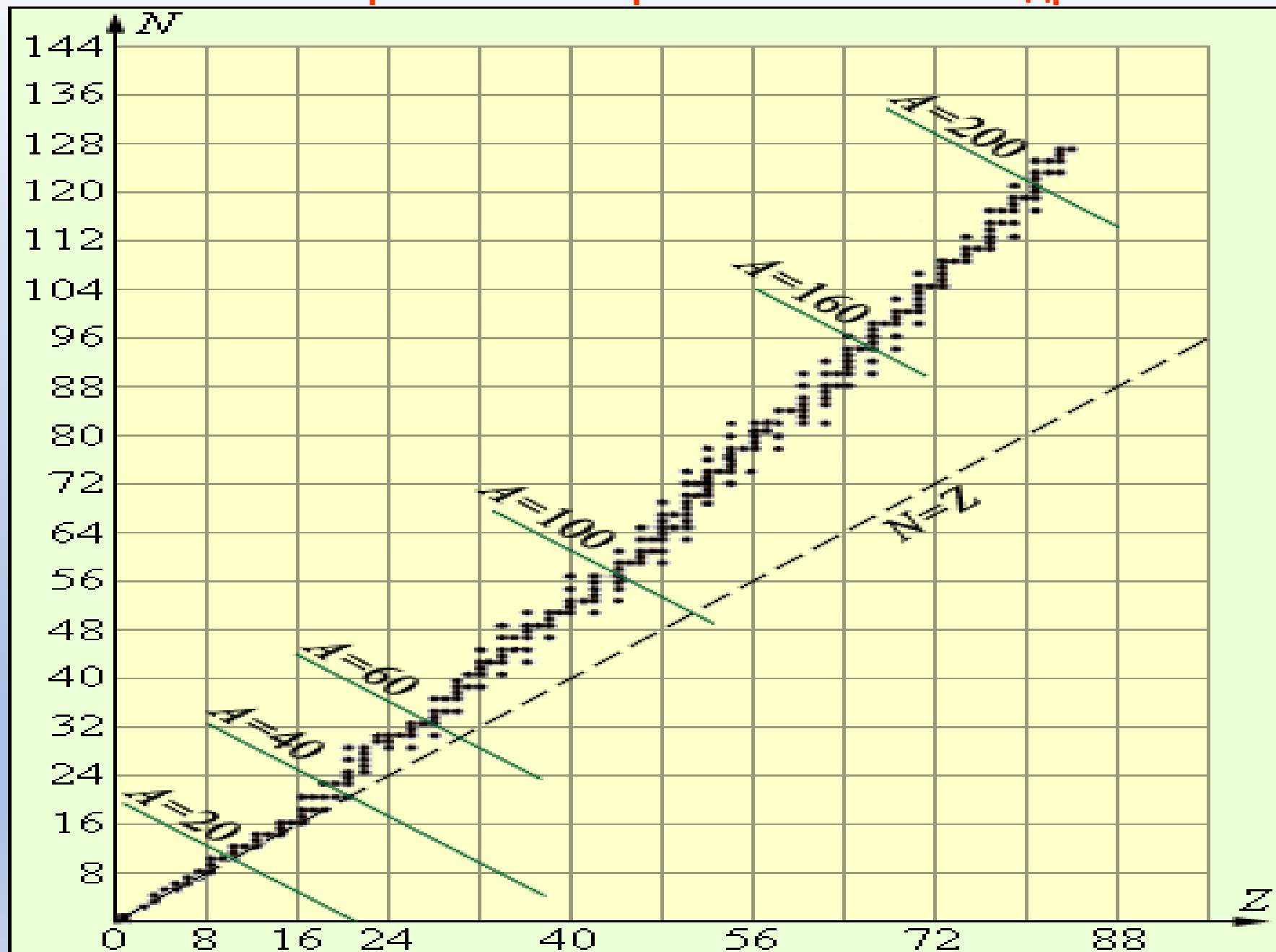
$$1 \text{ MeV} = 1,602 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$$

$$1 \text{ a.o.m.} \cdot c^2 = 931,4 \text{ MeV}$$

## Залежність питомої енергії зв'язку ядер від масового числа

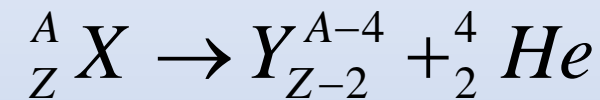
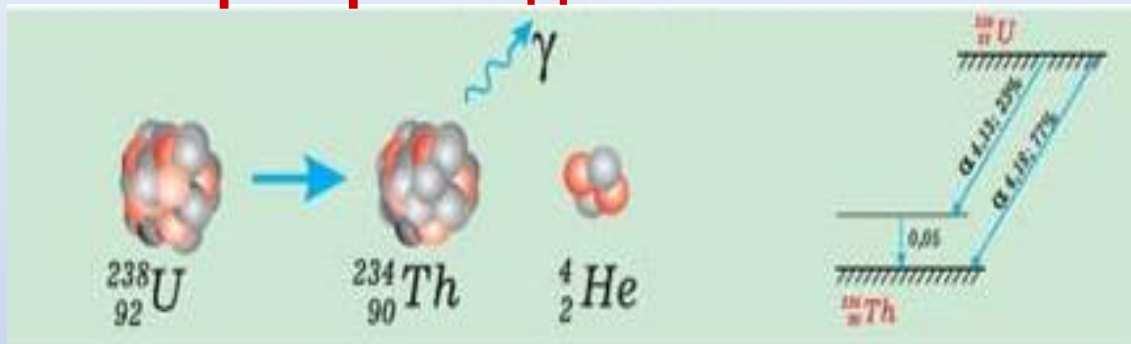


## Числа протонів і нейтронів в стабільних ядрах

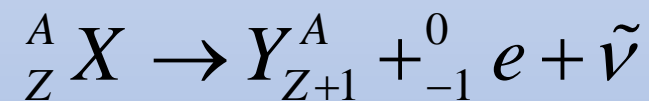
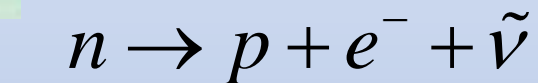
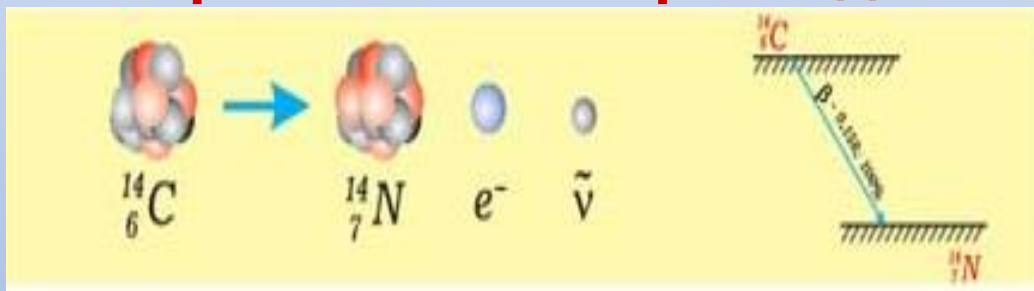


# ВИДИ РАДІОАКТИВНОСТІ

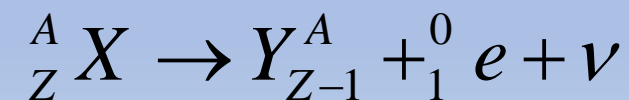
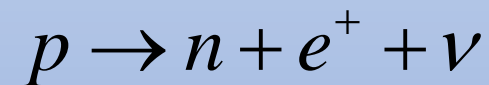
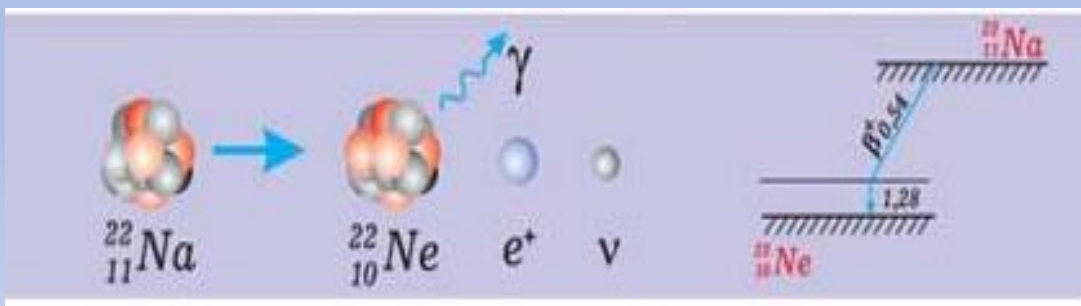
## 1 Альфа - розпад



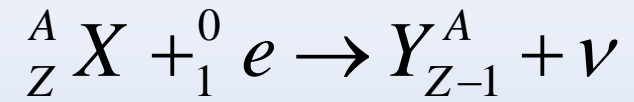
## 2 Електронний бета – розпад



## 3 Позитронний бета - розпад

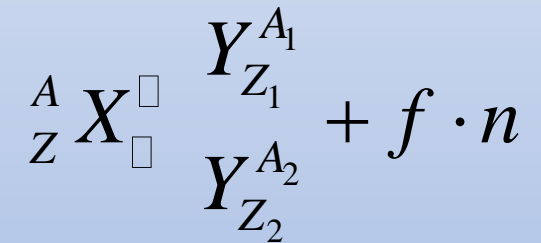


#### 4 Ка - захват



#### 5 γ - випромінювання

#### 6 спонтанний поділ важких ядер



#### 7 протонний розпад



# Закон радіоактивного розпаду

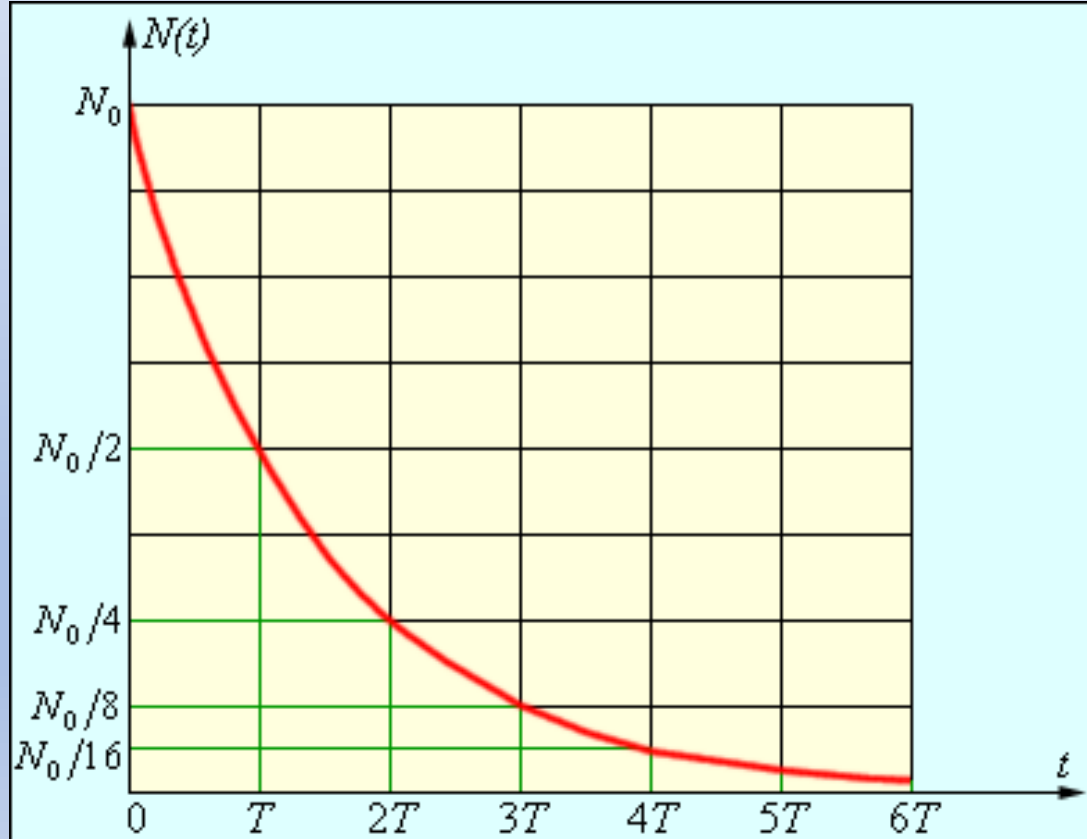
$$dN = -\lambda N dt \quad [\lambda] = c^{-1}$$

$$\lambda = \frac{dW}{dt} = \frac{dN}{N dt}$$

$$-\lambda dt = \frac{dN}{N}$$

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

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



# АКТИВНІСТЬ ПРЕПАРАТУ

$$A = -\frac{dN}{dt}$$

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

$$A_0 = \lambda N_0$$

$$[A] = \frac{1 \text{ розпад}}{1 \text{ с}} = 1 \text{ Бк}$$

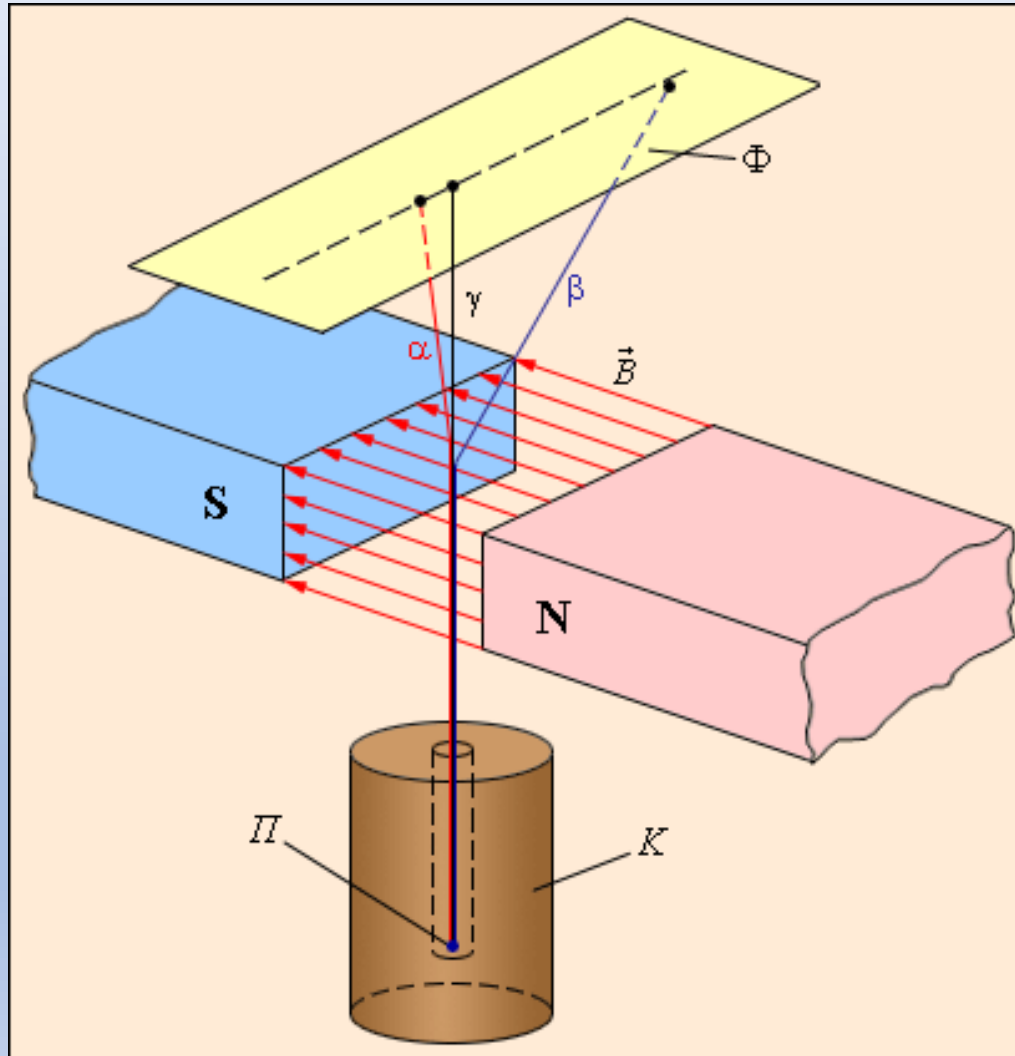
$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$$

Зображення фотопластинки Бекереля, яка була засвічена випромінюванням солей урану. Ясно видно тінь металевого мальтійського хреста, який знаходився між пластинкою і сіллю урану.





# Схема експерименту Резерфорда з виявлення складної структури радіоактивного випромінювання



К – свинцевий контейнер,

П – радіоактивний препарат,

Φ – фотопластинка,

В – магнітне поле.

$$\alpha = {}^4_2\text{He}$$

$$\beta = {}^0_{-1}e, {}^0_1e$$

$\gamma$  Жорстке електромагнітне випромінювання

# ЯДЕРНІ РЕАКЦІЇ

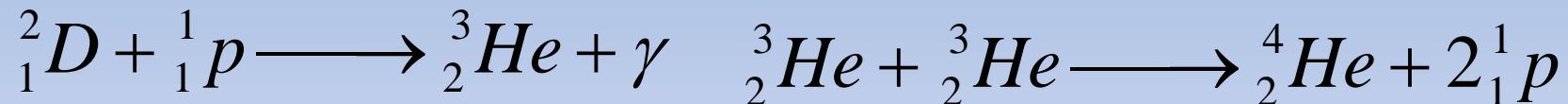
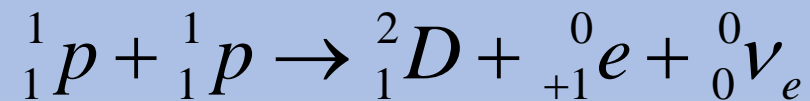
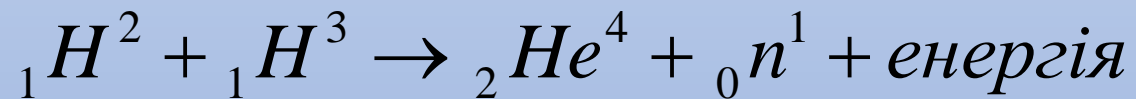


$$Q = \Delta mc^2 \quad N_7^{14}(\alpha, p)O_8^{17}$$

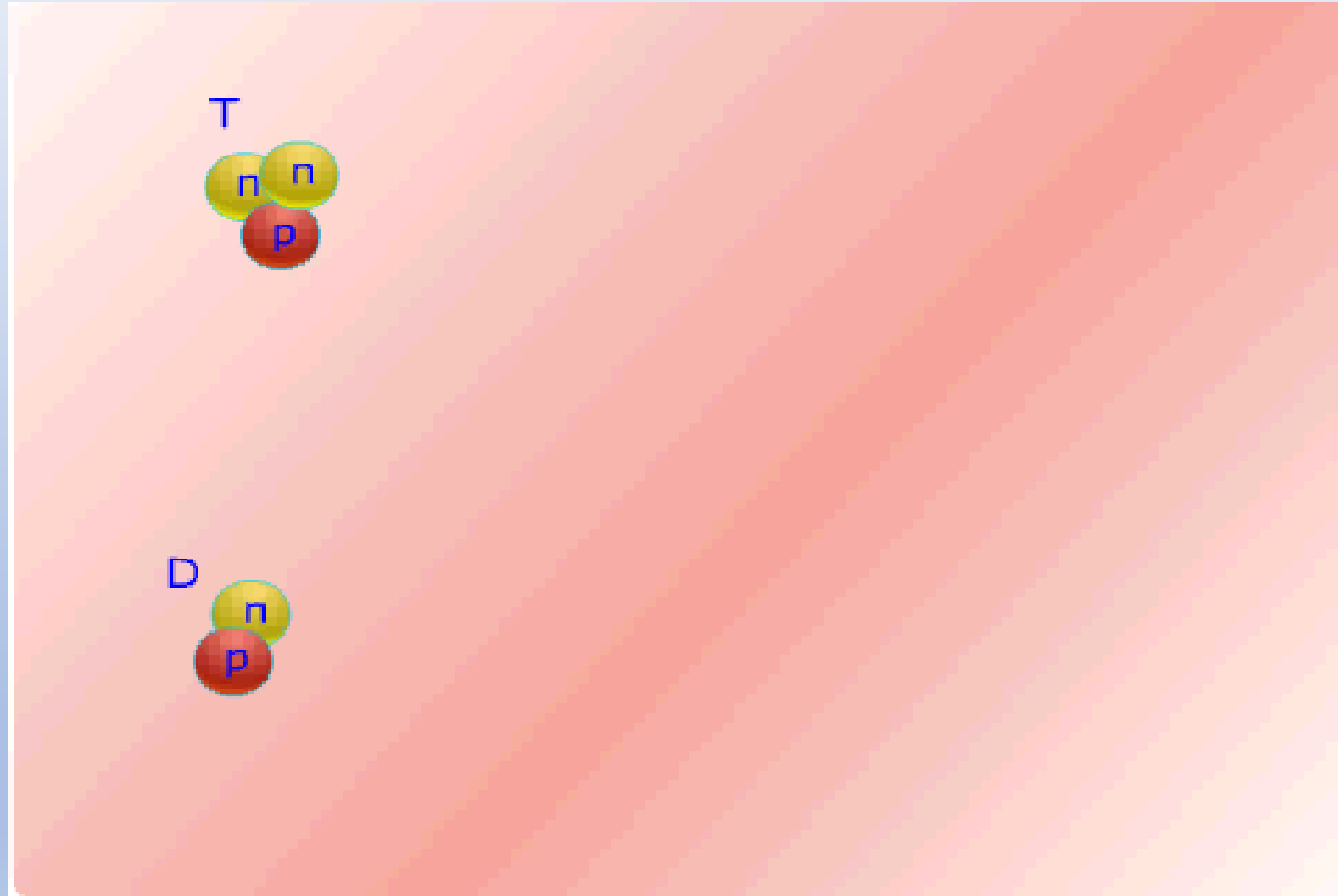
## Ядерний синтез



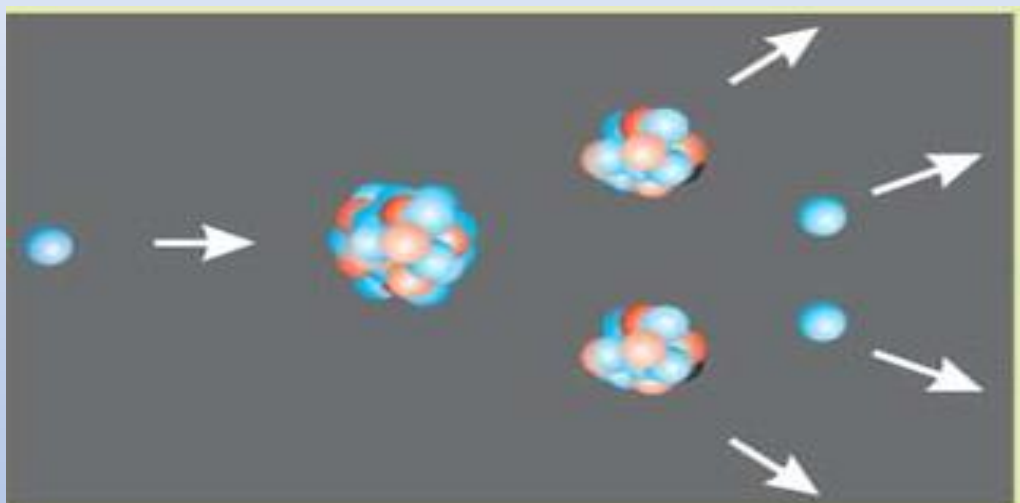
$$Q = 17,6 \text{ MeV}$$



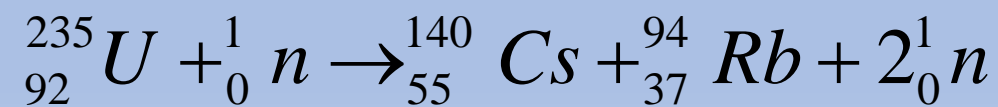
# Ядерный синтез



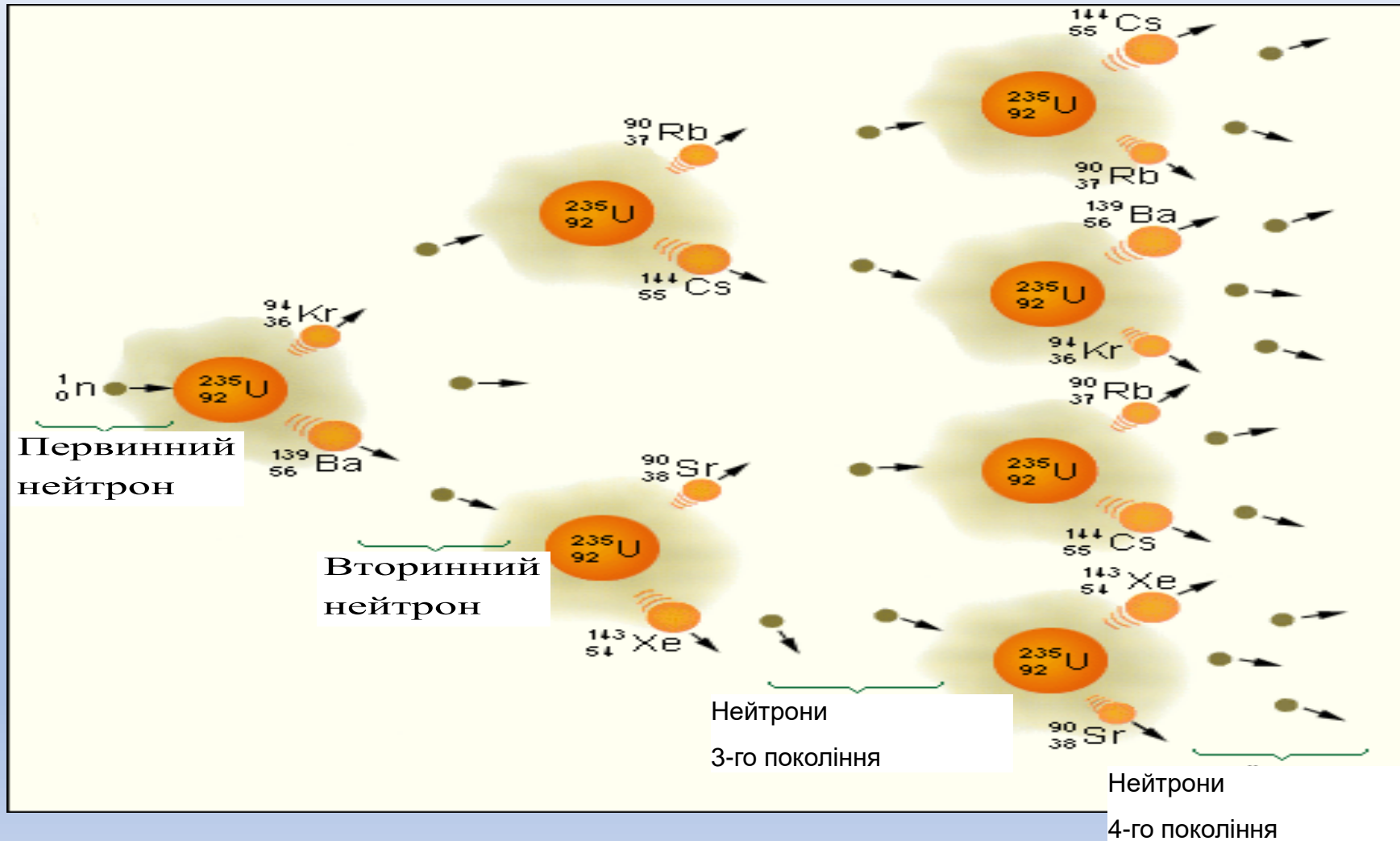
# Ядерний поділ



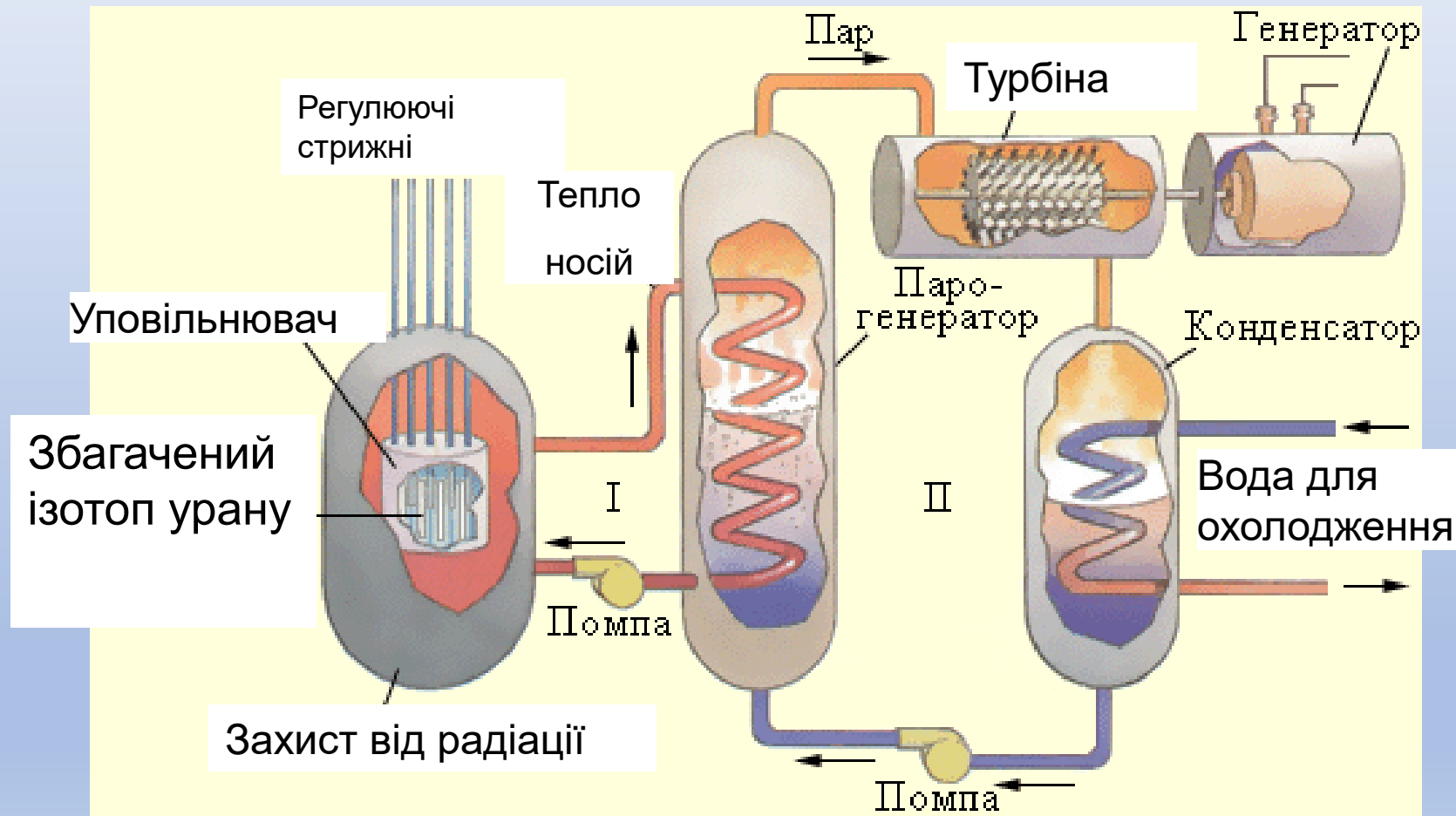
$$Q = 17,6\text{MeV}$$



# Ланцюгова ядерна реакція



# схема будови ядерного реактора

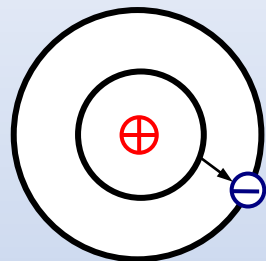


# ВЛАСТИВОСТІ РАДІОАКТИВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

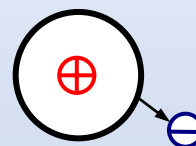
Проникна та іонізуюча здатність радіоактивного випромінювання

# Властивості іонізуючого випромінювання

Основні процеси, які супроводжують проходження швидких заряджених частинок через речовину



Збудження



Іонізація

Довжина пробігу альфа- та бета-частинок у повітрі і воді

Енергія частинок		0,5 MeV	5 MeV
Повітря	$\alpha$	0,3 см	3,5 см
	$\beta$	2,5 м	25 м
Вода	$\alpha$	0,004 мм	0,045 мм
	$\beta$	2,6 мм	26 мм



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



Фотоефект

Ефект Комптона

Народження пари

### ПОГЛИНАННЯ ГАММА-ВИПРОМІНЮВАННЯ У РЕЧОВИНІ

Енергія гамма-квантів	Товщина шару речовини, яка послаблює потік гамма-випромінювання у десять разу		
	Вода	Бетон	Свинець
0,5MeV	24 см	12 см	1,3 см
1,0MeV	33 см	16 см	2,9 см
5,0MeV	76 см	36 см	4,7 см

$$\alpha = {}^4_2\text{He}$$

Пробіг у повітрі в залежності енергії частинки коливається від 2,5 до 8 см. У тканинах організму вони проникають на глибину до однієї десятої частки мм. Однак на своєму відносно незначному шляху пробігу в повітрі альфа-частинка разом із вторинними електронами створює від 100 до 250 тис. пар іонів. На 1 см. пробігу це складає до 40 тис. пар іонів, що характеризується як винятково висока густина іонізації.

**Захист**

$$\beta = {}^0_{-1}\text{e}, {}^0_1\text{e}$$

У залежності від енергії пробіг бета-частинок у повітрі має порядок від десятків см до декількох метрів. У тканинах організму бета-частинки проходять на глибину до 10-15 мм. На шляху пробігу в повітрі бета-частинка створює від 1 до 25 тис. пар іонів, що складає до 40-50 пар іонів на 1 см пробігу.

**Захист**

$\gamma$  - жорстке електромагнітне випромінювання

Пробіг їх у повітрі складає десятки і навіть сотні метрів. У тканинах організму гамма-випромінювання проникає на велику глибину чи проходить наскрізь тіло людини. Первинна іонізуюча здатність гамма-фотонів невисока: на шляху пробігу гамма-фотон утворює від 10 до 250 пар іонів, що складає усього кілька пар іонів на 1 см пробігу. Це пов'язано з відсутністю в них електричного заряду. Однак повний іонізаційний ефект від гама випромінювання з урахуванням іонізуючої дії електронів, які були вибиті з атому при зіткненні з фотоном і отримали при цьому досить високу енергію, може бути дуже значним.

**Захист**

# Біологічна дія радіації



Хвилі радіаційного випромінювання, череп з костями, чоловічок із стрілкою, який втікає, і все це в червоному трикутнику із чорною рамкою — такий новий символ радіаційної небезпеки, затверджений Міжнародним агентством з атомної енергії (IAEA) і Міжнародною організацією з стандартизації (ISO).



У МАГАТЕ вважають, що традиційний "трилисник" не підходить для інтуїтивного розуміння, але відмовлятися від нього зовсім не зважилися. Додавання елементів у міжнародний символ стане додатковим попередженням, допоможе знизити кількість викликаних радіацією смертельних випадків, захворювань, підвищить безпеку й так далі.

# Біологічна дія радіації

Оскільки людський організм не менше ніж на 70% складається з води, то іонізуюче випромінювання викликає радіоліз води, що призводить до утворення ненасичених (вільних) радикалів



які запускають цілу низку послідовних біохімічних реакцій та поступово руйнують клітинні мембрани. Первинні процеси іонізації не викликають великих порушень у тканинах. Токсична дія випромінювання пов'язана із вторинними реакціями, при яких відбувається розрив зв'язків усередині складних органічних молекул внаслідок дії вільних радикалів.

## Вплив радіації на живі організми викликає три негативних ефекти:

**Соматичний (імунний) ефект** – це патологічні наслідки опромінення для окремої людини, виявляється тільки після того як отримана доза стане більшою за певну так звану **гранично допустиму дозу**. Як правило за допустиму дозу вважають 0,3 Бер на тиждень для опромінення всього тіла. Таким чином, людина яка опромінюється в таких дозах до 30 років отримає дозу близько 450 Бер. Але така сама доза, отримана людиною до 30 років при однократному опромінюванні в 50% випадків виявляється смертельною.

**Генетичний ефект для спадкоємних (статевих) клітин** організму, він проявляється тільки в потомстві у вигляді народження дітей з різними відхиленнями від норми.

**Генетичний ефект для спадкоємного апарату для соматичних клітин тіла.** Він проявляється під час життя конкретної людини у вигляді різних (переважно ракових) захворювань.

# ЕЛЕМЕНТИ ДОЗИМЕТРІЇ

- *Одиниці радіоактивності 1Бк, 1Ки.*

## І **Доза опромінення**

- Одиницею дози опромінення є 1 рентген (1Р).

1Р відповідає дозі опромінення, при якій в  $1\text{см}^3$  сухого повітря за нормальних умов утворюється пар іонів.  $2,08 \cdot 10^9$

- **II Доза поглинання.**
- Дія радіоактивного випромінювання на біо-об'єкти характеризується дозою поглинання.
- **Одиницями дози поглинання є 1Грей =1Дж/кг, 1 рад=0,01Грей.**
- **III Біологічна доза.**
- При тій самій дозі поглинання біологічна дія різних типів випромінювання залежить від виду випромінювання, розміру опроміненої поверхні, відносної чутливості органів, які зазнали опромінення, індивідуальних особливостей організму. Крім того, біологічний ефект залежить від локальної густини іонізації. Таким чином, біологічний ефект для тієї самої дози поглинання у випадку важких радіоактивних частинок є значно більшим, ніж ефект, який створюють рентгенівські промені, гамма-промені чи бета -частинки.
- **Відносна біологічна ефективність випромінювання** – це показник, за допомогою якого визначають, у скільки разів біологічна дія іонізуючих випромінювань даного типу (наприклад альфа-, бета-промені, нейтрони і т.і.) більша (або менша) за дію на той самий біологічний об'єкт стандартного випромінювання (жорсткі рентгенівські та гамма-промені).
- **Одиницями біологічної дози є 1Бер, 1 Рем та 1 Зіверт.**
- В той час, як у радах і греях вимірюють накопичення енергії в тканинах, Бери, реми і зіверти вимірюють біологічну дію.



# Відносна біологічна ефективність випромінювання

Тип радіації	ВБЕ
Рентгенівські промені та гамма - випромінювання до 3 MeV, бета - частинки	1
Теплові нейтрони	5
Протони і дейтрони	10
Швидкі нейтрони	10
Альфа - частинки	20

## Одиниці СІ доз іонізуючого випромінювання

Найменування величини	Одиниці		
	Назва	Познач.	Визначення
Експозиційна доза опромінення	Кулон на кілограм	$Kл/кг$	дорівнює експозиційній дозі рентгенівського та гамма-випромінювання, при якій у одному кілограмі сухого атмосферного повітря утворюються іони, електричний заряд кожного знаку яких дорівнює $1Kл$
Потужність експозиційної дози	Ампер на кілограм	$A/кг$	дорівнює потужності експозиційної дози рентгенівського та гамма-випромінювання, при якій за час $1с$ сухому атмосферному повітрю передається експозиційна доза опромінення
Поглинена доза опромінення	Грей	$Гр$	дорівнює поглиненій дозі опромінення, при якій опроміненій речовині масою $1 кг$ передається енергія іоніз. випромінювання $1 Дж$
Потужність поглиненої дози	Грей за секунду	$Гр/с$	дорівнює потужності поглиненої дози опромінення при якій за час $1с$ опроміненою речовиною поглинається доза опромінення $1 Гр$
Еквівалентна доза опромінення	Зіверт	$Зв$	дорівнює еквівалентній дозі опромінення, при якій поглинута доза дорівнює $1Гр$ і коефіцієнт ВБЕ дорівнює одиниці
Потужність еквівалентної дози	Зіверт за секунду	$Зв/с$	дорівнює потужності еквівалентної дози опромінення, при якій за час $1с$ опроміненою речовиною поглинається доза еквів. доза $1 Зв$

**Зв'язок одиниць дози опромінення СІ  
з позасистемними одиницями**

**1 рентген =  $1R = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$**

**Біологічний еквівалент рентгена (бер)  $1\text{бер} = 0,013\text{в}$**

**Експозиційній дозі 1R рентгенівського та гамма-  
випромінювання відповідає еквівалентна доза  
 $\approx 0,013\text{в}$**

**1 Бер (біологічний еквівалент рентгена) або 1 Рем (радіаційний еквівалент людини, від англ):**

$$1\text{Бер} = 1\text{рад} \times \text{ВБЕ}$$

**Граничні дози** складають 2 рем/рік для персоналу та 500 мілірем/рік для населення.

**Зіверт:** одиниця вимірювання еквівалентної дози

$$1\text{Зв} = 100\text{Рем} = 100\text{Бер}$$

**Людино- зіверт:** доза для населення, що визначається як сума індивідуальних доз населення.

# Поглинута доза йонізуючого випромінювання

**Поглинута доза йонізуючого випромінювання** — це фізична величина, яка чисельно дорівнює енергії йонізуючого випромінювання, поглинутій речовиною одиничної маси.

$$D = \frac{E}{m}$$

де  $E$  — енергія іонізуючого випромінювання, передана речовині масою  $m$ .

# ПОГЛИНУТА ТА ЕКВІВАЛЕНТНА ДОЗИ ЙОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Одиниця поглиненої дози випромінювання в СІ — грей:

$$[D] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} = 1 \text{ Гр} \quad \leftarrow \quad D = \frac{E}{m}$$

1 Гр — це така поглинута доза йонізуючого випромінювання, за якої речовині масою 1 кг передається енергія йонізуючого випромінювання, що дорівнює 1 Дж.

**Рад** (*rad* — *radiation absorbed dose* — поглинута доза радіації).

$$1 \text{ грей} = 100 \text{ рад.}$$

# ПОГЛИНУТА ТА ЕКВІВАЛЕНТНА ДОЗИ ЙОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

## Поглинена доза випромінювання залежить від:

- • роду опромінюваної речовини
- • виду джерела випромінювання
- • часу опромінення

**Чим більший час опромінення, тим більшою  
є поглинена доза.**

**Поглинена доза накопичується з часом.**

## ПОГЛИНУТА ТА ЕКВІВАЛЕНТНА ДОЗИ ЙОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

**Потужність поглиненої дози випромінювання** – відношення збільшення поглиненої дози випромінювання за інтервал часу до тривалості цього інтервалу.

$$P_D = \frac{D}{t}$$

де  $D$  – доза поглиненого випромінювання,  
 $t$  – час випромінювання.



## ПОГЛИНУТА ТА ЕКВІВАЛЕНТНА ДОЗИ ЙОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Для оцінювання випромінювання в повітрі застосовують величину експозиційної дози.

**Експозиційна доза** – міра йонізації повітря, що дорівнює відношенню сумарного електричного заряду йонів одного знака, утвореного йонізуючим випромінюванням, до маси 1 кг повітря.

$$[D_e] = 1 \frac{\text{Кл}}{\text{кг}} \quad \leftarrow \quad D_e = \frac{q}{m}$$

У СІ експозиційну дозу вимірюють у 1 Кл/кг.

1 Кл/кг – експозиційна доза випромінювання, за якої сумарний заряд всіх йонів одного знака, що утворився в 1 кг повітря, дорівнює 1 Кл.

## ПОГЛИНУТА ТА ЕКВІВАЛЕНТНА ДОЗИ ЙОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Іноді використовують позасистемну одиницю експозиційної дози **рентген (Р)**.

Рентген розглядається як одиниця, що визначає іонізуючу здатність рентгенівського і гамма-випромінювань у  $1 \text{ см}^3$  повітря.

$$1 P = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл} / \text{кг}$$

# ПОГЛИНУТА ТА ЕКВІВАЛЕНТНА ДОЗИ ЙОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

**Еквівалентна доза йонізуючого випромінювання** дорівнює поглинутій дозі  $D$ , помноженій на коефіцієнт якості  $K$ :

$$H = K \cdot D$$

У СІ одиниця еквівалентної дози – **зиверт** (1 Зв).  
1 Зв дорівнює еквівалентній дозі, за якої доза поглиненого  $\gamma$ -випромінювання дорівнює 1 Гр.  
100 бер - 1 зиверт

За однакової енергії  $\alpha$ -випромінювання є значно безпечнішим, ніж  $\beta$ - або  $\gamma$ -випромінювання.

*Коефіцієнти якості деяких видів йонізуючого випромінювання*

Вид випромінювання	Коефіцієнт якості ( $K$ )
$\alpha$ -випромінювання	20
$\beta$ -випромінювання	1
$\gamma$ -випромінювання	1
Нейтрони	5–10
Протони	5

## Гранично припустима доза опромінення

Гранично припустима доза опромінення —  
**0,05 Гр** на рік.

Доза загального опромінення у **2 Гр** призводить  
до променевої хвороби.

Доза в **6—8 Гр** є смертельною.

## Радіаційний фон

- космічне випромінювання;
- випромінювання природних радіонуклідів, які містяться у земній корі, повітрі та інших об'єктах зовнішнього середовища;
- випромінювання штучних радіоактивних ізотопів.

Випромінювання природних радіонуклідів та космічне випромінювання створюють **природний радіаційний фон**.

Природний радіаційний фон має бути не вищим за **25 мкР/год**.

# ПОГЛИНУТА ТА ЕКВІВАЛЕНТНА ДОЗИ ЙОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

## Середні еквівалентні дози йонізуючого випромінювання, що отримує людина протягом року від деяких джерел радіації

Джерела радіації	Середня еквівалентна доза $H$ , мбер
Космічне випромінювання	35
Зовнішнє природне опромінення	35
Внутрішнє природне опромінення	135
Будівельні матеріали	140
Медичні дослідження	140
Телевізори та монітори	0,1
Ядерні випробування	2,5
Атомна енергетика	0,2

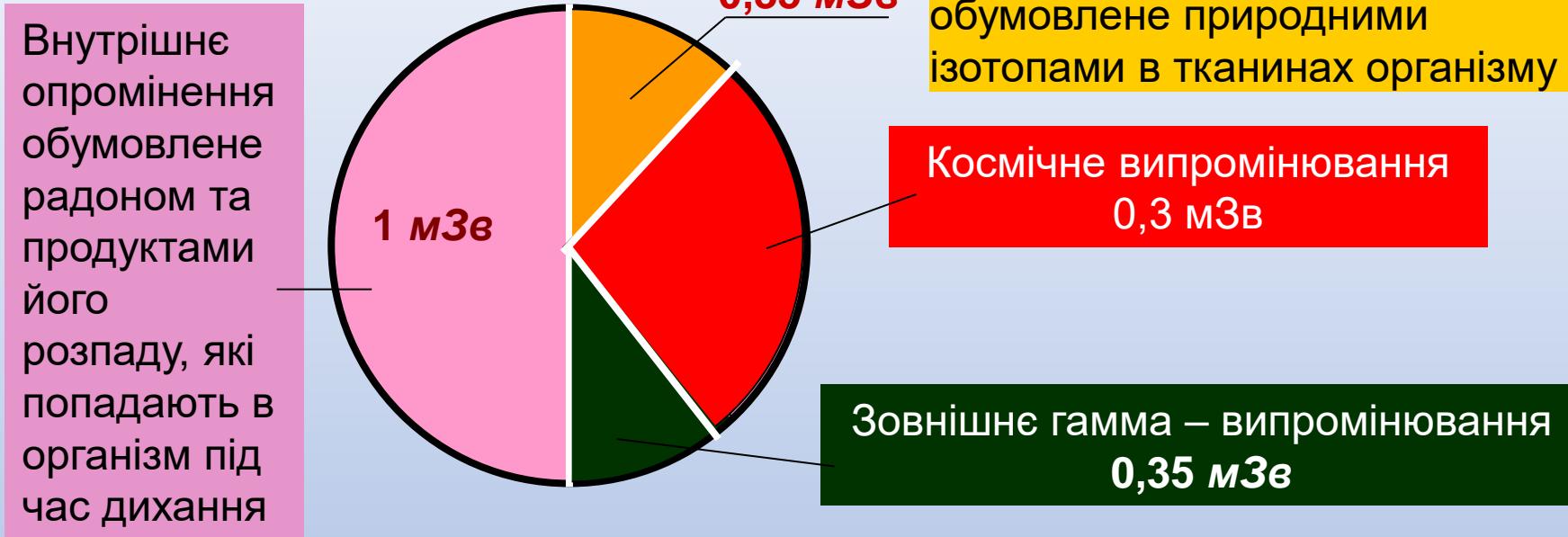
## Гранично допустима доза

За гранично допустиму дозу вважають **0,3 Бер на тиждень** для опромінення всього тіла. Таким чином, людина яка опромінюється в таких дозах до 30 років отримає дозу близько **450 Бер**. Але така сама доза, отримана людиною при однократному опромінюванні в 50% випадків виявляється смертельною.

Для **генетичних ефектів**, які проявляються в різних аномаліях або відхиленнях від правильного розвитку потомства (мутації) не існує граничної дози. Ефекти, обумовлені мутаціями мають властивість кумулятивності і їх прояв спостерігається при дуже слабких дозах. Вірогідно, що такою є і канцерогенна дія радіації. Вважається, що підсумкова доза радіації на одну людину не має перевищувати до 30- річного віку 10 Бер.

## Допустимі та небезпечні дози опромінення

### Природні джерела радіації



Середня загальна еквівалентна доза опромінення від природних джерел радіації дорівнює **2 мЗв/рік або 0,2 бер /рік**

### Гранично допустимі еквівалентні дози опромінення

Для професіоналів	за рік	50 мЗв (5 бер)
Для населення	за рік	5 мЗв (0,5 бер)



## ***Небезпечні дози однократного загального опромінення***

**Загибель окремих клітин крові та полових клітин**

***0,1 - 0,5 Зв (10 – 50 бер)***

**Порушення у роботі кровотворної системи**

***0,5 - 1 Зв (50 – 100 бер)***

**Гостра променева хвороба (50% смертельних випадків)**

***3 - 5 Зв (300 – 500 бер)***

ЕЛЕМЕНТАРНІ ЧАСТИНКИ

# ***Властивості елементарних частинок***

**1 Здатність до взаємних перетворень.**

**2 Кожна елементарна частинка має античастинку.**

**анігіляція** (зникнення)

***3 Час життя.***

**4 Маса та розмір.**

**5 Спін.**

**6 Електричний заряд.**

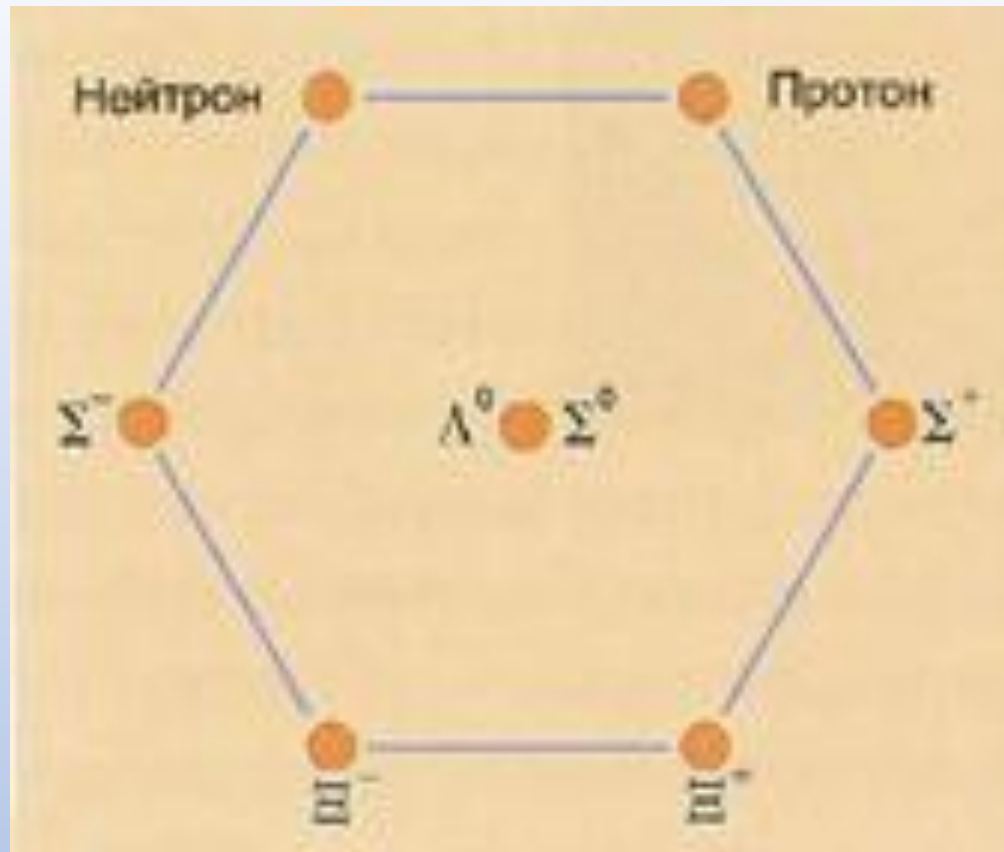
# Класифікація елементарних частинок

*лептони і адрони.*

***мезонів** (піони, каони і т.п.)  
і клас **баріонів***

# Класифікація елементарних частинок

ЛЕПТОНИ				
Назва частинки	спін	Маса спокою, MeV	Час життя, с	Електрич заряд,  e
Електронне нейтрино $\nu_e$	1/2	0	Стабільне	0
Електрон $e^-$	1/2	0,511	Стабільний	-1
Мюонне нейтрино $\nu_\mu$	1/2	0	Стабільне	0
Мюон $\mu^-$	1/2	106,6	$2 \cdot 10^{-6}$	-1
Тау – нейтрино $\nu_\tau$	1/2	<164	Стабільне	0
Тау – лептон $\tau^-$	1/2	1784	$3 \cdot 10^{-12}$	-1



**Схематичне зображення однієї з восьмирічних груп адронів.**

**В нижньому ряду — два ксі - гіперона (від'ємно та й додатньо заряджені); в середньому ряду — три сигма - гіперона й парний нейтральному сигма - гіперону лямбда - гіперон; у верхньому ряду — нейтрон й протон.**



Спочатку кварки були трьох сортів, або, як тепер кажуть, "ароматів", **u-кварк** - "верхній", **d-кварк** - "нижній" і **s-кварк** - "дивний". пізніше до них приєднався ще один - **"зачарований", c-кварк**.

Смішні картинки, що зображують ці дивні частинки, придумав теж фізик - А. Де-Рухула.

Крім ароматів, кварки мають ще три **"кольори"**, так що всього їх тепер стало **дванадцять** (і стільки ж антикварків). Із цих частинок, користуючись простими правилами, вдається побудувати майже всі відомі елементарні частинки.

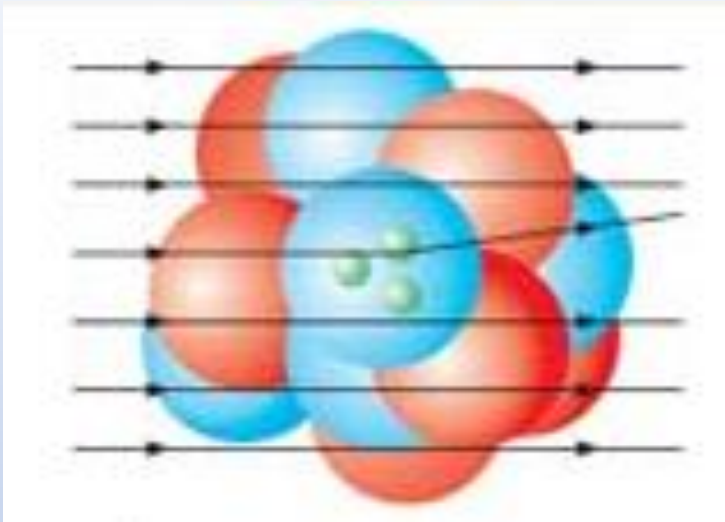


# Кваркова модель адронів

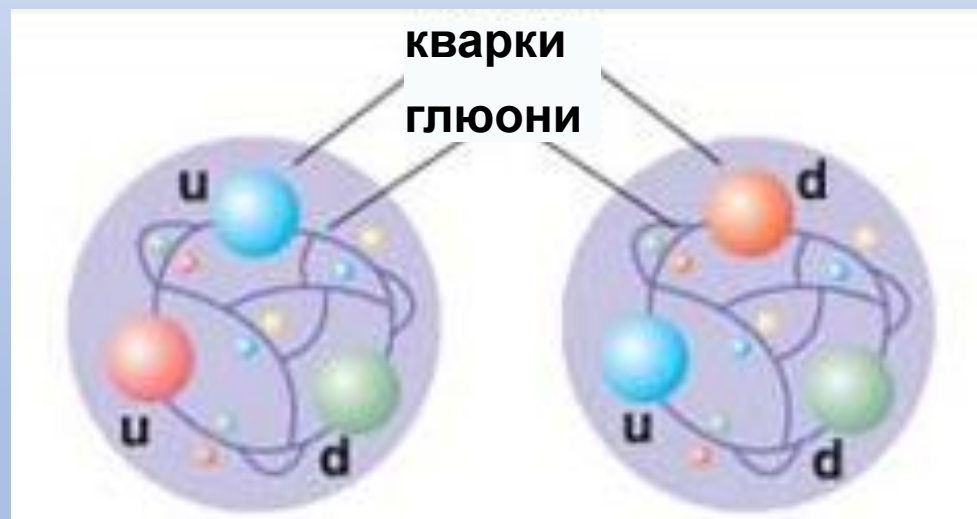
Назва	Позначення	Колір (синій, зелений, червоний)	Маса спокою, MeV	Електричний заряд, /e/
UP (верхній)		$u_c, u_s, u_d$	310	+2/3
Down (нижній)		$d_c, d_s, d_d$	310	-1/3
Charm (зачарований)		$c_c, c_s, c_d$	1500	+2/3

# Фундаментальні взаємодії

	Сильна	Електромагнітна	Слабка	Гравітаційна
Частинки, що взаємодіють	Кварки, нуклони	Частинки з електричними зарядами	Кварки, лептони	Усі частинки
Радіус дії сил	$10^{-15}$ м	$\infty$	$10^{-17}$ м	$\infty$
Відносна сила взаємодії	1	$10^{-2}$	$10^{-7}$	$10^{-39}$
Частинки – носії взаємодії	Глюони, мезони	Фотони	Проміжні бозони	Гравітони?



***Розсіювання електронів  
всередині ядра***






**Протон**

**Нейтрон**

**Характер розсіювання швидких електронів на протонах свідчить про наявність всередині протону трьох точкових центрів розсіювання з зарядами  $1/3e$  та  $+2/3e$ , що повністю узгоджується з кварковою моделлю атому.**

**Різноманітні експерименти, виконані на потужних прискорювачах призвели до відкриття все нових і нових мезонів, для пояснення існування яких знадобився ще один кварк, що має новий аромат - **красу (beauty)**. Більше того, теоретики впевнені у існуванні ще одного кварка, більш важкого за всі інші. Для нього навіть придумали назву **t-кварк (truth — правдивий)**.**

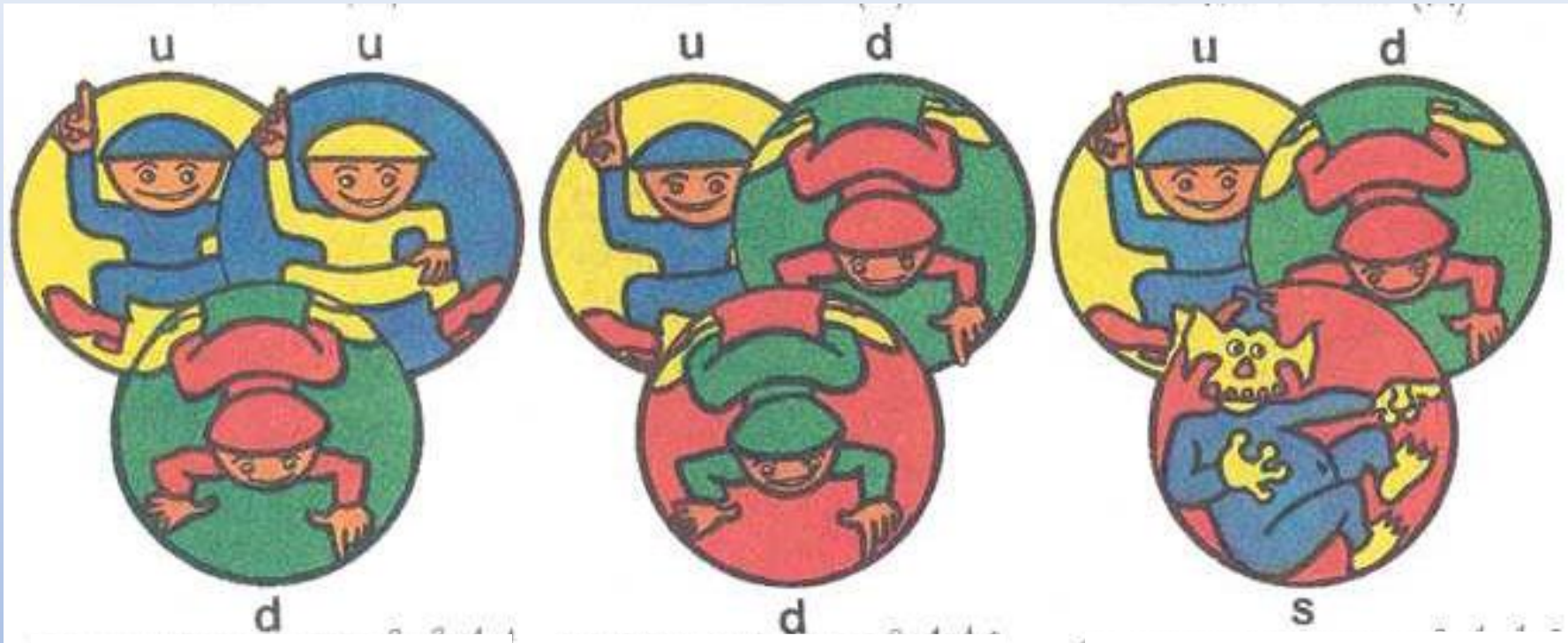
Назва	Позначення	Колір (синій, зелений, червоний)	Маса спокою, MeV	Електрич. Заряд,  e
Strange (Дивний)		$s_c, s_{\bar{c}}, s_{\div}$	505	-1/3
Top Truth (Правдивий)		$t_c, t_{\bar{c}}, t_{\div}$	>2250	+2/3
Botton beuty (красивий)		$b_c, b_{\bar{c}}, b_{\div}$	5000	-1/3

## БАРІОНИ

протон (p)

нейтрон (n)

лябда – баріон

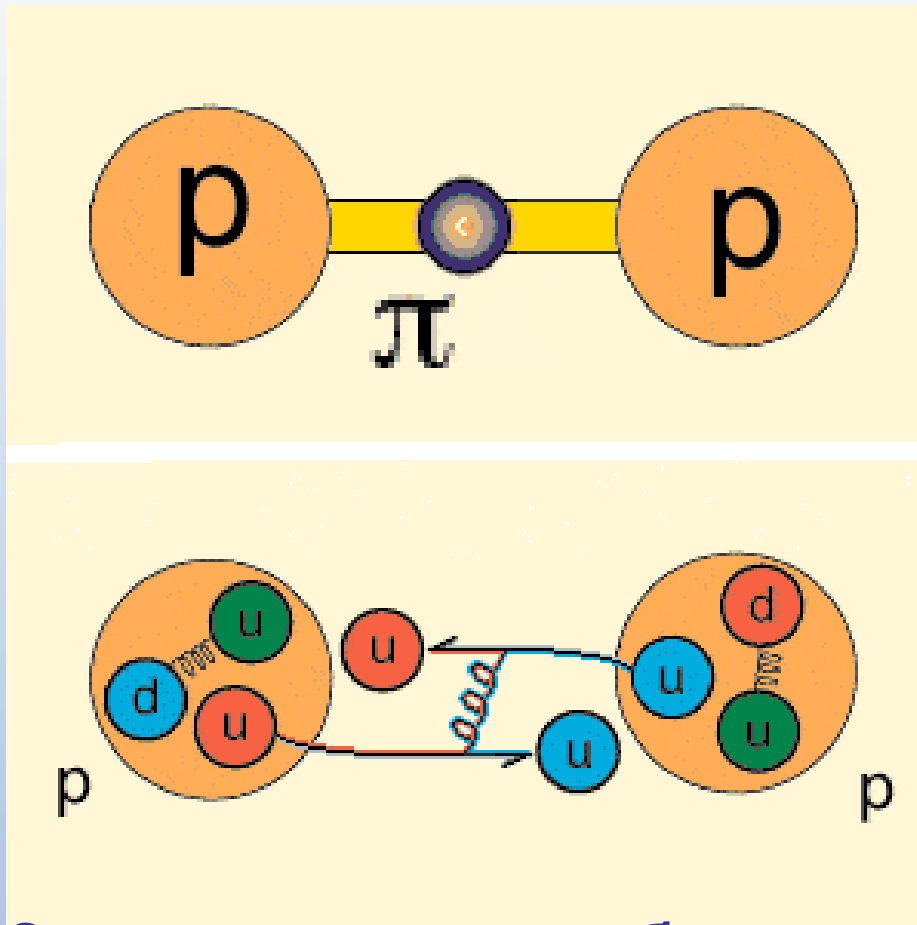


Електричний заряд  
 $\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = 1$

Електричний заряд  
 $\frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0$

Електричний заряд  
 $\frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0$

Дивність  $0 + 0 - 1 = -1$



Схематичне зображення того, як ядерні сили пояснюються в КХД (зображение з сайту [www.tfn.net](http://www.tfn.net))

Кварки всередині нуклонів (а також усіх інших сильно взаємодіючих частинок — *адронів*) зв'язані глюонами, переносниками сильної взаємодії. Сили, що утримують нуклони ядрах, - це «вторинні» явища, сумарний результат колективних процесів кварків і глюонів



<p>1990 Нобелівська премія з фізики</p>	<p><i>Джером Фрідман, Генрі Кендалл та Річард Тейлор</i></p>	<p>«За піонерські дослідження глибоко непружного розсіювання електронів на протонах і зв'язаних нейтронах, істотно важливих для розробки <b>кваркової</b> моделі у фізиці частинок».</p>
<p>2004 Нобелівська премія з фізики</p>	<p><i>Девід Гросс, Девід Політцер та Френк Вільчек</i></p>	<p>«За відкриття довільності асимптотики в <b>теорії сильної взаємодії</b>". Це дослідження в області ядерної фізики, зокрема, прискорення частинок.</p>



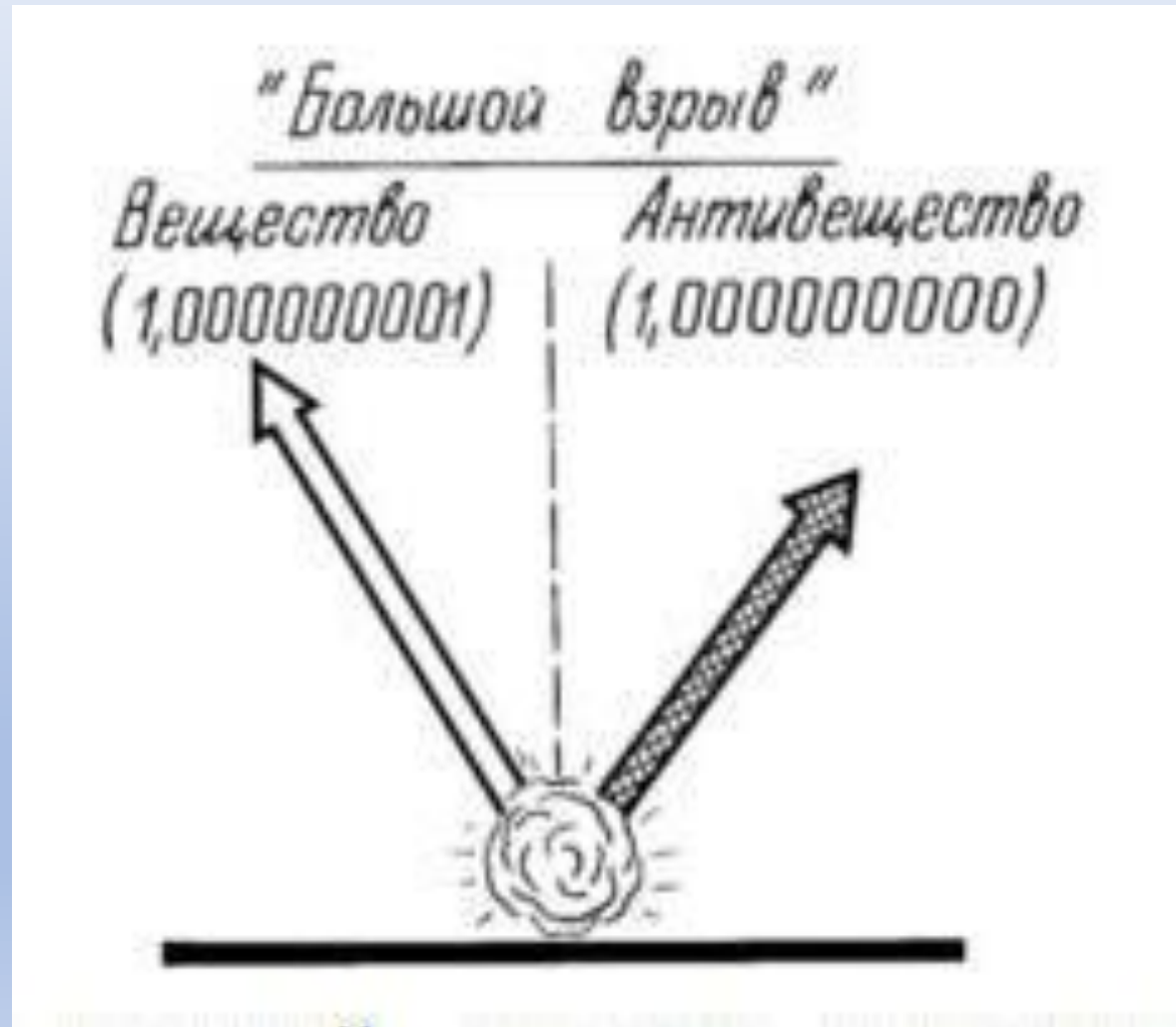
# Стандартна модель елементарних частинок

Три покоління матерії (Фермиони)							
				I	II	III	
масса →	2,4 МэВ	1,27 ГэВ	171,2 ГэВ				0
заряд →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$				0
спин →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$				1
название →	верхний	очаровательный	истинный				фотон
Кварки	4,8 МэВ	104 МэВ	4,2 ГэВ				0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$				0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$				1
	нижний	странный	прелестный				глюон
Лептоны	<2,2 эВ	<0,17 МэВ	<15,5 МэВ				91,2 ГэВ
	0	0	0				0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$				1
	электронное нейтрино	мюонное нейтрино	тау нейтрино				слабое взаимодействие
	0,511 МэВ	105,7 МэВ	1,777 ГэВ				80,4 ГэВ
	-1	-1	-1				$\pm 1$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$				1
	электрон	мюон	тау				слабое взаимодействие
				Бозоны (переносчики взаимодействия)			

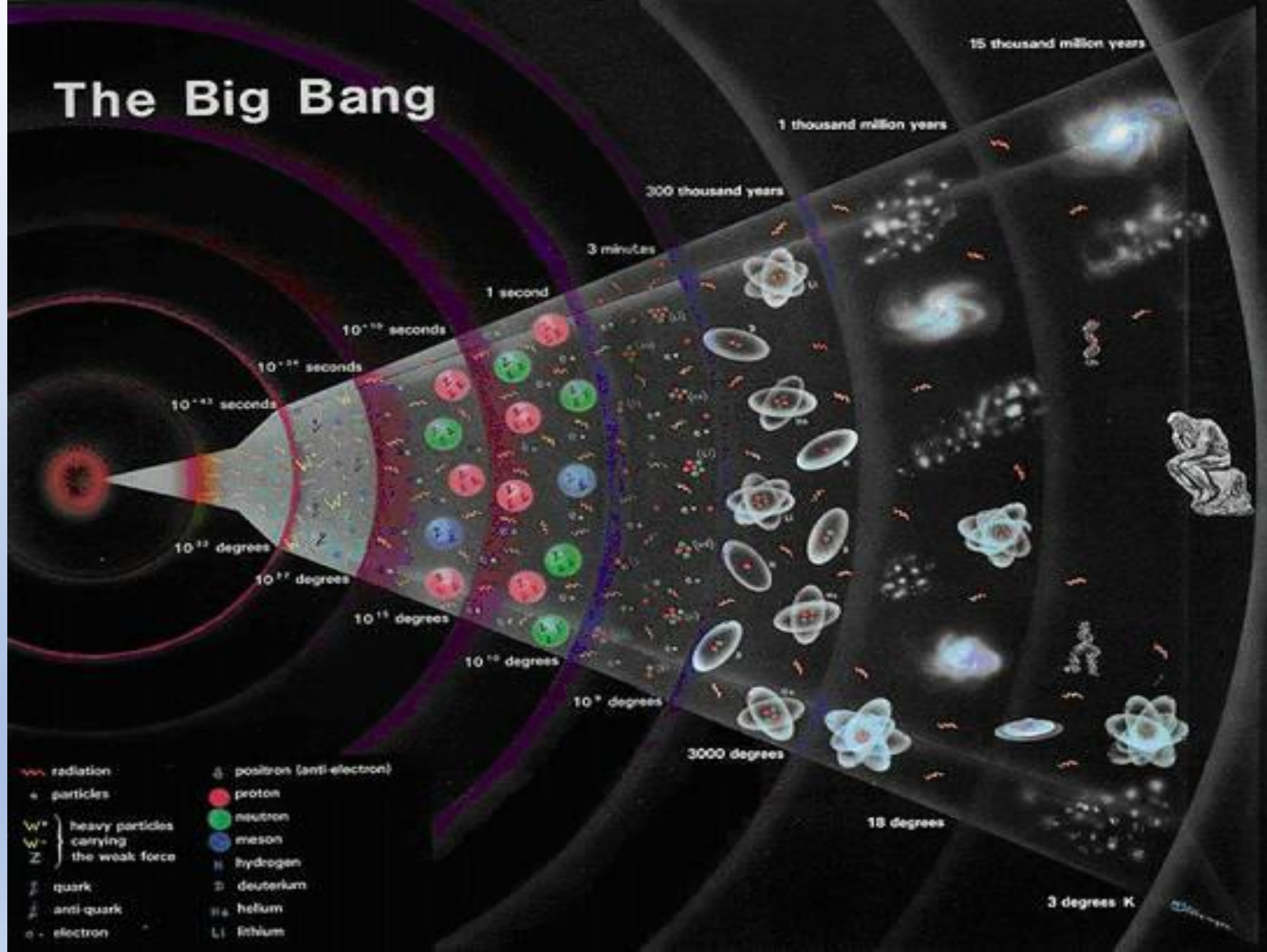
# *Фундаментальні частинки*

- 6 лептонів і 6 антілептонів
- 18 кварків ( 6 кварків 3 кольори) і 18 антیکварків
- 13 переносників різних видів взаємодії

# Теорія Великого Вибуху

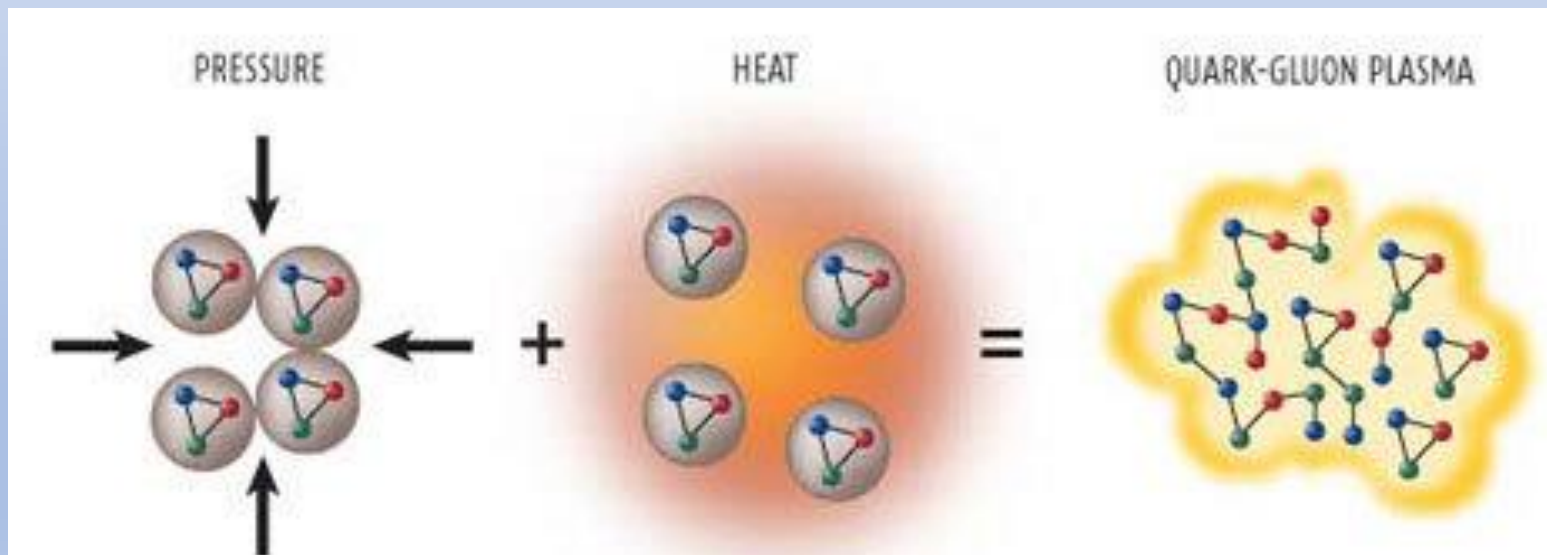


# The Big Bang



**Великий Вибух** руками фізиків - ядерників: підтверджено створення кварк-глюонної плазми. **Кварк глюонна плазма** – це особливий гіпотетичний стан матерії, при якому кварки, які входять до складу адронів і які у вільному стані в сучасному Всесвіті не зустрічаються, немов би звільнюються і можуть переміщуватися по об'єму ядерної речовини і обмінюватися глюонами. Згідно до сучасних теорій, кварк-глюонна плазма існувала тільки у перші  $10^{-5}$  с після Великого Вибуху (такий своєрідний надзвичайно гарячий та густий "суп").

(CERN, Швейцарія) та ([Brookhaven National Laboratory](#), США)



Ваші питання?!