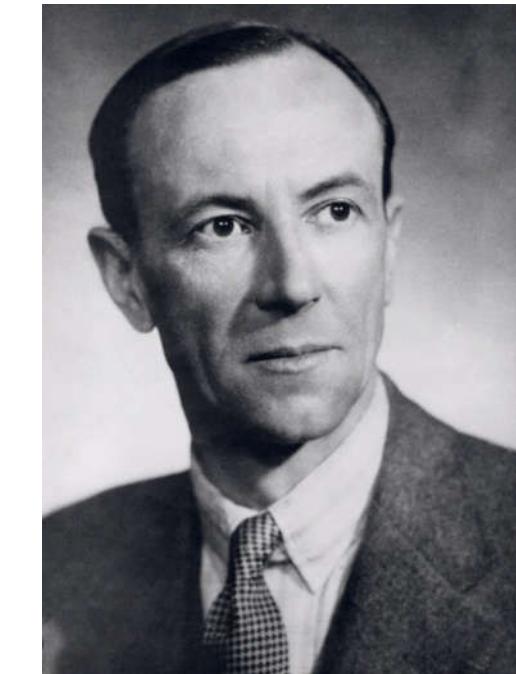
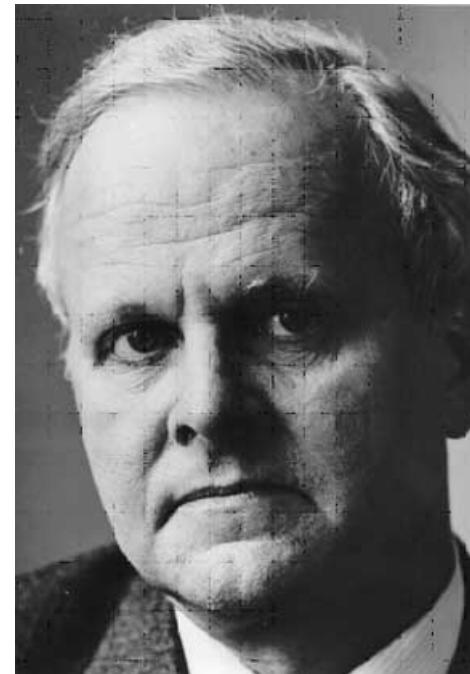


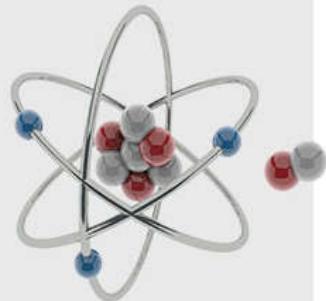
Елементи ядерної фізики



Будова атомного ядра. Ізотопи, ізобари, ізотони. Енергія зв'язку. Ядерні сили



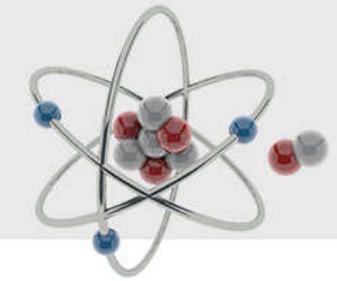
Карл Фрідріх фон
Вайцзеккер



Джеймс
Чедвік

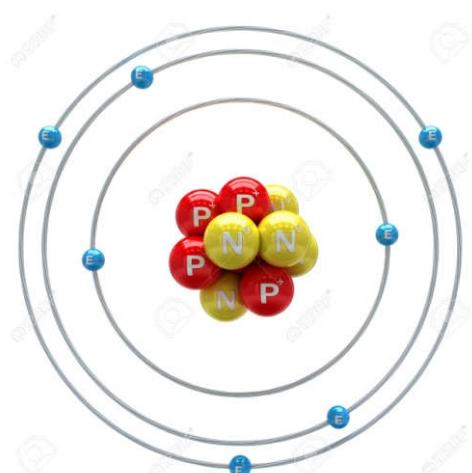


Дмитро
Іваненко



Вerner
Гайзенберг

ядро атому складається з протонів та
нейтронів (нуклонів)



$$m_p \approx 1836,2 m_e \approx 938,3 \text{ MeV}$$

$$q_p \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

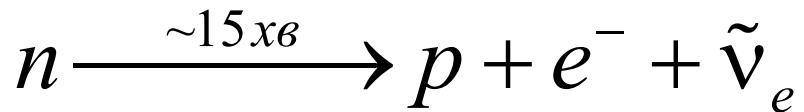
$$s_p \approx 1/2$$

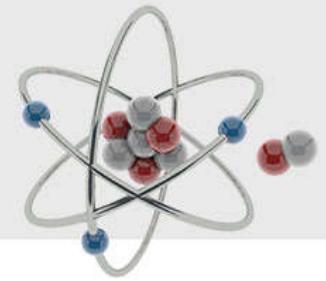
$$m_n \approx 1838,7 m_e \approx 939,6 \text{ MeV}$$

$$q_n \approx 0$$

$$s_n \approx 1/2$$

а.о.и $\frac{1}{12} {}^{12}\text{C} \approx 931,5 \text{ MeV}$

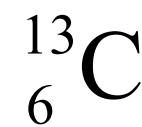
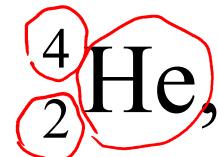
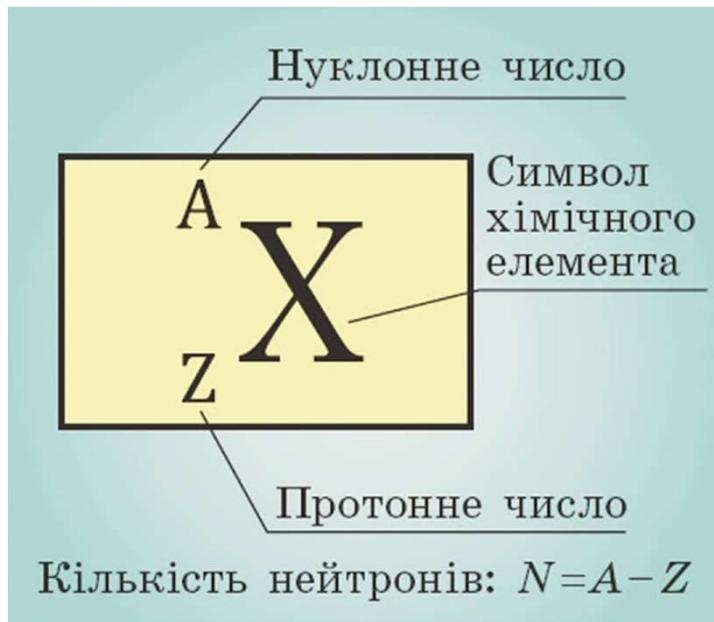


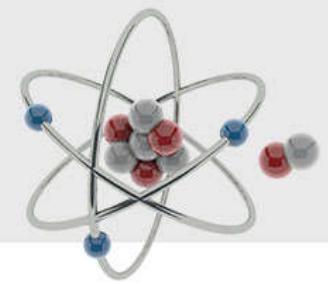


Z – кількість протонів у ядрі (зарядове число)

N – кількість нейтронів у ядрі

$A = Z + N$ – масове число



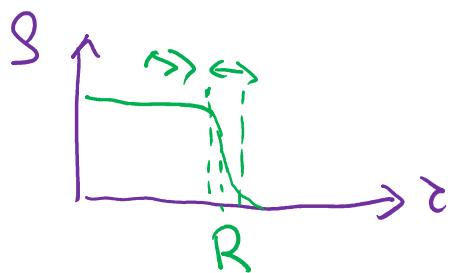
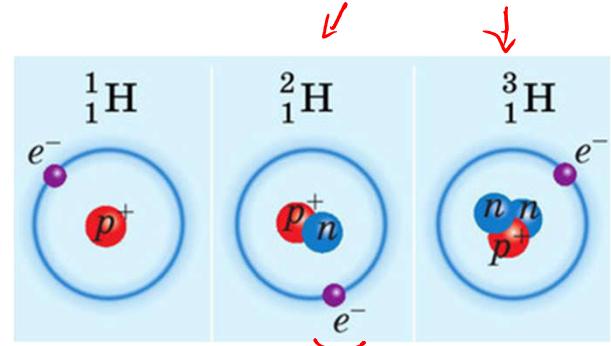


➤ ізотопи (однакове Z)

➤ ізобари (однакове A)

➤ ізотони (однакове N)

➤ ізомери (однакові Z та A , різні $T_{1/2}$)



$$R = R_0 \sqrt[3]{A}$$

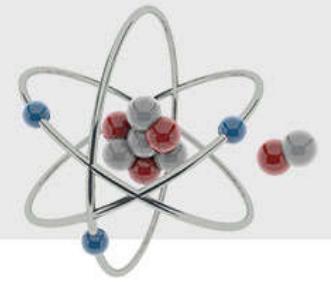
$$V \sim A$$

$$R_0 = 1,3 \cdot 10^{-15} \text{ м}$$

$$R_0 = 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ м}$$

легкі ядра

важкі ядра



$$m_{\text{я}} < Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n$$

дефект маси

$$\Delta m = [Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n] - m_{\text{я}}$$

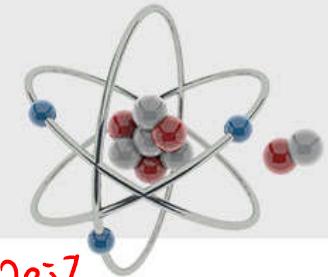
енергія зв'язку

$$E_{\text{зв}} = \Delta mc^2 = \left\{ [Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n] - m_{\text{я}} \right\} c^2$$

$$E_{\text{зв}} \approx \left\{ [Z \cdot m_{\text{H}} + (A - Z) \cdot m_n] - m_{\text{am}} \right\} c^2$$

пітома енергія зв'язку

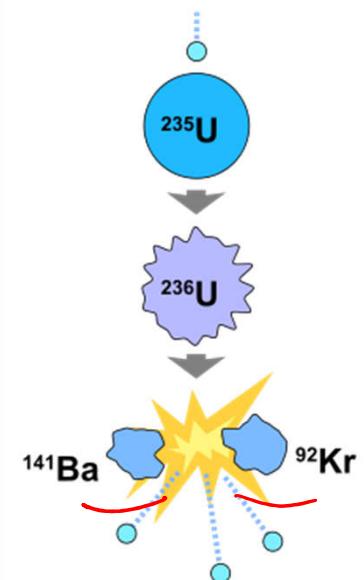
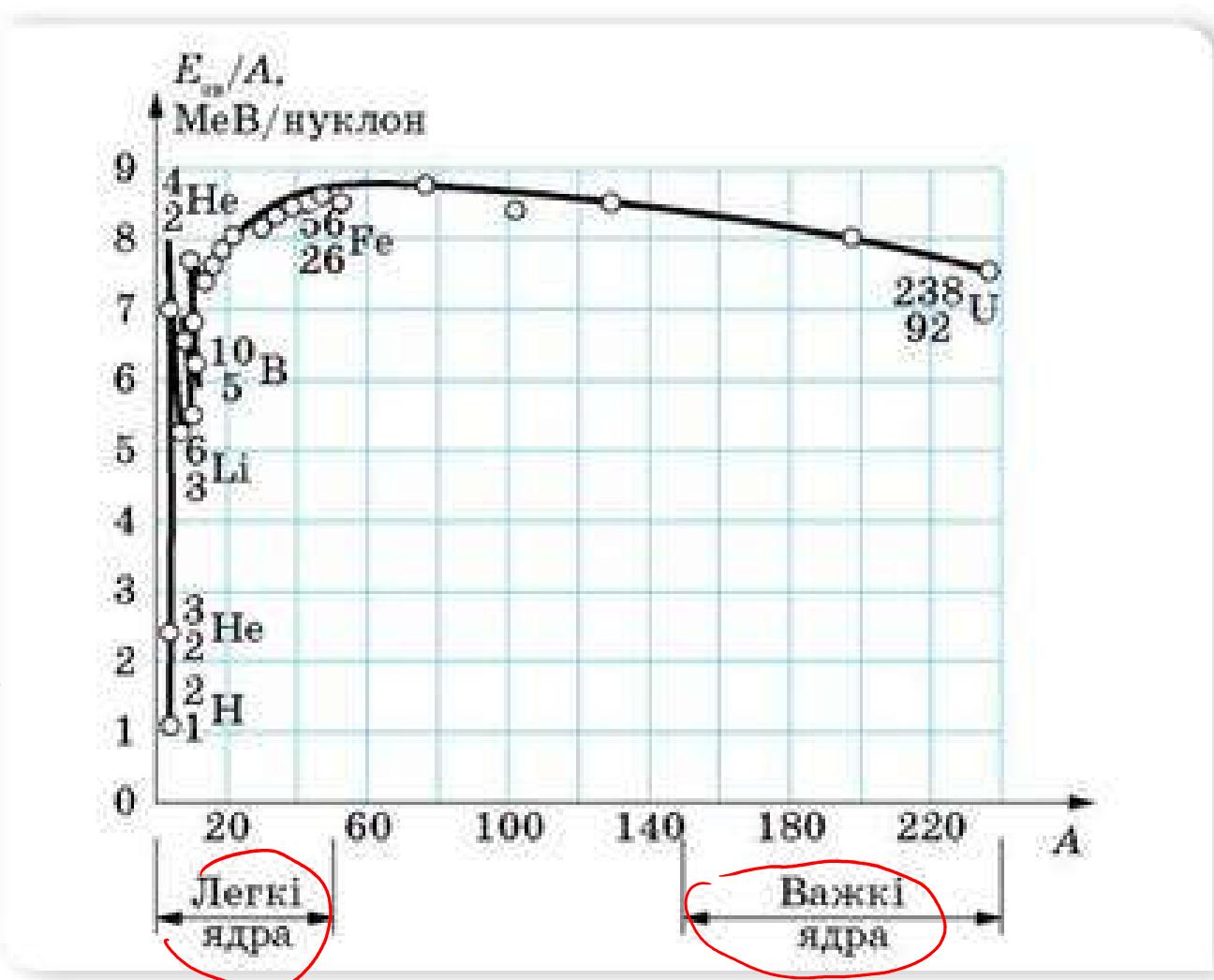
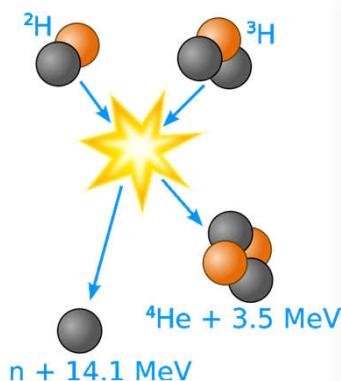
$$E_{\text{zv}}(A, Z) / A$$



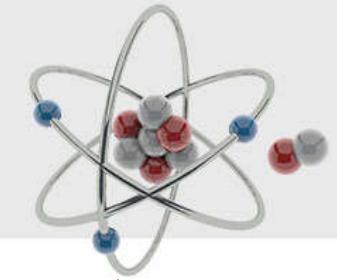
$$\frac{E_{\text{zv}}}{A} \approx \text{const} \quad (-8 \text{ MeV})$$

пакувальний коефіцієнт $\Delta m / A$

$$E_{\text{zv}} \sim 10 \text{ eV}$$



формула Вайцзекера



$$A^{1/3} \sim R$$

$$A^{2/3} \sim R^2 \sim S$$

$$E_{36}(A, Z) = \varepsilon_1 A - \varepsilon_2 A^{2/3} - \varepsilon_3 \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} - \varepsilon_4 \frac{(A-2Z)^2}{A} + \varepsilon_5 A^{-3/4}$$

об'єм поверхня кулонівська симетрія спарювання

$$\varepsilon_1 = 15,8 \text{ MeB}$$

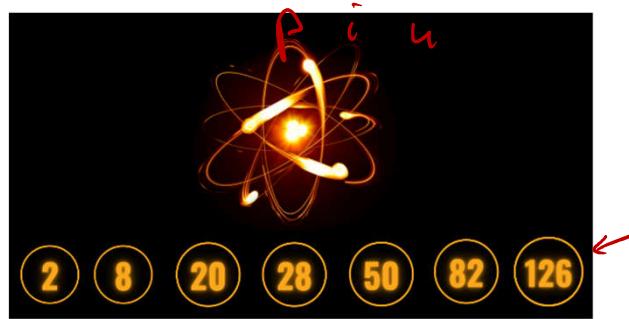
$$\varepsilon_2 = 17,8 \text{ MeB}$$

$$\varepsilon_3 = 0,7 \text{ MeB}$$

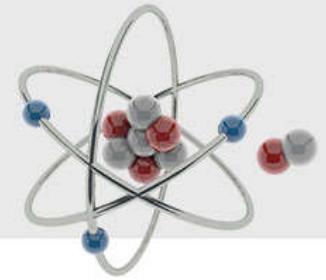
$$\varepsilon_4 = 23,7 \text{ MeB}$$



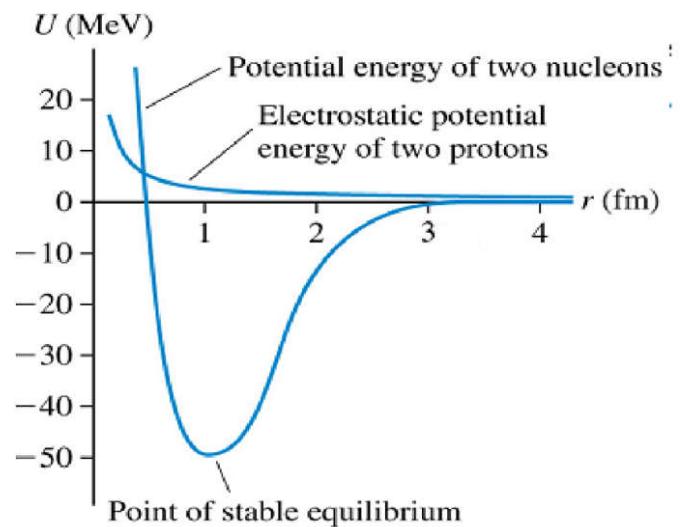
$$\varepsilon_5 = \begin{cases} 34 \text{ MeB}, & A \text{ парне}, Z \text{ парне} \\ 0, & \text{радо и } A \text{ непарне} \\ -34 \text{ MeB}, & A \text{ парне}, Z \text{ непарне} \end{cases}$$



особливості ядерних сил



- короткодіючі (радіус дії порядку $2 \cdot 10^{-15}$ м)

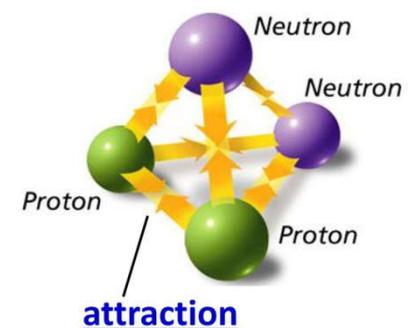


$$U \sim -\frac{\exp(-\alpha r)}{r}$$

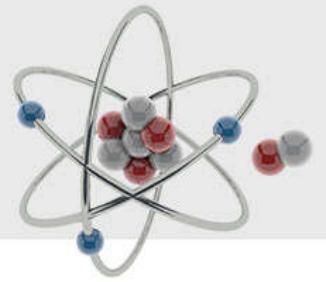


Хідекі Юкава

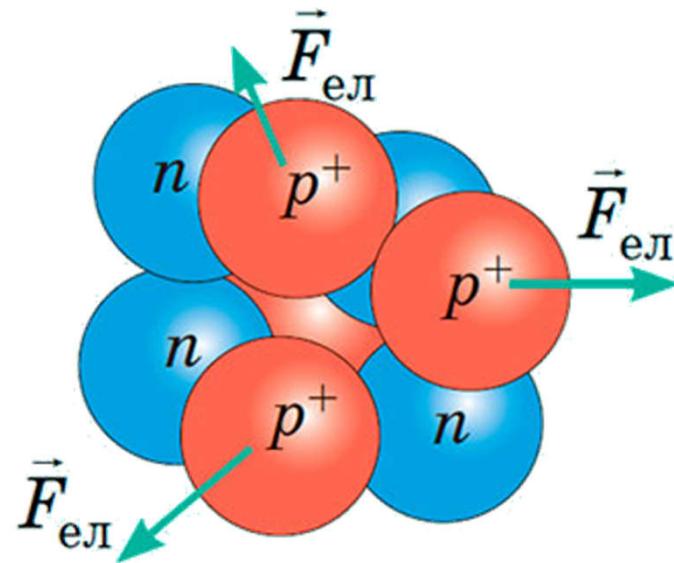
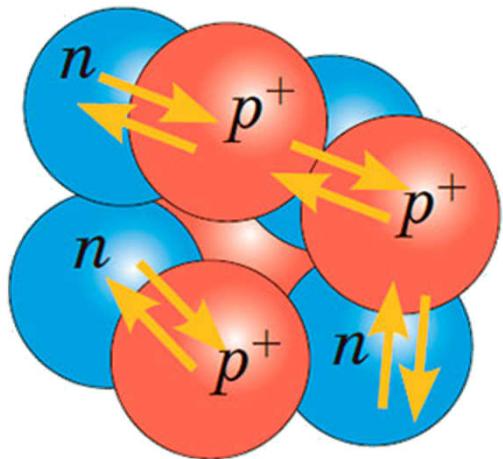
- не залежать від заряду нуклонів



особливості ядерних сил

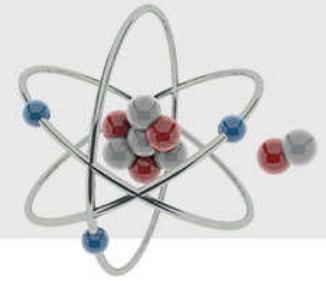


- залежать від взаємної орієнтації спінів

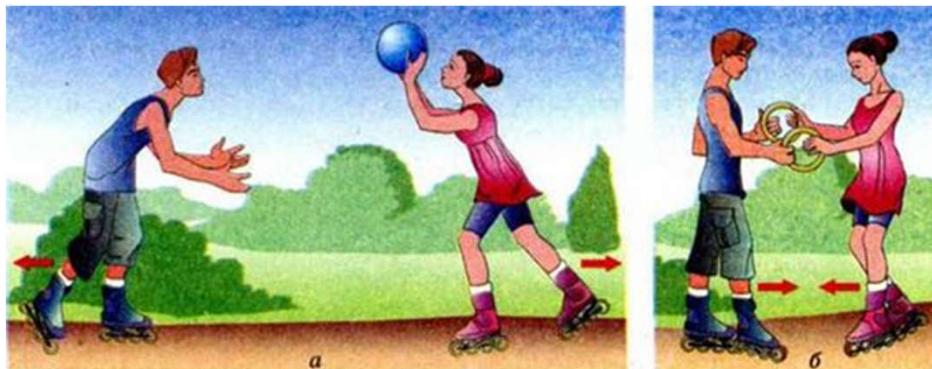


- не є центральними

особливості ядерних сил



- мають частково обмінний характер

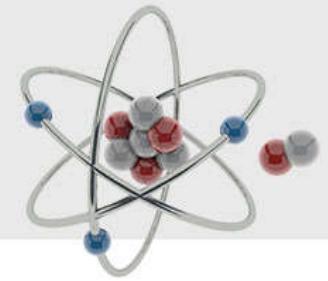


- характеризуються насиченням

$$\frac{E_{\text{зб}}(A, Z)}{A} \approx \text{const}(A)$$

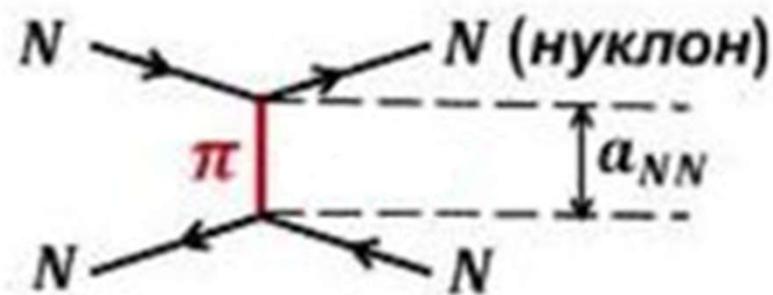
$$V_{\text{ядра}} \sim A$$

особливості ядерних сил

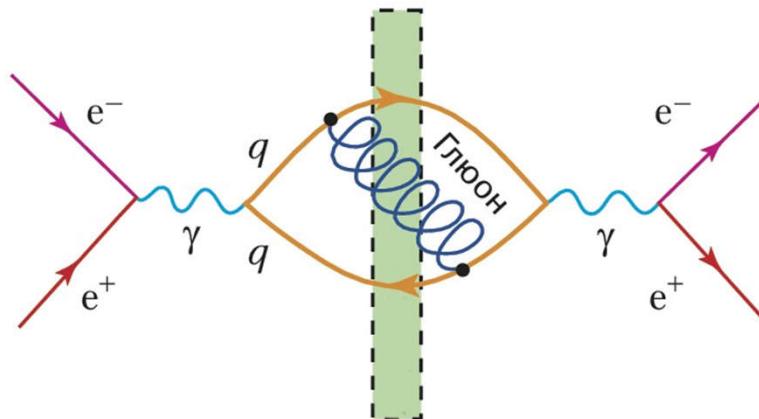


1935

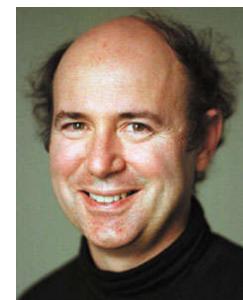
мезонна теорія



квантова хромодинаміка



Д. Гросс



Ф. Вільчек



Д. Політцер



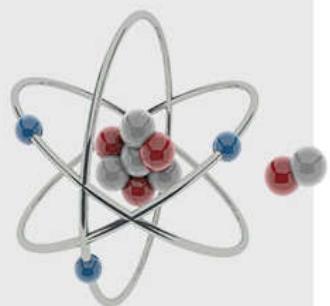
Радіоактивність. Основний закон радіоактивного роздому. Типи радіоактивних процесів



Ірен і Фредерік
Жоліо-Кюрі

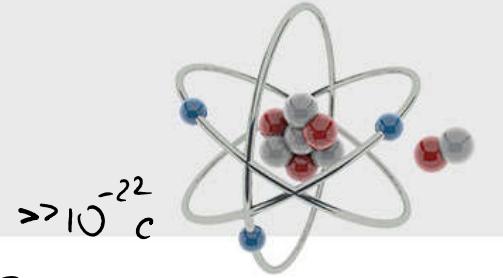


Фредерік
Содді



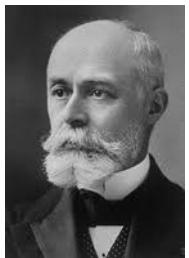


радіоактивність



$>> 10^{-22} \text{ с}$

самовільна зміна складу атомного ядра



1896

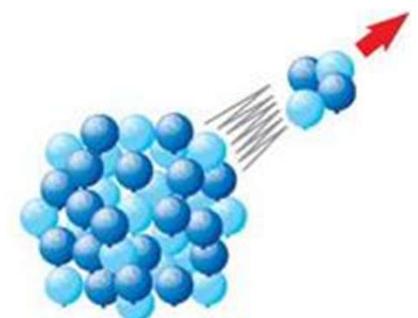


1934

природна

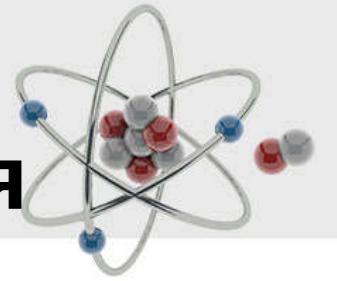
штучна

$$m_{\text{ноч}} c^2 = m_{\text{кін}} c^2 + \sum_i m_{\text{утв},i} c^2 + \varepsilon_{\text{кін}}$$



$$m_{\text{ноч}} > m_{\text{кін}} + \sum_i m_{\text{утв},i}$$

закони радіоактивного перетворення



$$dN = -\lambda N dt$$

стиска рожнаду

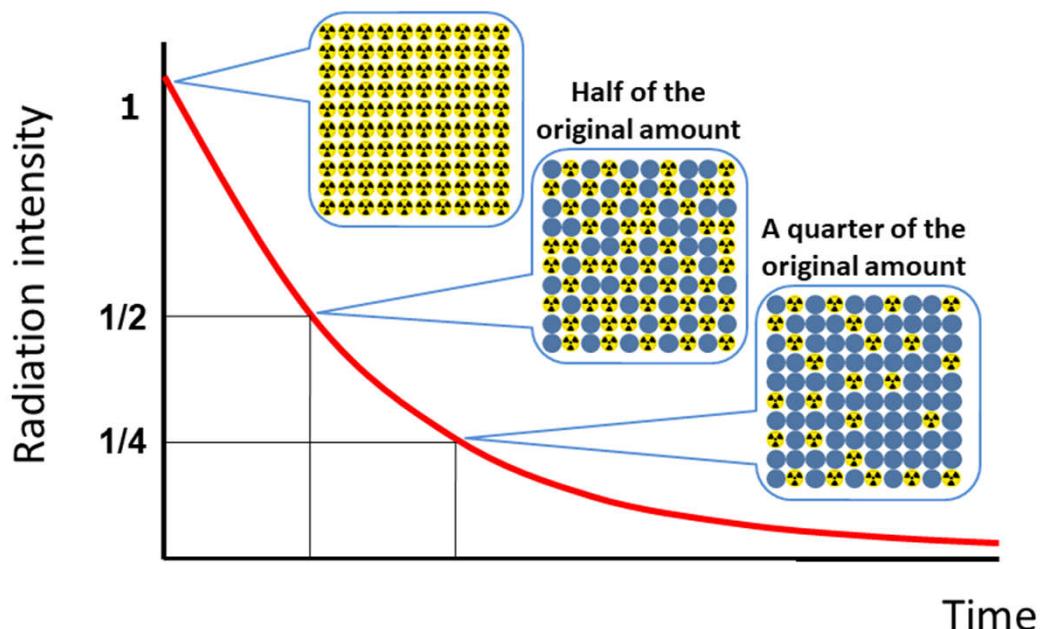
радіоактивні ядра можуть
вмирати, але не старіти

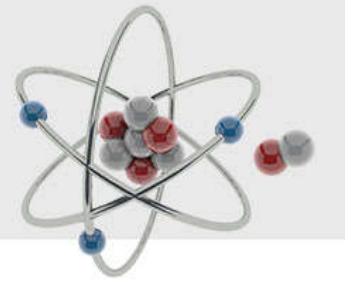
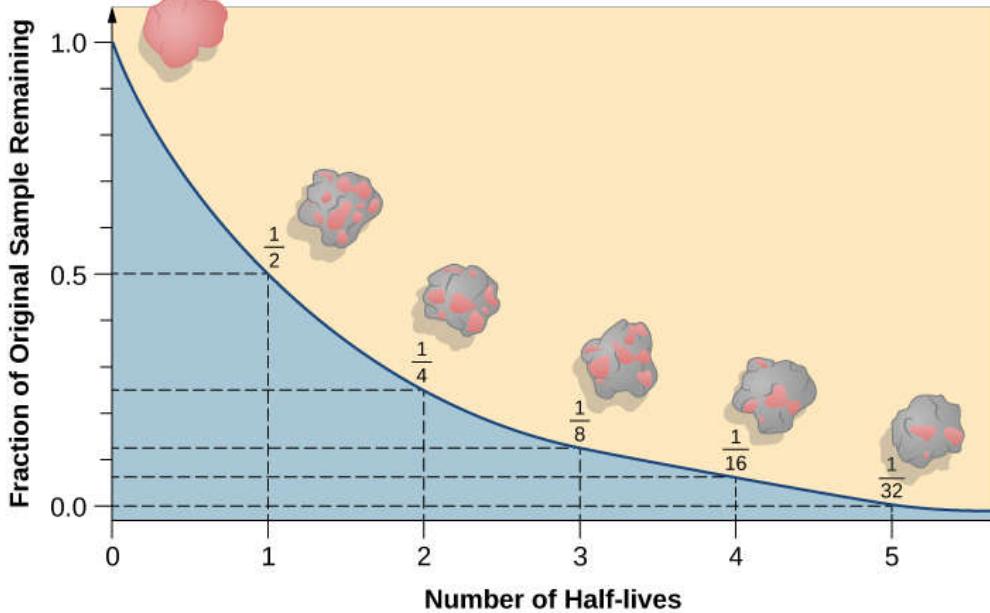
$$N(t) = N_0 \exp(-\lambda t)$$

↑
↑
 $t=0$

закон

радіоактивного рожнаду





період напіврозпаду

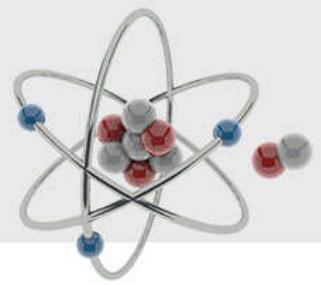
$$N(t = T_{1/2}) = \frac{1}{2} N_0 = N_0 \exp(-\lambda T_{1/2})$$

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

$$N(t) = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$$

$$T_{1/2} = [3 \cdot 10^{-7} c, 5 \cdot 10^{15} \text{ років}]$$





середній час життя радіоактивного ядра

$$\tau = \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} t \, dN = \frac{1}{\lambda} = \frac{T_{1/2}}{\ln 2}$$

активність *кількість розпадів, що відбуваються за одиницю часу*

$$A = \lambda \cdot N$$

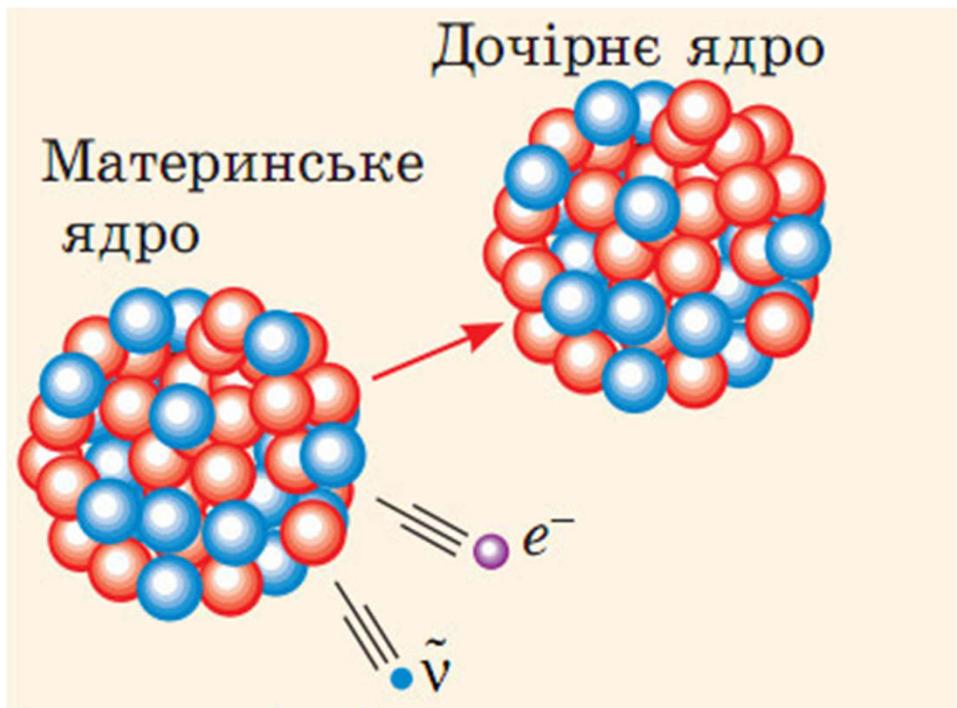
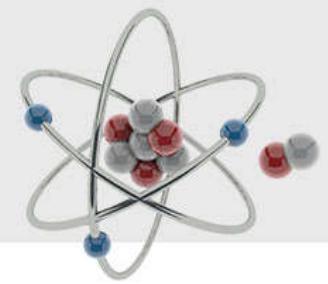
$$[A] = \text{Бк} \xleftarrow{\text{розпад / с}}$$

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

1 кр.

$$1 Pd = 10^6 \text{ Бк}$$

\downarrow *Вегельсунг* СІ

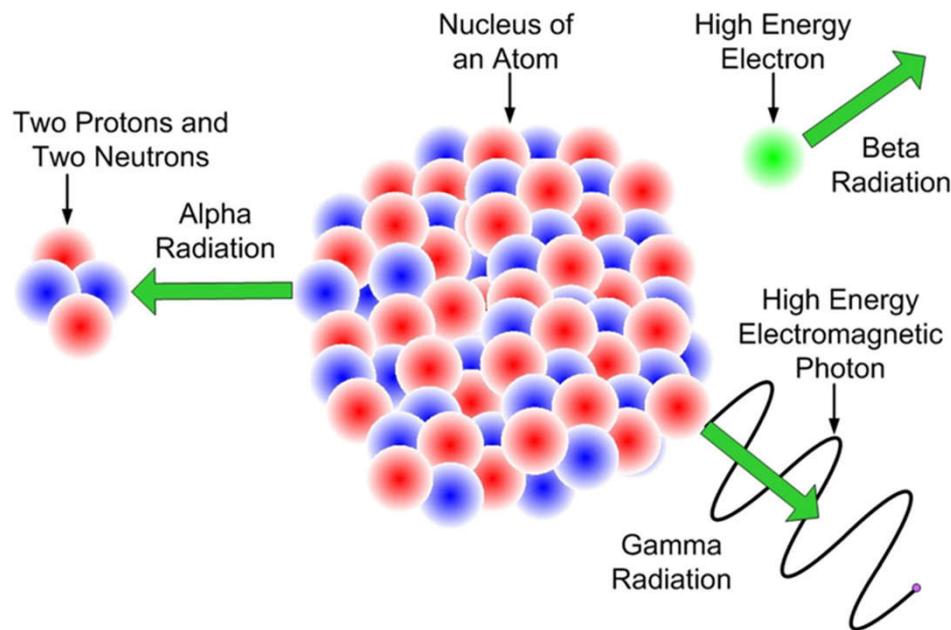
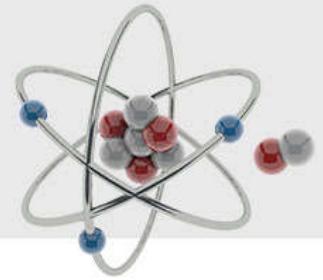


$$\frac{dN_m}{dt} = -\lambda_m N_m$$

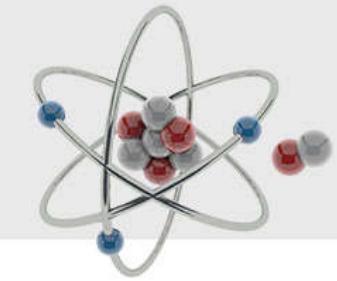
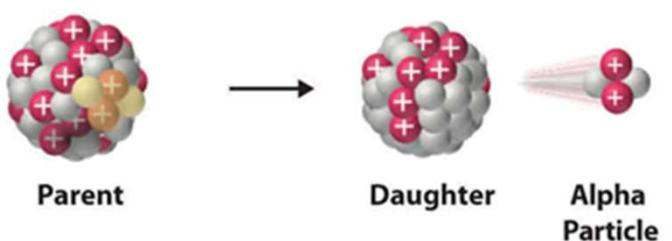
↓

$$\underbrace{\frac{dN_\delta}{dt}}_{\lambda_m N_m - \lambda_\delta N_\delta} = \lambda_m N_m - \lambda_\delta N_\delta$$

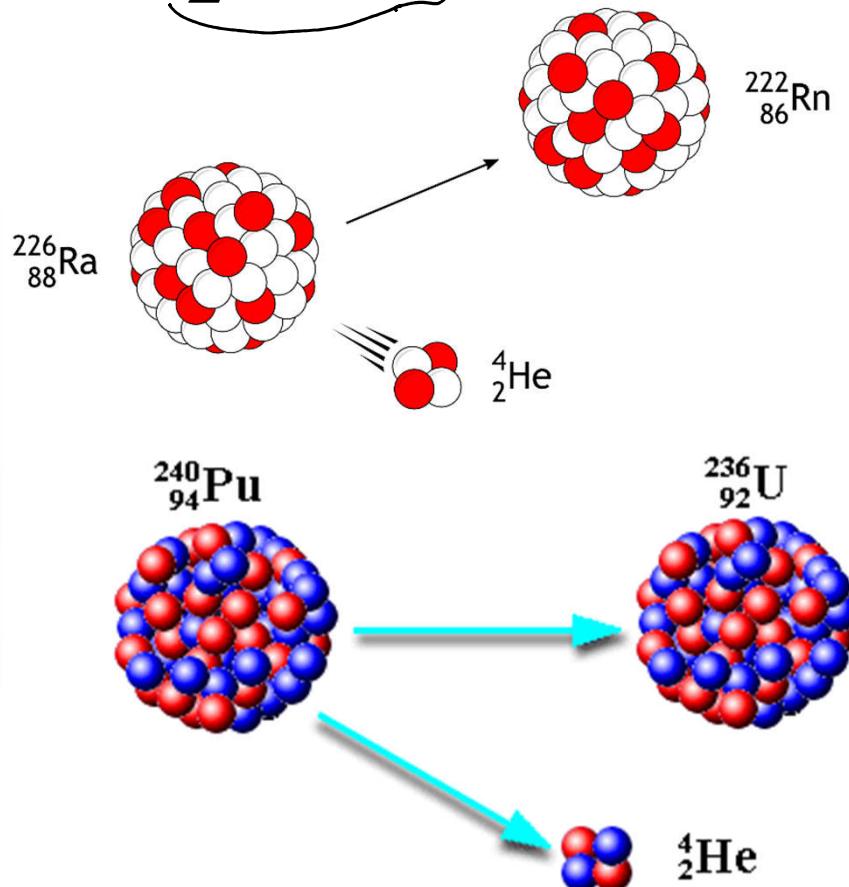
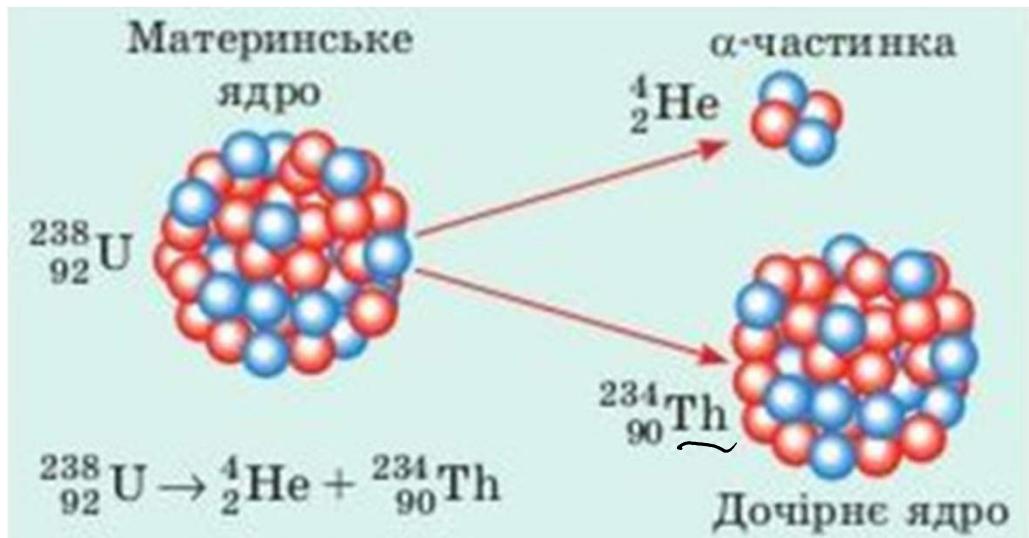
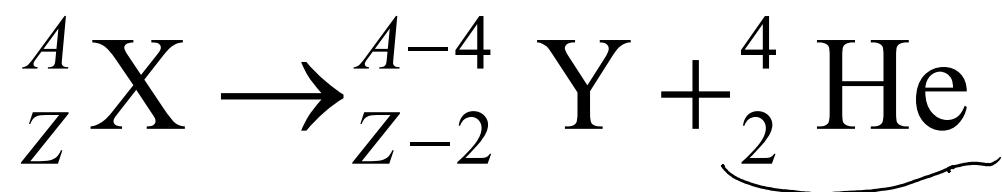
типи радіоактивних процесів

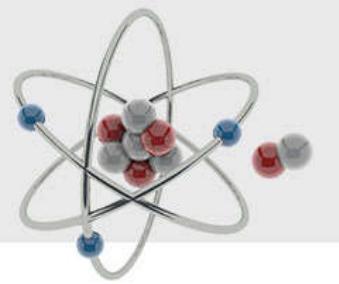
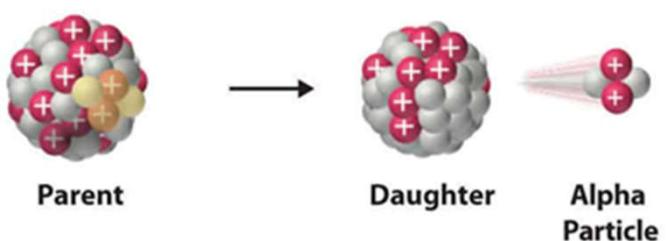


- *α-розпад*
- *β-розпад*
- *спонтанний поділ ядра*
- *протонний розпад*
- *γ-випромінювання*



α-розпад

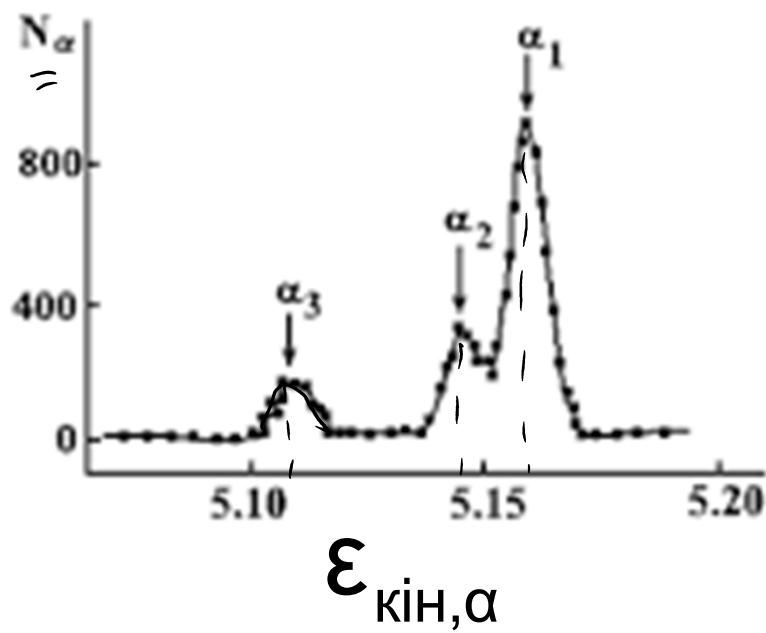
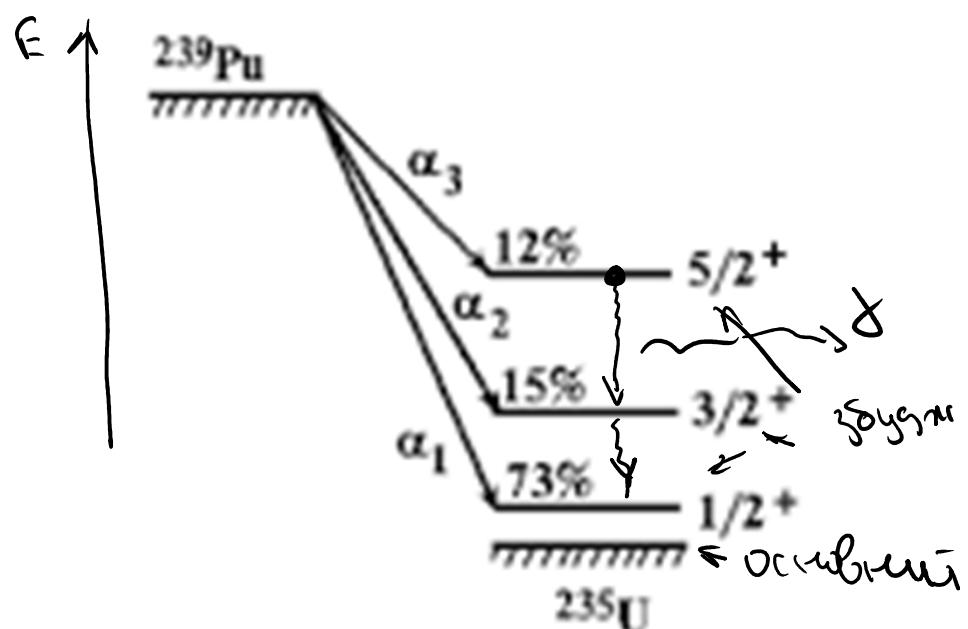


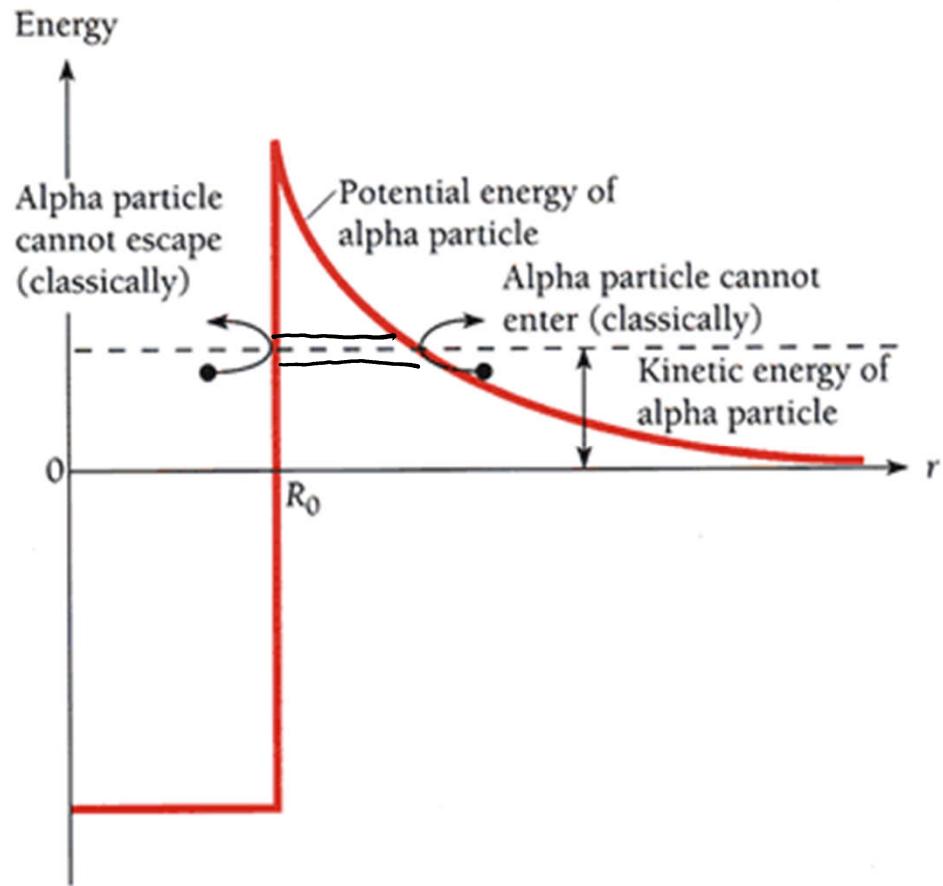
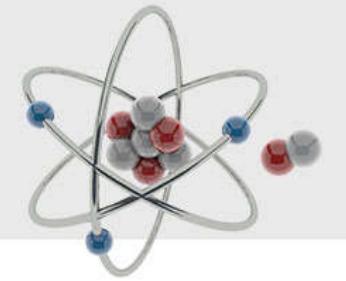
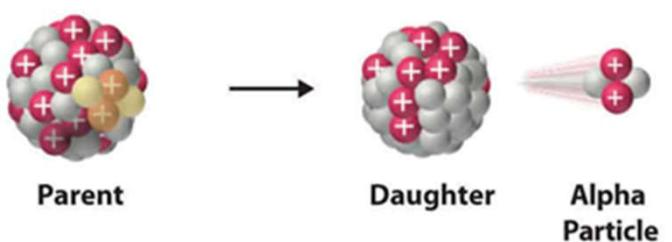


$$\varepsilon_{\text{kin}} = E_{\text{36}} \left({}^{A-4}_{Z-2} \text{Y} \right) + E_{\text{36}} \left({}^4_2 \text{He} \right) - E_{\text{36}} \left({}^A_Z \text{X} \right) > 0$$

γ α

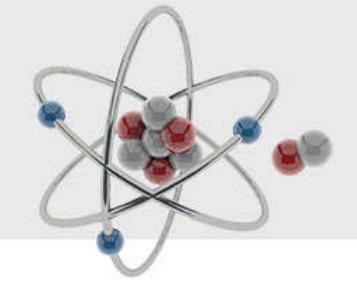
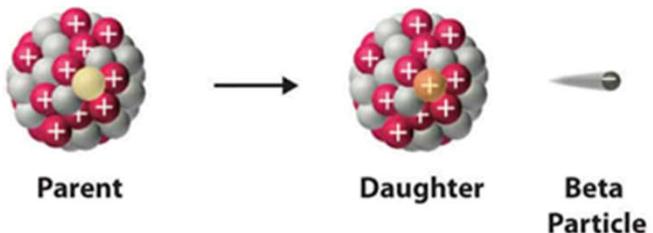
$$\frac{\varepsilon_{\text{kin},\alpha}}{\varepsilon_{\text{kin},\gamma}} \sim \frac{m_\gamma}{m_\alpha}$$



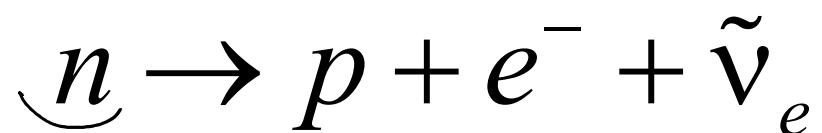
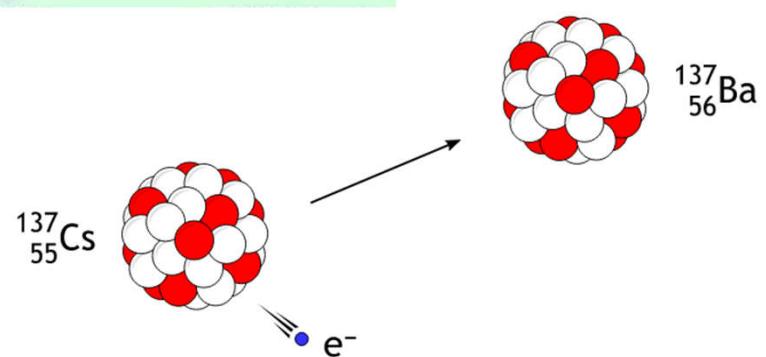
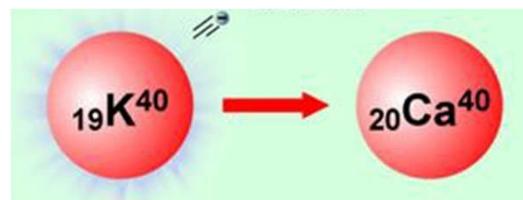
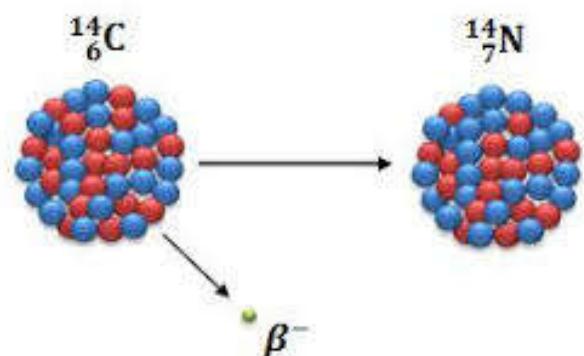
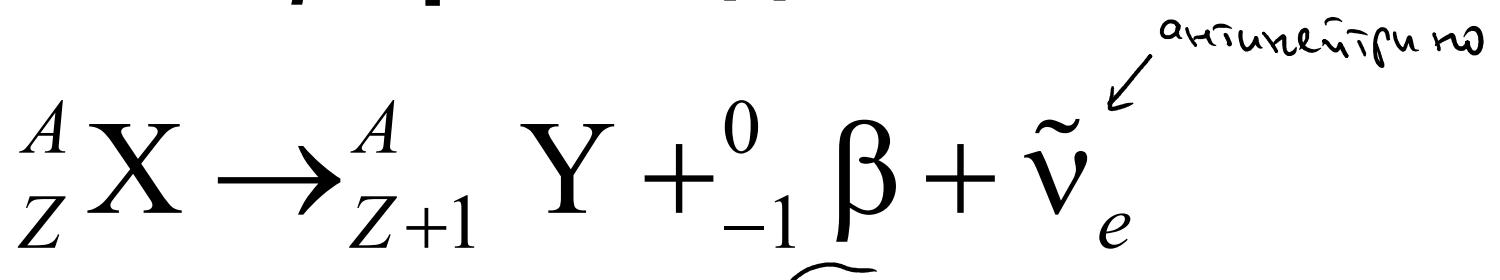


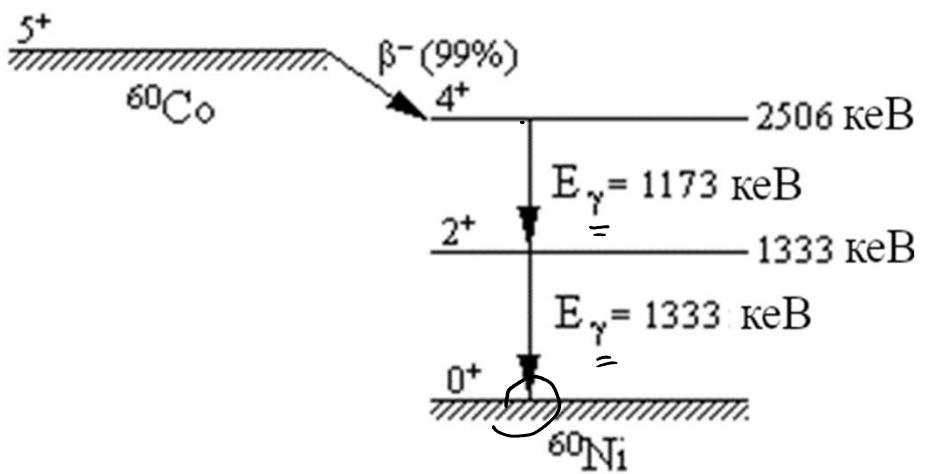
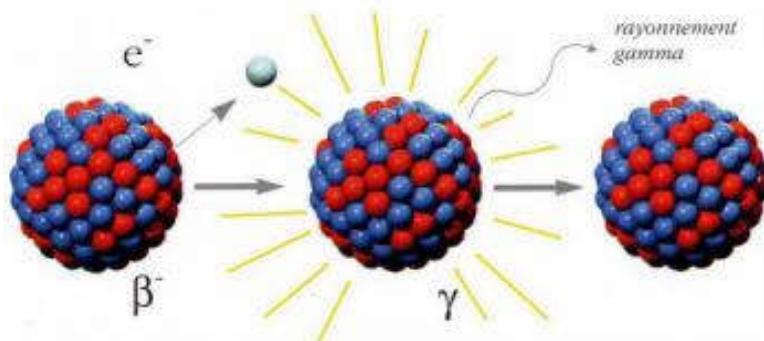
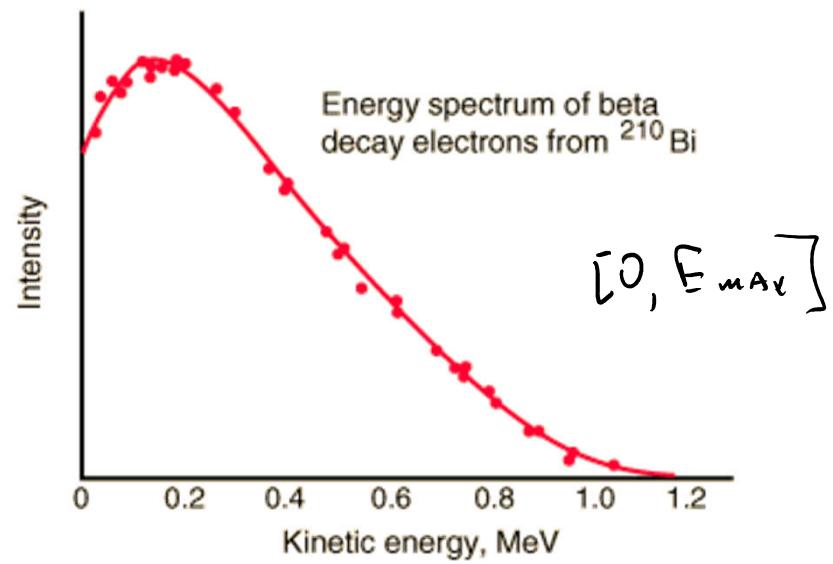
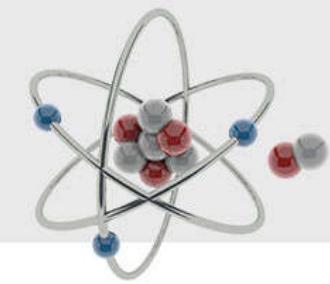
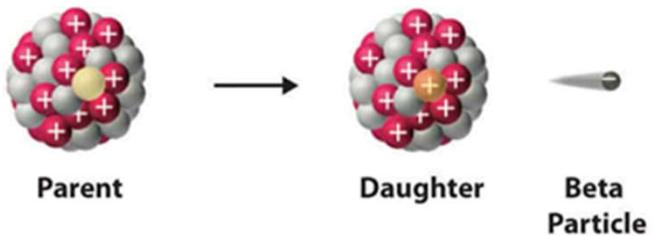
закон Гайгера-Неттола

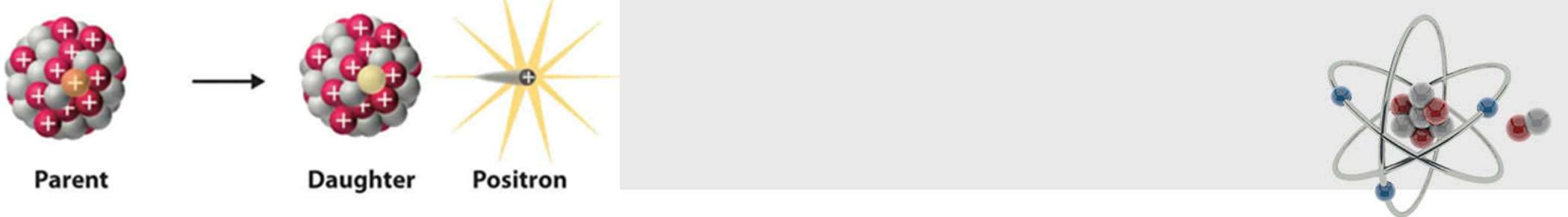
$$\lg \underline{T_{1/2}} = a + \frac{b}{\sqrt{\varepsilon_{kin,\alpha}}}$$



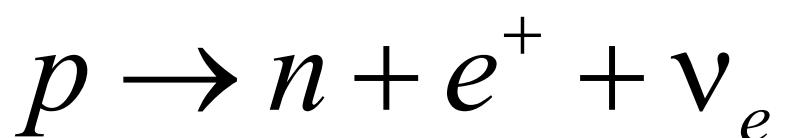
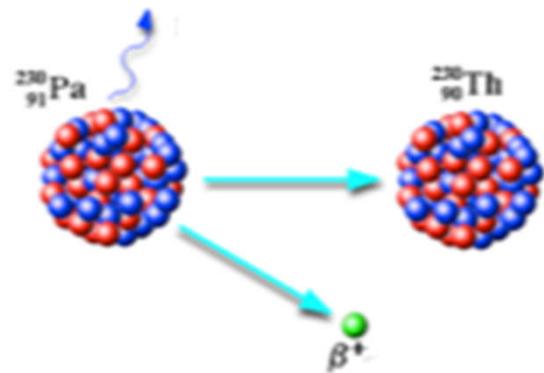
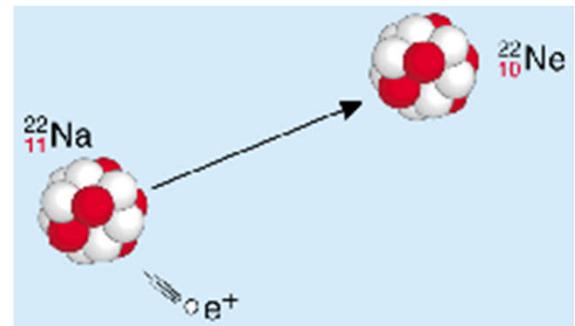
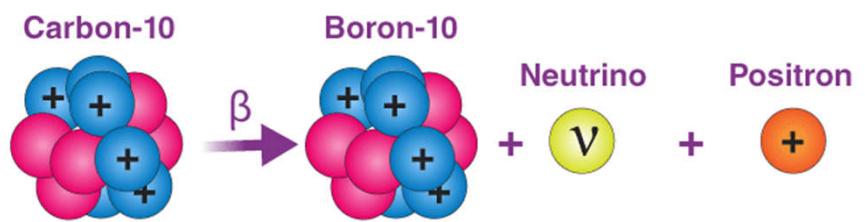
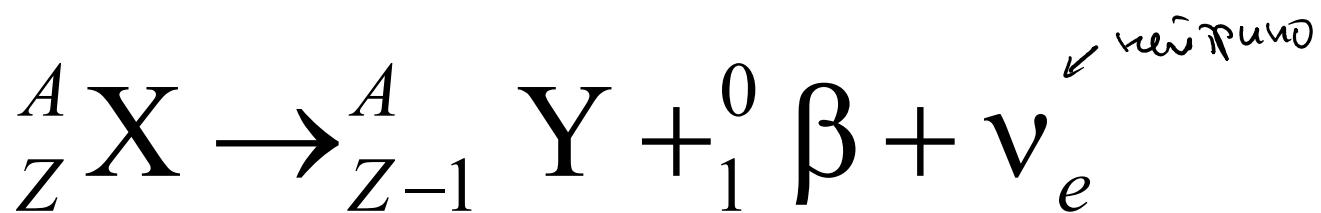
електронний β^- -розпад

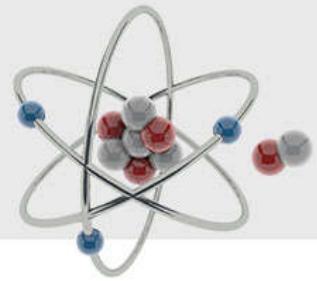
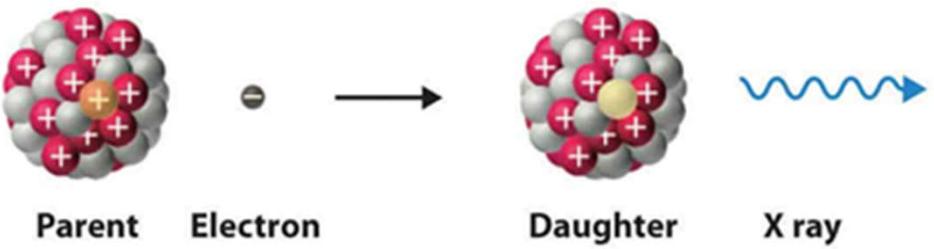




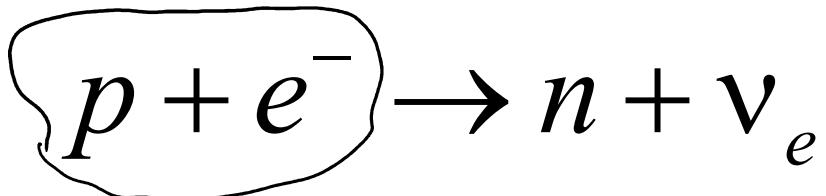
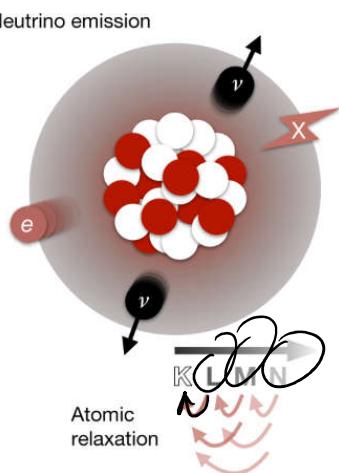
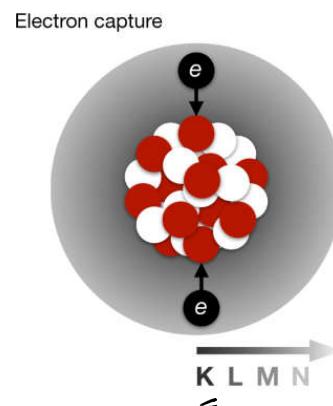
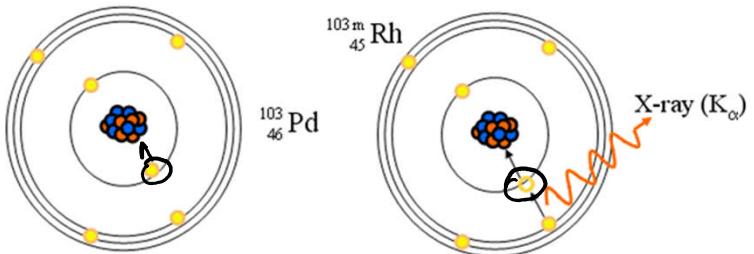
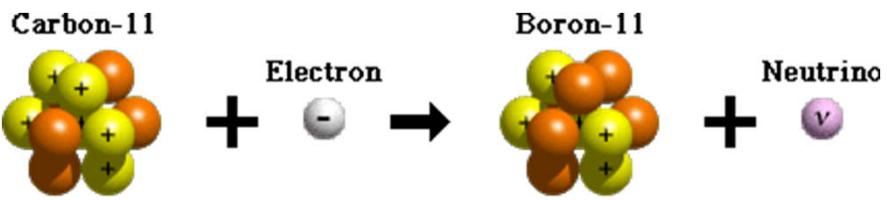
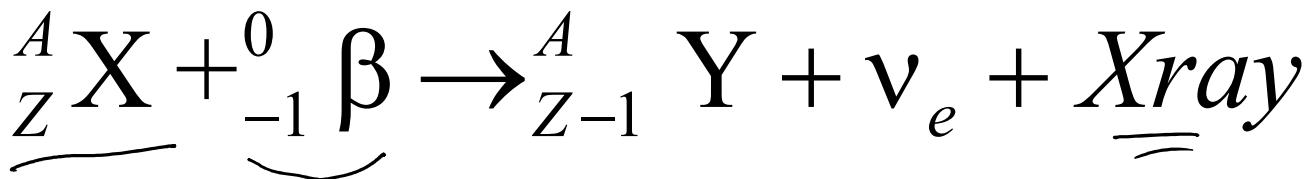


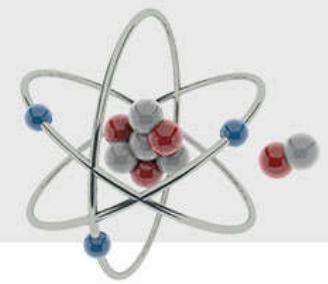
позитронний β^+ -розпад





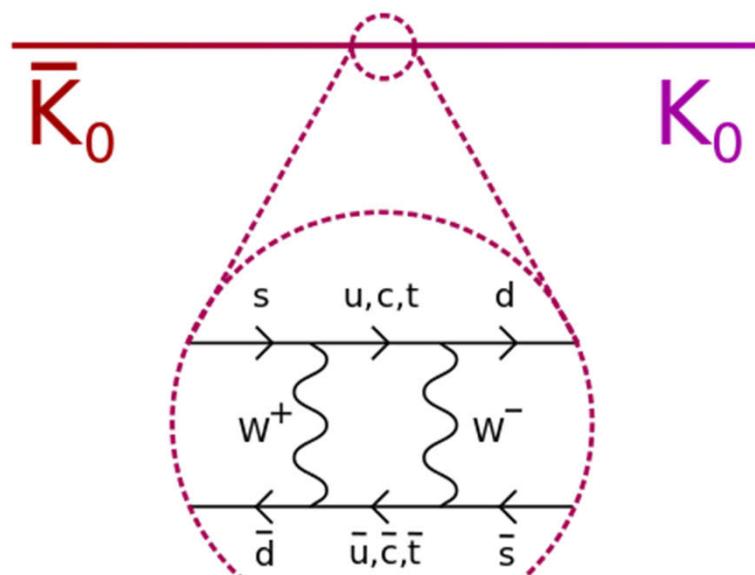
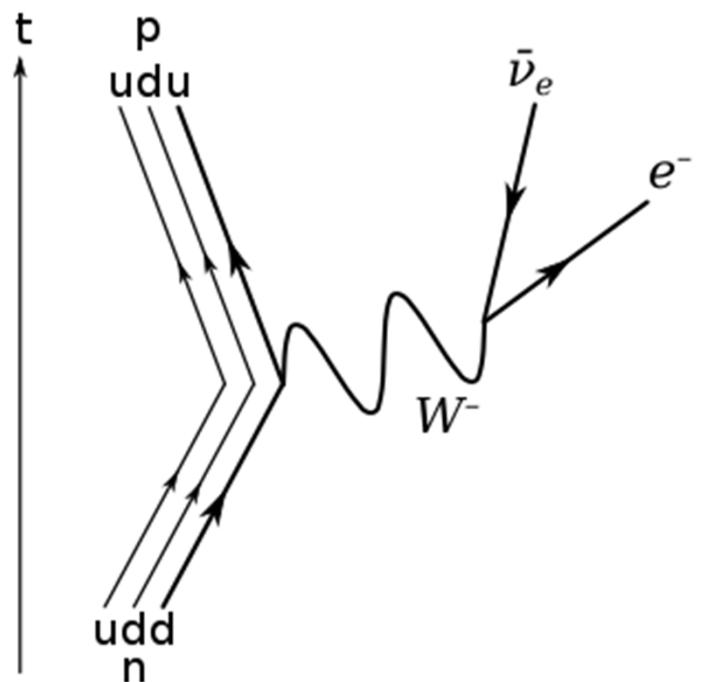
електронне захоплення



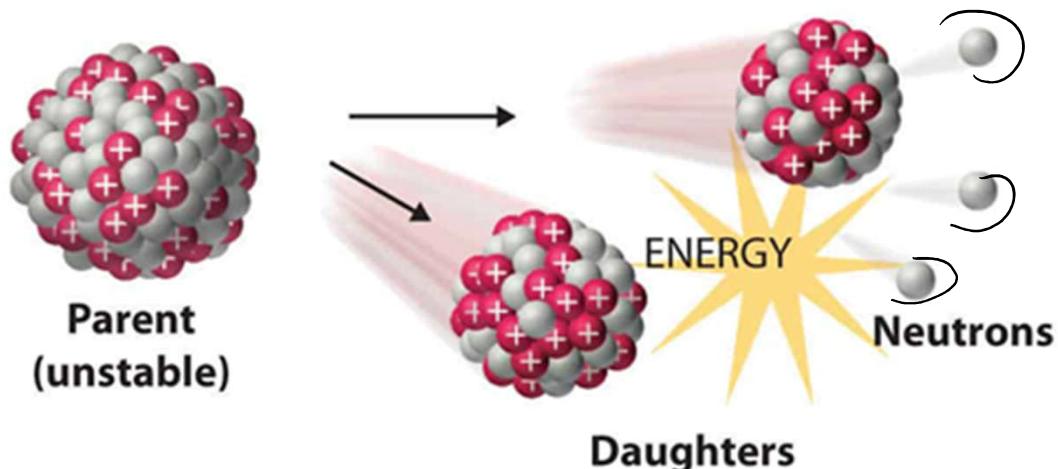
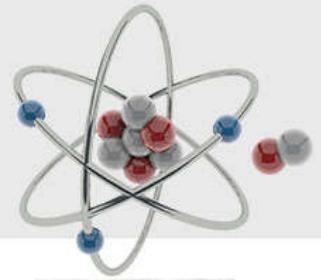


β-розпад

ВИКЛИКАЄТЬСЯ слабкою взаємодією



спонтанний поділ

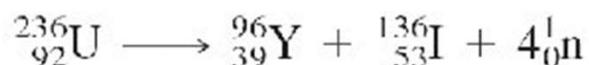
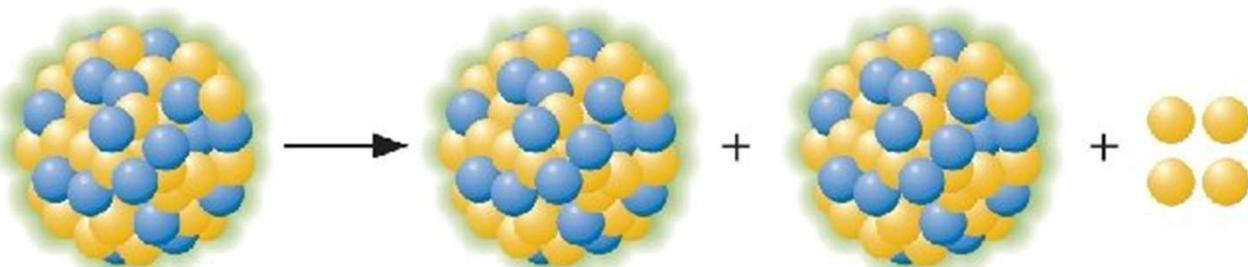
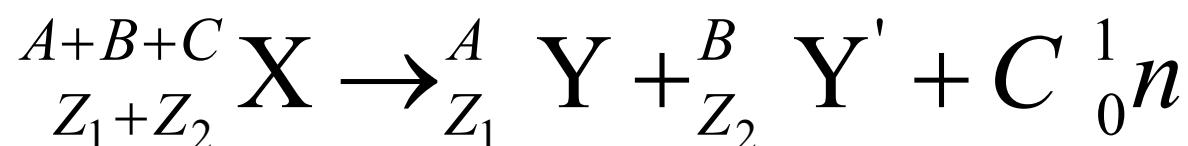


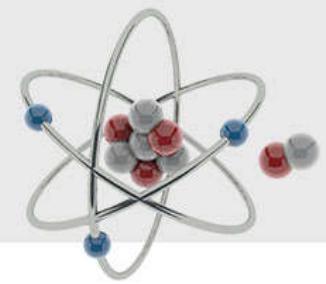
Г. Флеров



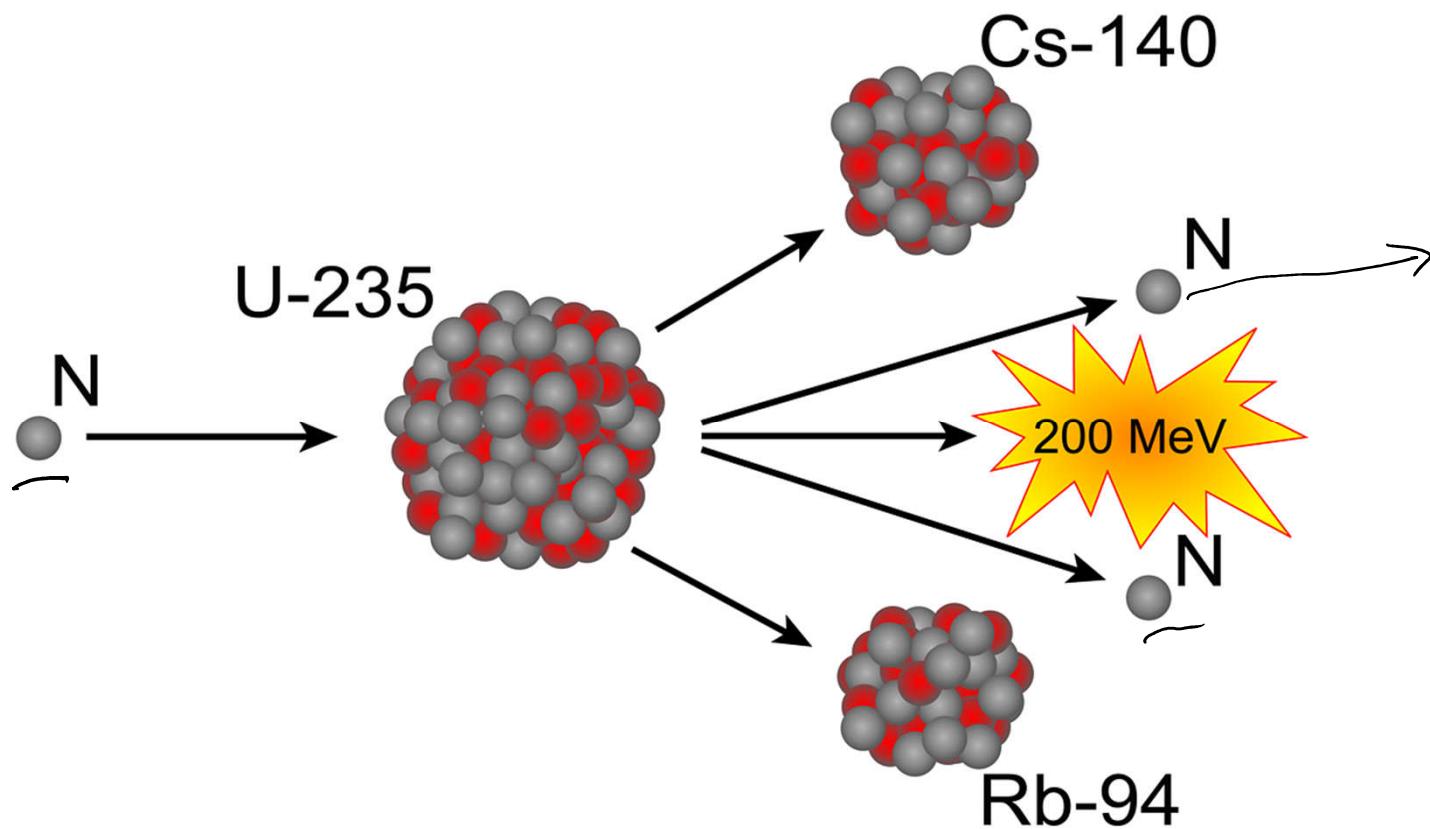
К. Петржак

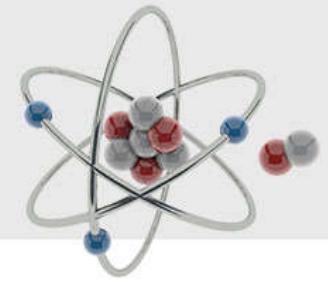
1940



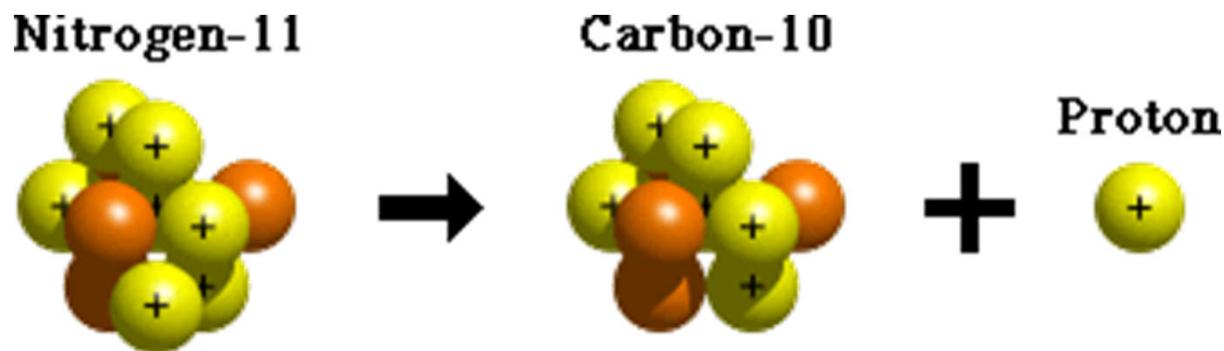
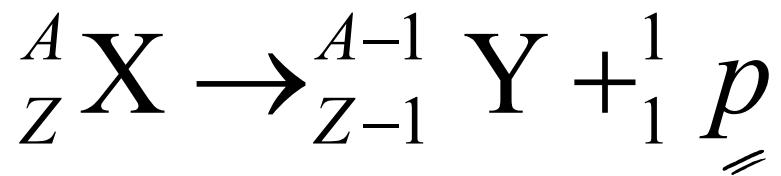


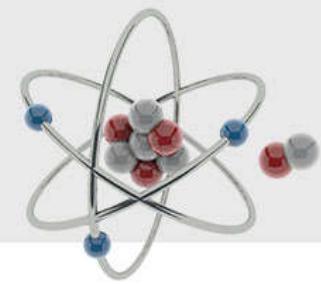
вимушений поділ



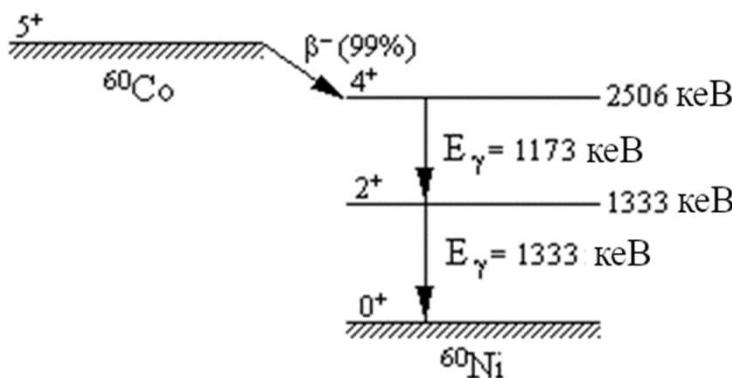
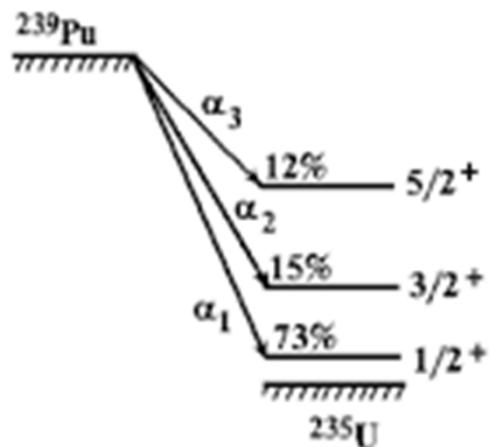
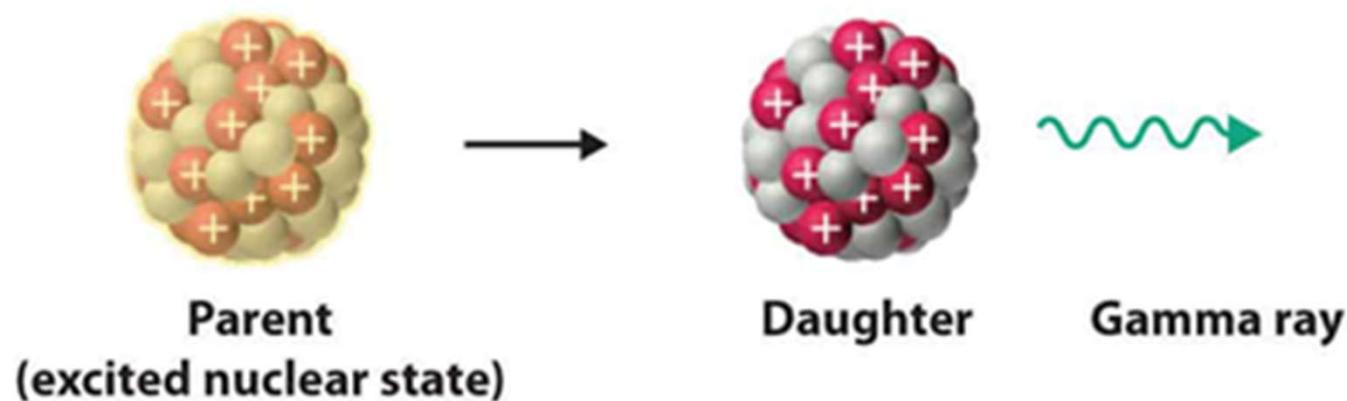


протонний розпад



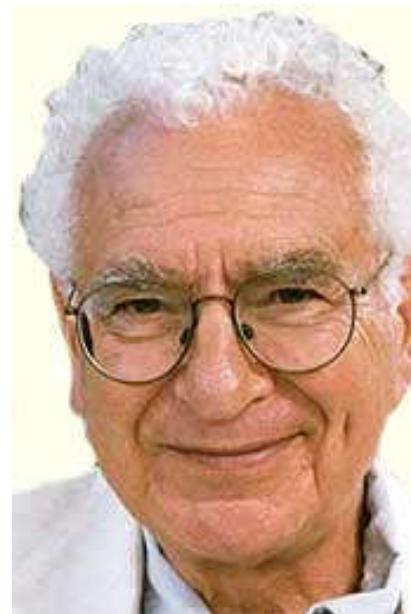
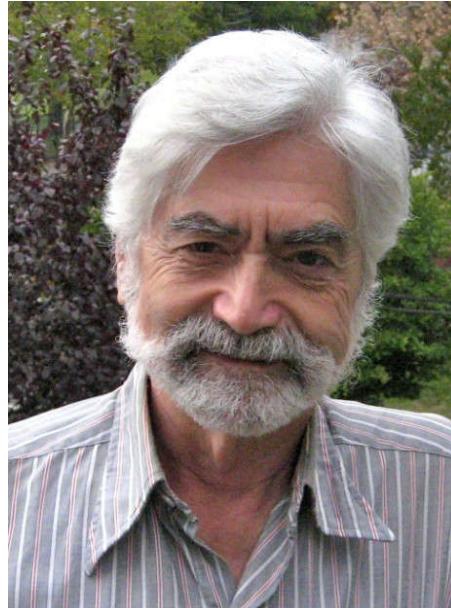


γ -випромінювання





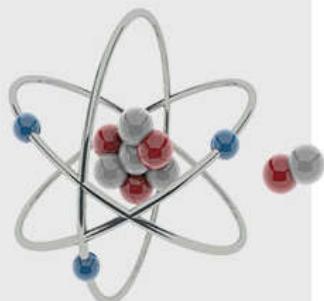
Види взаємодій в природі. Класи елементарних частинок



Джордж
Цвейг

Маррі
Гелл-Ман

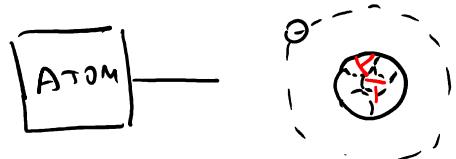
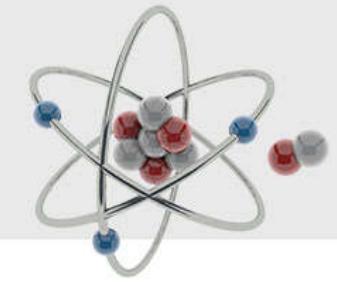
Пітер Уер
Хігgs





вид	інтенсивність	радіус дії
 сильна	 $\frac{1}{=}$	$\sim 10^{-15} \text{ м}$ 10^{-23} с 10^{-20} с $\sim 10^{-9} \text{ с}$

Класи елементарних частинок



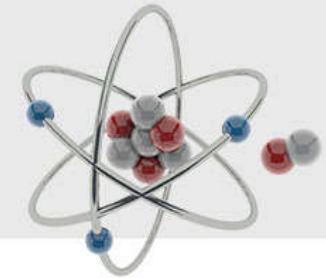
- Кванти взаємодій
- Лептони
- Адрони

The PARTICLE ZOO <small>Sewing the fabric of spacetime</small>				
ELEMENTARY PARTICLES of THE STANDARD MODEL:				
QUARKS	I	II	III	
	u UP QUARK	c CHARM QUARK	t TOP QUARK	γ PHOTON
LEPTONS	d DOWN QUARK	s STRANGE QUARK	b BOTTOM QUARK	g GLUON
	ν_e ELECTRON-NEUTRINO	ν_μ MUON-NEUTRINO	ν_τ TAU-NEUTRINO	Z Z BOSON
BEYOND THE STANDARD MODEL:				
HYPOTHETICALS	TACHYON	G GRAVITON	THEORETICALS	
		? DARK MATTER	H HIGGS BOSON	

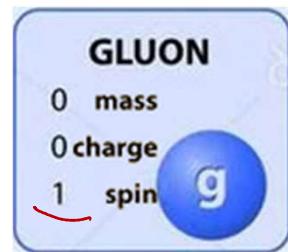
www.particlezoo.net

©The Particle Zoo P.O. Box 29523 Los Angeles, CA 90029

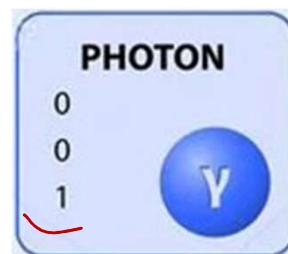
☐ Кванти взаємодій



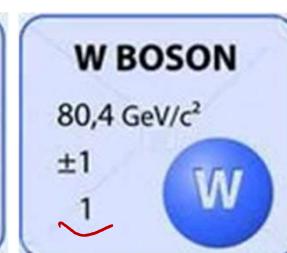
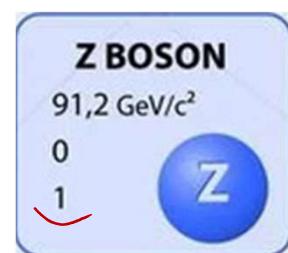
➤ ГЛЮОНИ



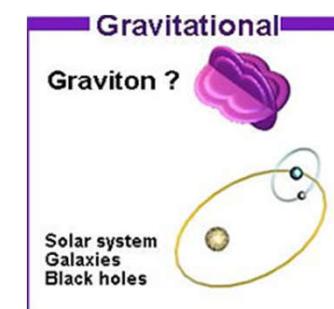
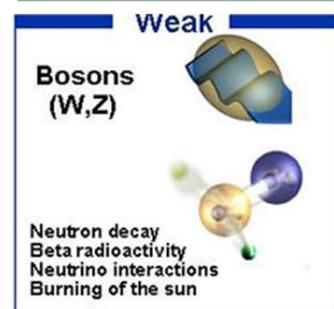
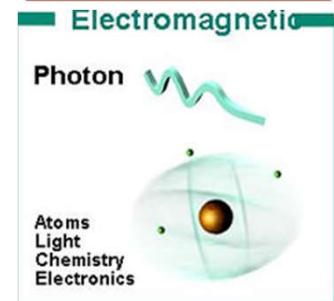
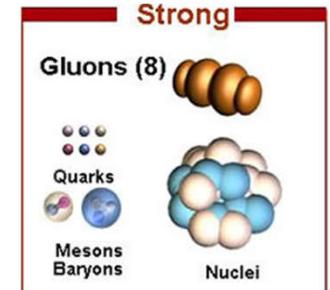
➤ ФОТОНИ



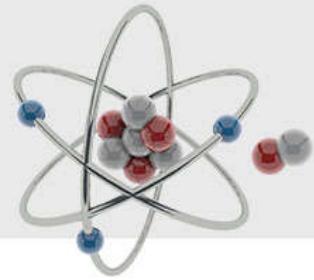
➤ проміжні векторні бозони



➤ гравітони (?)



□ Лептоны



не беруть участь у сильних взаємодіях

ELECTRON
0,511 MeV/c²
-1
 $\frac{1}{2}$
 e^-

MUON
105,7 MeV/c²
-1
 $\frac{1}{2}$
 μ^-

TAU
1,777 GeV/c²
-1
 $\frac{1}{2}$
 τ^-

ELECTRON NEUTRINO
 $<2,2$ eV/c²
0
 $\frac{1}{2}$
 ν_e

MUON NEUTRINO
 $<0,17$ MeV/c²
0
 $\frac{1}{2}$
 ν_μ

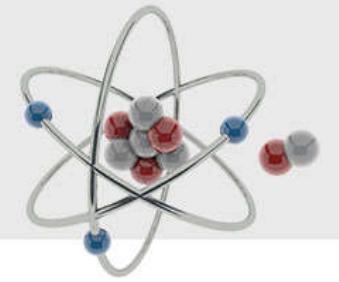
TAU NEUTRINO
 $<15,5$ MeV/c²
0
 $\frac{1}{2}$
 ν_τ

Античастинка — частинка-двойник деякої іншої елементарної частинки, яка має ту ж масу та спін і відрізняється знаками інших характеристик взаємодії (електричних та кольорових зарядів, баріонним та лептонним квантовими числами..)

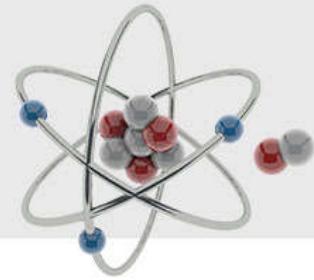
 e^- ν_e e^+ $\bar{\nu}_e$ μ^- ν_μ $\bar{\mu}^+$ $\bar{\nu}_\mu$ τ^- ν_τ $\bar{\tau}^+$ $\bar{\nu}_\tau$

Leptons

Anti-Leptons



□ Кварки



UP
mass $2,3 \text{ MeV}/c^2$
charge $\frac{2}{3}$
spin $\frac{1}{2}$



DOWN
 $4,8 \text{ MeV}/c^2$
 $-\frac{1}{3}$
 $\frac{1}{2}$



CHARM
 $1,275 \text{ GeV}/c^2$
 $\frac{2}{3}$
 $\frac{1}{2}$



STRANGE
 $95 \text{ MeV}/c^2$
 $-\frac{1}{3}$
 $\frac{1}{2}$



TOP
 $173,07 \text{ GeV}/c^2$
 $\frac{2}{3}$
 $\frac{1}{2}$



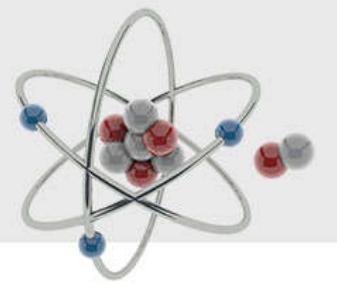
BOTTOM
 $4,18 \text{ GeV}/c^2$
 $-\frac{1}{3}$
 $\frac{1}{2}$



+ антикварки

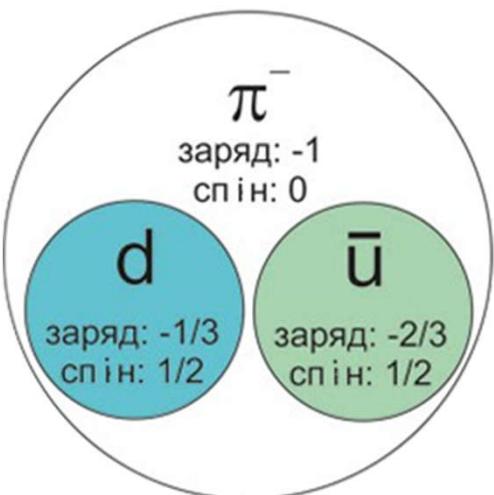
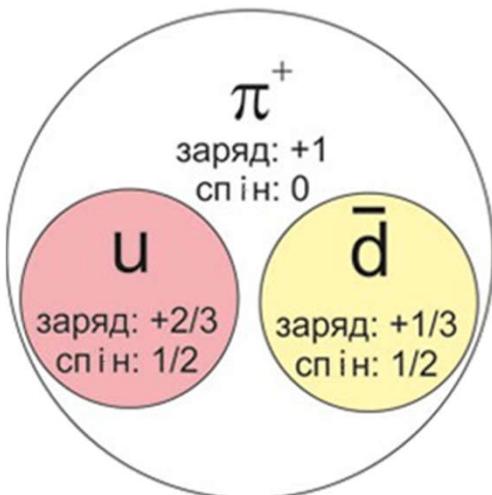
мезон = кварк +
антикварк

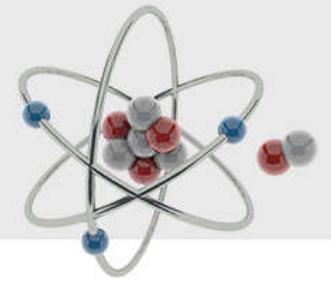
$(q \bar{q})$



$$B = 0$$

$$\pi^+ = (u \bar{d}) \quad \pi^- = (d \bar{u}) \quad \pi^0 = (d\bar{d} - u\bar{u}) / \sqrt{2}$$





баріон = кварк +
кварк+
кварк

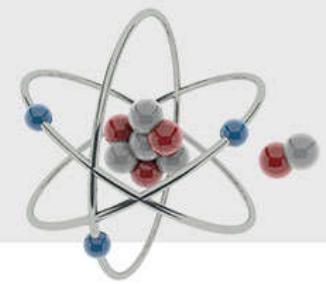
$(q \ q \ q)$

$B = 1$

антибаріон = антикварк +
антикварк+
антикварк

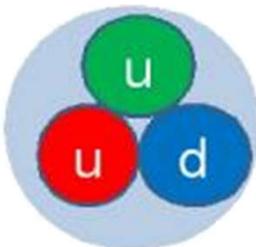
$(\tilde{q} \ \tilde{q} \ \tilde{q})$

$B = -1$



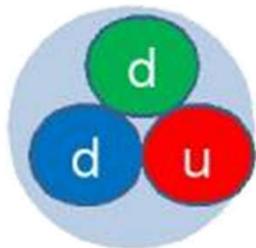
протон

$$(u \ u \ d)$$



нейтрон

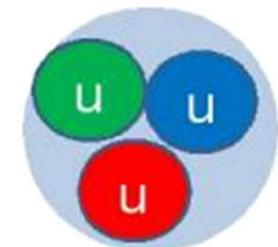
$$(u \ d \ d)$$



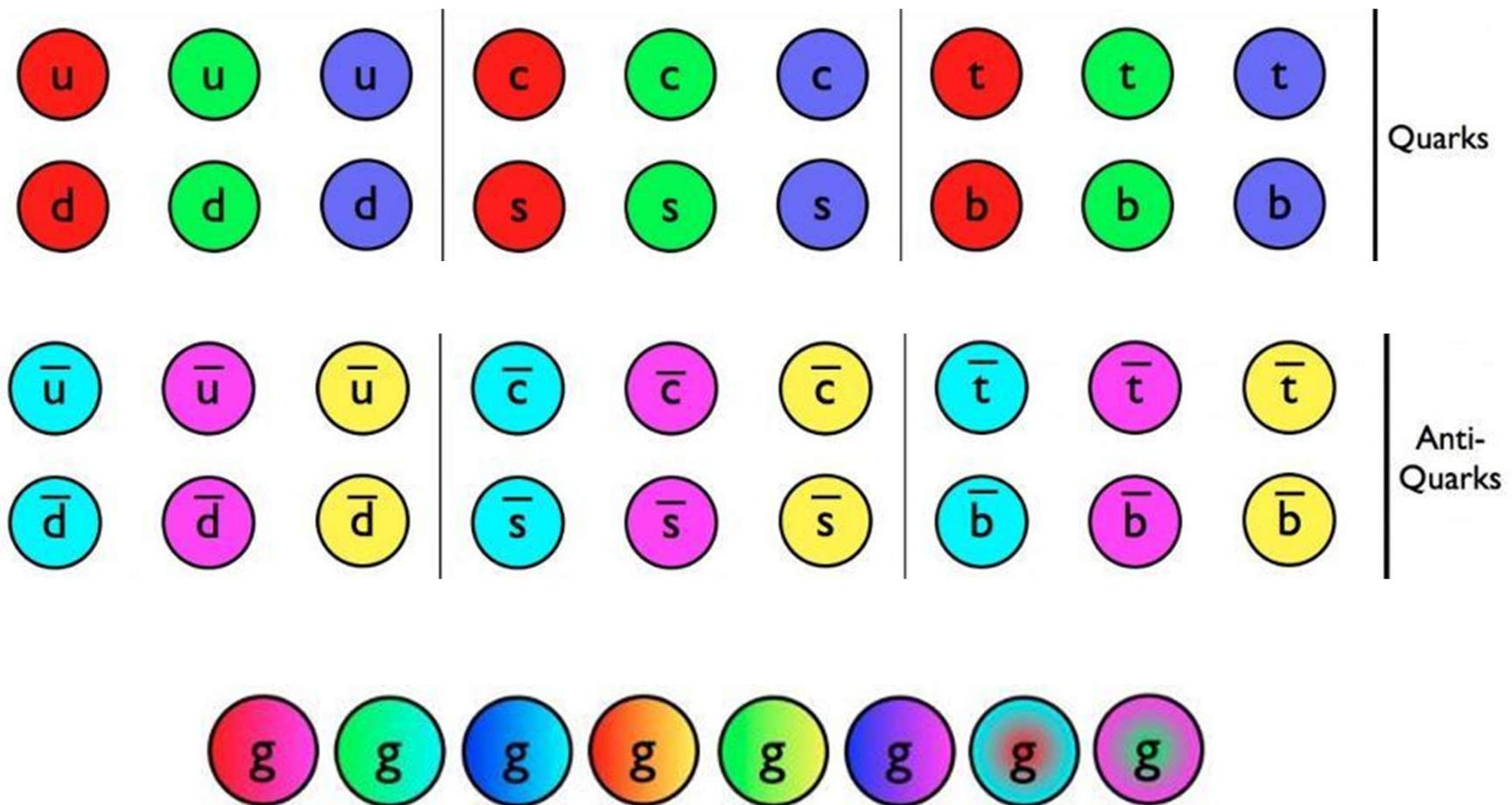
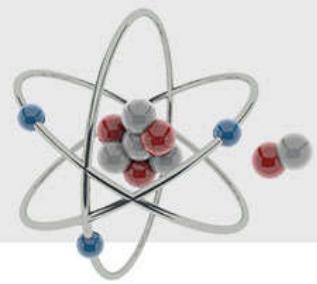
Δ^{++} гіперіон

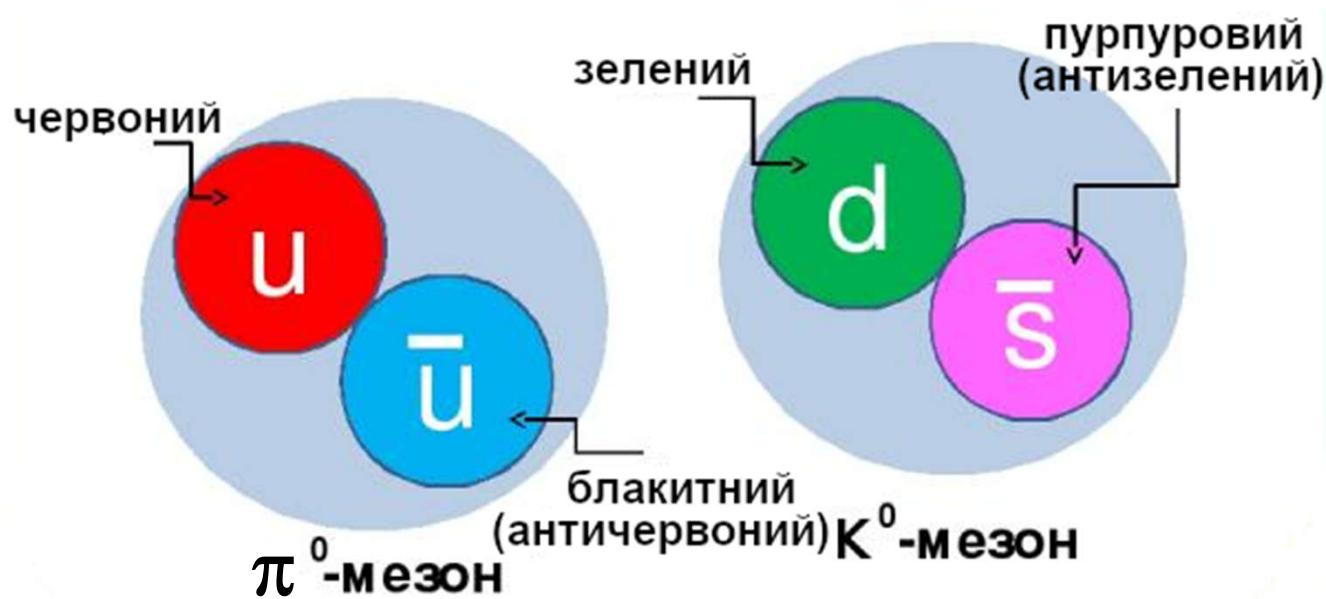
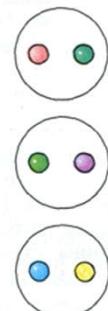
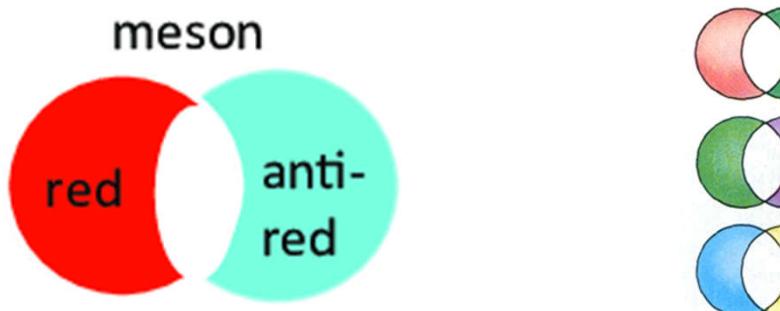
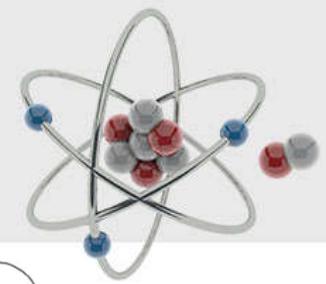
\equiv

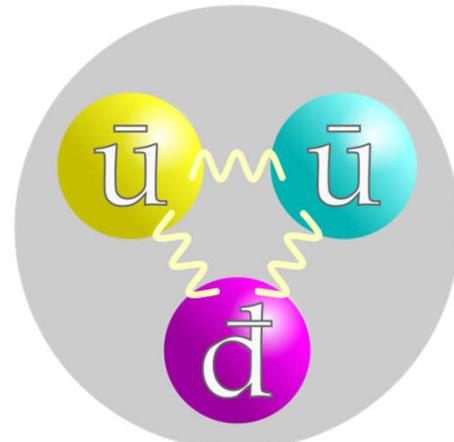
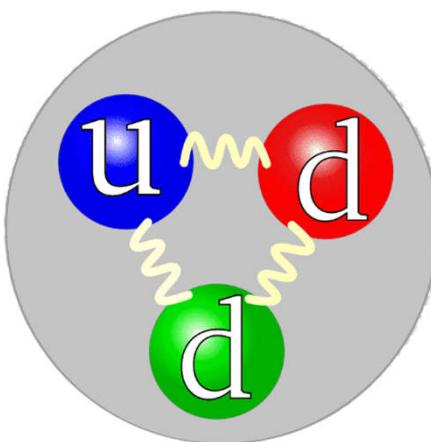
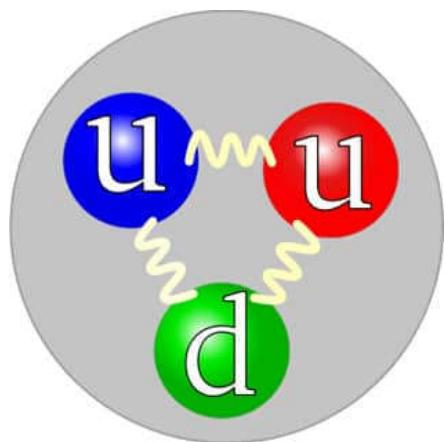
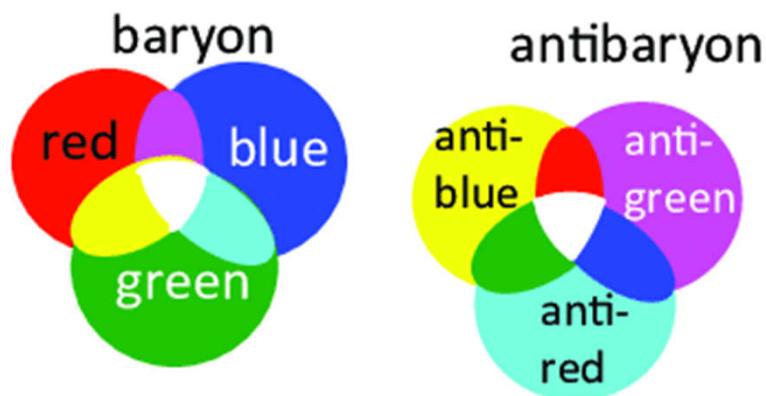
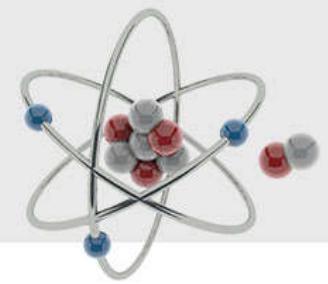
$$(u \ u \ u)$$



RGB

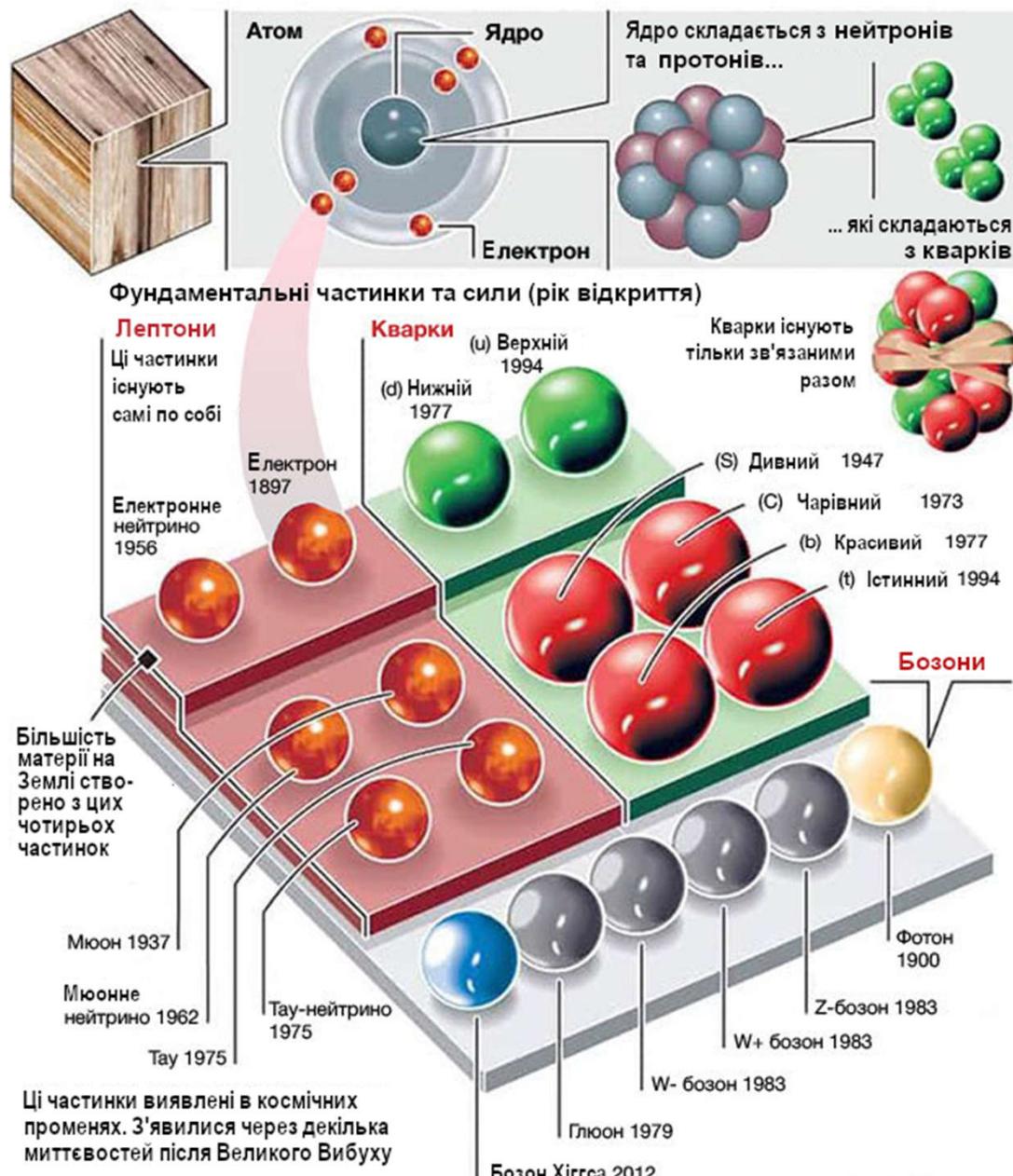






СТАНДАРТНА МОДЕЛЬ

Фізики вважають, що матерія, тобто все, що було створено у Всесвіті Великим Вибухом біля 14 млрд років назад, складається з 12 фундаментальних частинок та шести бозонів



Sources: CERN, Particle Physics and Astronomy Research Council

© GRAPHIC NEWS