

# Неорганічна хімія

Роман Гладішевський

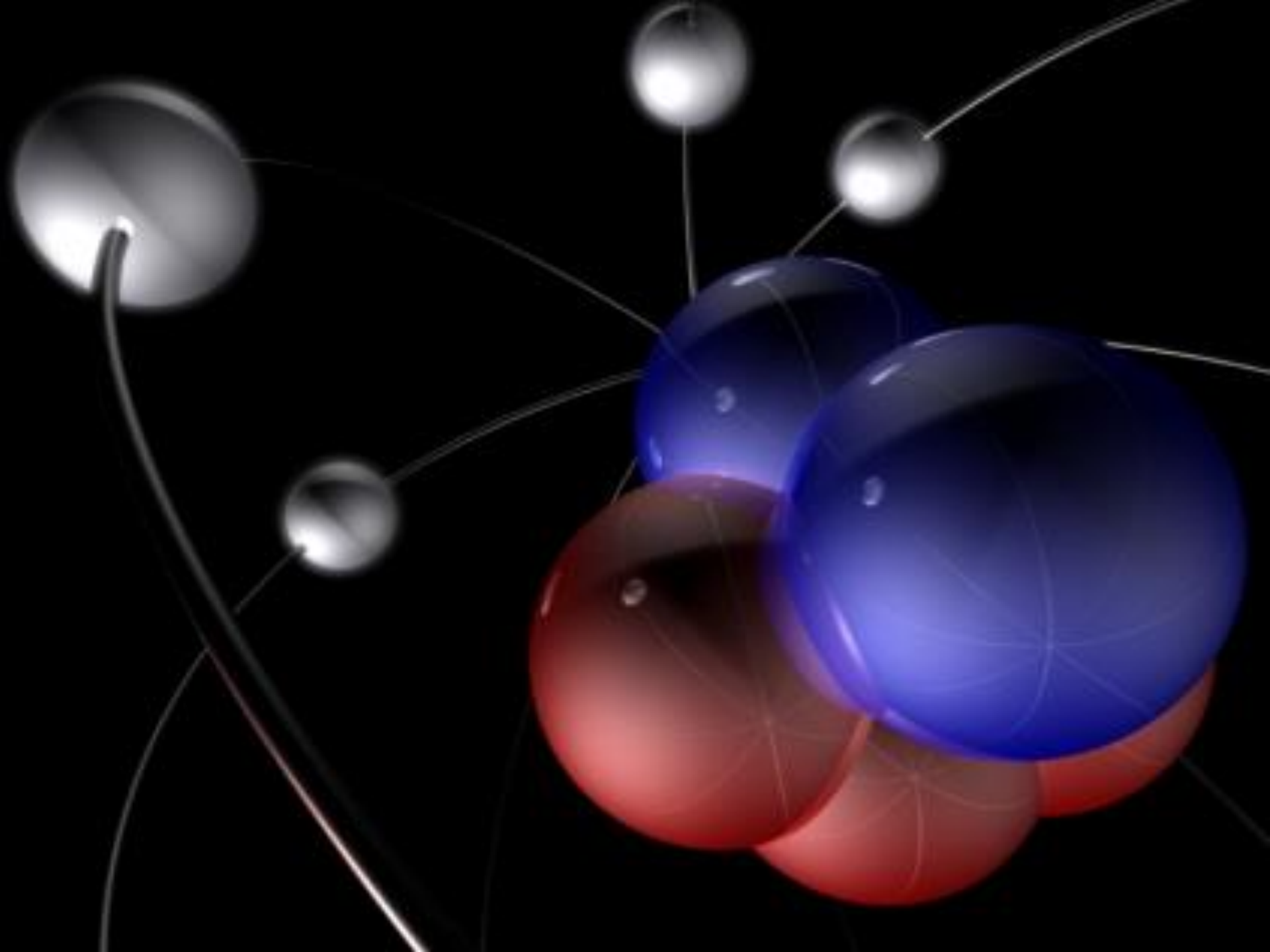


*кафедра неорганічної хімії*

*Львівський національний університет  
імені Івана Франка*

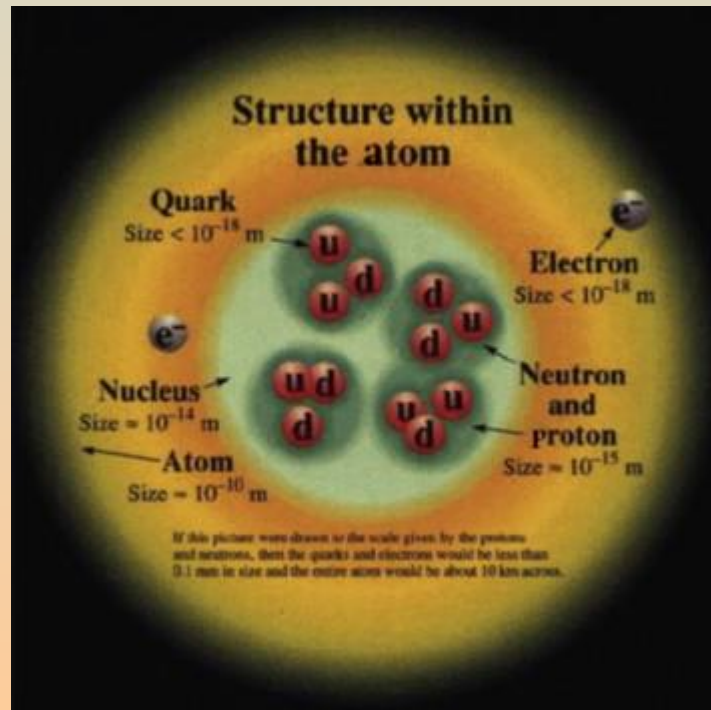


*Тема 26.*  
**Атомні ядра.**



**Атом – це мікросистема взаємодіючих частинок, яка складається з двох частин з протилежними зарядами – ядра та електронної оболонки.**

**Атомне ядро – позитивно заряджена центральна частина атома, в якій зосереджена майже вся його маса. Ядра складаються з протонів і нейтронів, які є різними станами однієї частинки – нуклона.**



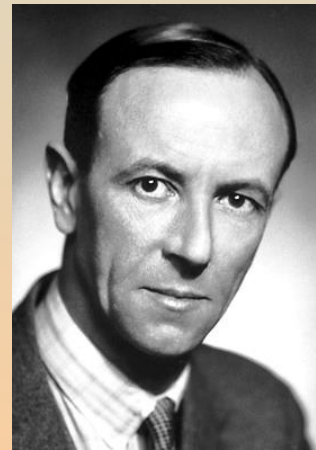
**Протон (p) – стабільна елементарна частинка з позитивним електричним зарядом  $q = 1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл, масою спокою  $m_p = 1,673 \cdot 10^{-24}$  г, відносною атомною масою  $A_r = 1,00728$  а.о.м. ( $1836,1 m_e$ ), спіном  $s = 1/2$  та магнітним моментом  $\mu_p = 2,793 \mu_N$ .**

**$\bar{e} = 1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл,  $m_e = 9,109 \cdot 10^{-28}$  г,  $1/1837$  маси атома Н)**

**Нейтрон (n) – електрично нейтральна елементарна частинка з  $m_n = 1,675 \cdot 10^{-24}$  г,  $A_r = 1,00867$  а.о.м. ( $1838,6 m_e$ ),  $s = 1/2$  і  $\mu_n = 1,913 \mu_N$  ( $n = p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$ ).**



Ернест Резерфорд  
1871-1937



Джеймс Чедвік  
1891-1974

# Протонно-нейтронна модель ядра

Розмір ядра залежить від кількості нуклонів, що в ньому містяться ( $r = 1,33 \cdot 10^{-13} \sqrt[3]{A}$  см,  $\rho = 1,4 \cdot 10^{14}$  г/см<sup>3</sup>). Загальне число протонів і нейтронів дорівнює цілочисловому, округленому значенню атомної маси, яке називають масовим, або нуклонним числом:

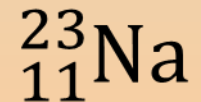
$$A = Z + N.$$

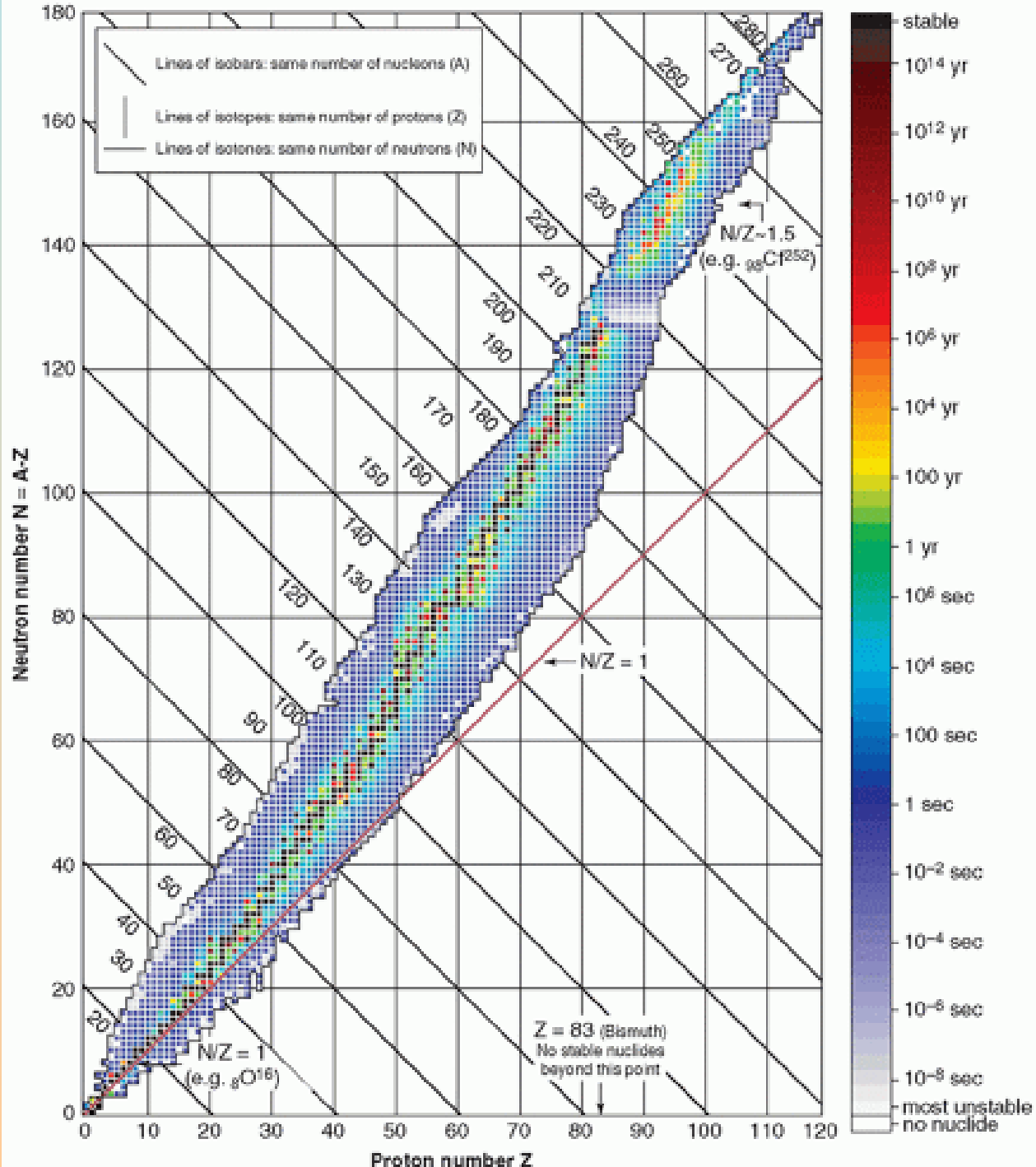
Кількість протонів у ядрі характеризує його заряд і дорівнює порядковому номеру хімічного елемента, або протонному числу ( $Z$ ), а кількість нейтронів ( $N$ ) відповідає різниці  $A - Z$ .

Нуклонне й протонне числа позначають відповідними верхнім і нижнім індексами зліва від символу елемента.



Вернер Гейзенберг  
1901-1976





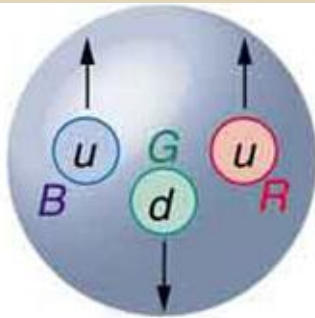


Маррі Гелл-Ман  
1929-2019

Три покоління  
матерії (ферміони)

	I	II	III	
маса спокою→	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
електричний заряд→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
спін→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
назва→	верхній	зачарований	істинний	фотон
	<b>u</b>	<b>c</b>	<b>t</b>	<b><math>\gamma</math></b>
	Кварки			
	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	нижній	дивний	чарівний	глюон
	<b>d</b>	<b>s</b>	<b>b</b>	<b>g</b>
	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	електронне нейтрино	мюонне нейтрино	тау- нейтрино	Z-бозон
	<b><math>\nu_e</math></b>	<b><math>\nu_\mu</math></b>	<b><math>\nu_\tau</math></b>	<b><math>Z^0</math></b>
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	$\pm 1$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	електрон	мюон	тау	W-бозон
	<b>e</b>	<b><math>\mu</math></b>	<b><math>\tau</math></b>	<b><math>W^\pm</math></b>
	Лептони			

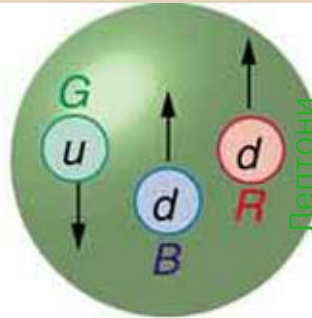
Калібрувальні бозони  
(переносники взаємодії)



Proton

Spin  $\frac{1}{2} + \frac{1}{2} - \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$

Charge  $+\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = 1$



Neutron

Spin  $-\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$

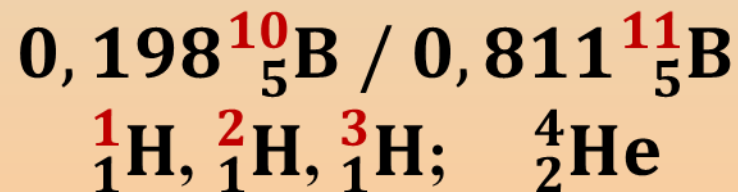
Charge  $+\frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0$

**Ядра всіх атомів певного елемента мають однакову кількість протонів. Вид ядер і атомів з певною кількістю протонів і нейтронів називають нуклідом.**

**Ізотопи – нукліди одного й того ж елемента, що відрізняються кількістю нейтронів ( ${}_{20}^{40}\text{Ca}$ ,  ${}_{20}^{42}\text{Ca}$ ).**

**Ізобари – атоми з різною кількістю протонів і нейтронів, але з однаковим нуклонним числом ( ${}_{19}^{40}\text{K}$ ,  ${}_{20}^{40}\text{Ca}$ ).**

**Ізотони – атоми з однаковою кількістю нейтронів, але з різною кількістю протонів ( ${}_{56}^{138}\text{Ba}$ ,  ${}_{57}^{139}\text{La}$ ).**



**Маса ядра завжди менша від суми мас нуклонів, з яких воно утворене, на величину, яку називають дефектом маси.**

$$m({}_2^4\text{He}) = 4,001506 \text{ а.о.м.}$$

$$m(2p+2n) = 4,031882 \text{ а.о.м.}$$

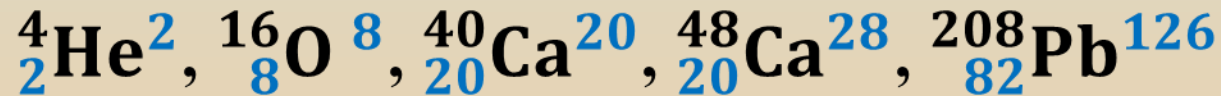
$$\text{дефект маси} = 0,030376 \text{ а.о.м.} \quad \rightarrow 3 \cdot 10^{-2} \text{ г/моль ядер}$$

$$\rightarrow 28,26 \text{ MeV}$$

# Моделі структур ядер

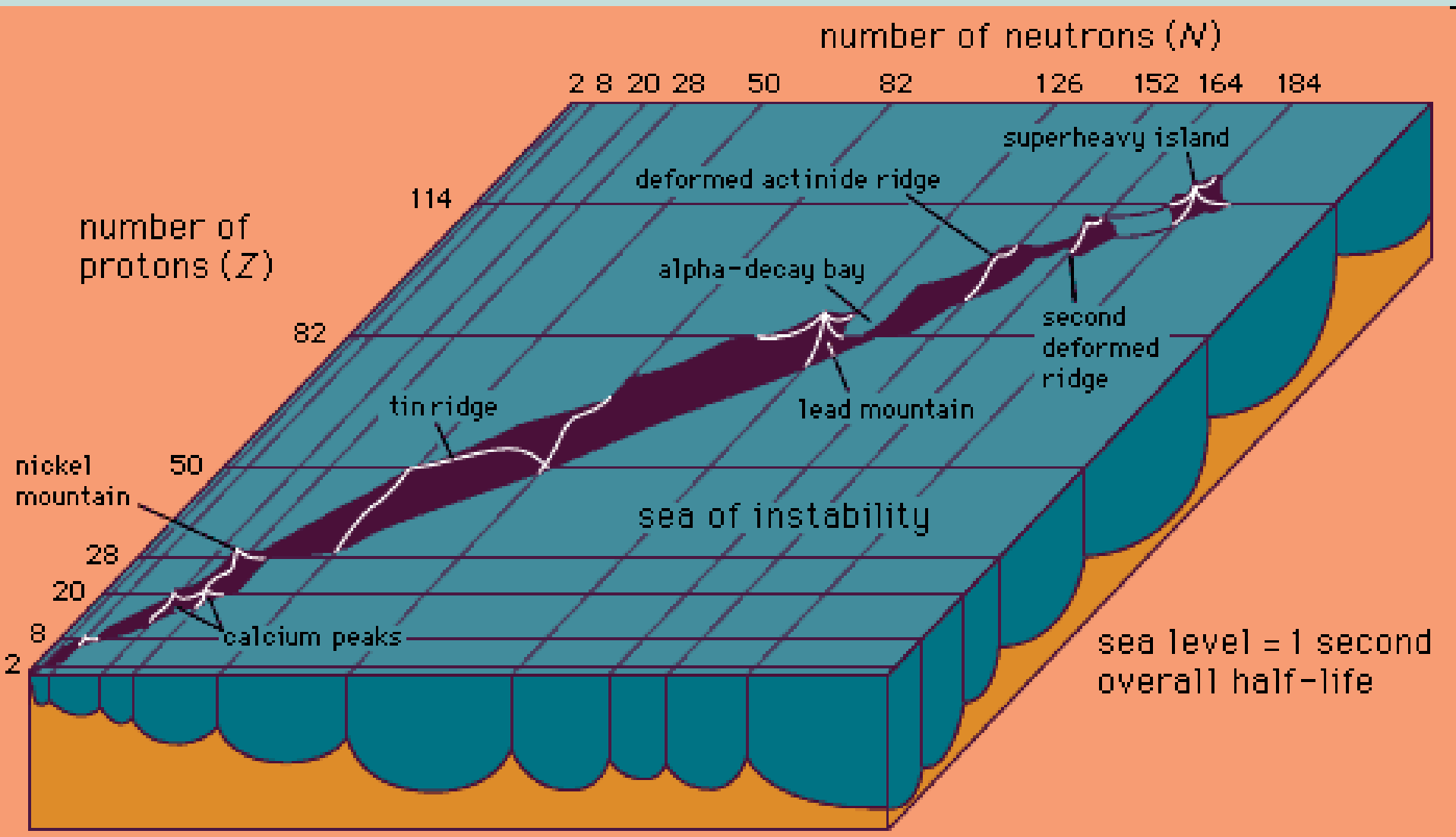
**Модель оболонкової структури ядер:** протони та нейтрони заповнюють ядерні шари подібно до електронів на енергетичних рівнях атомів. Особливо стійкими є ядра з цілком заповненими шарами, яким відповідають магічні числа:

2, 8, 20, 28, 50, 82, 126.



**Краплинна модель:** ядро розглядають як краплину рідини, що містить менші краплинки.

**Узагальнена модель ядра** є синтезом двох попередніх.



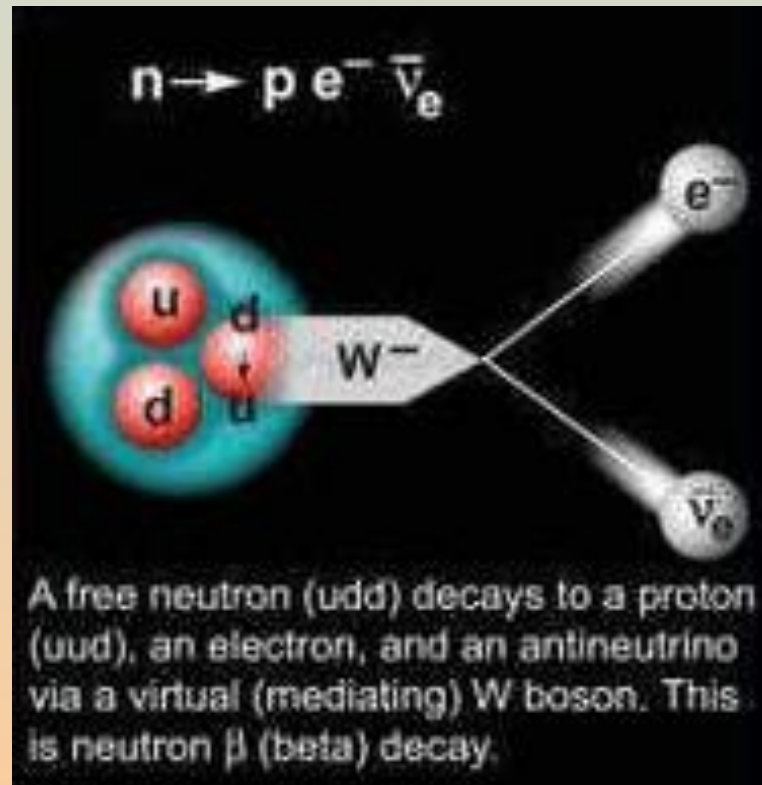
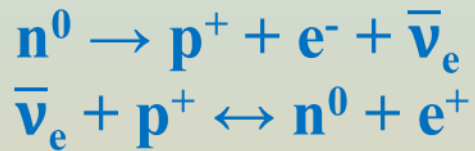
number of protons  
(type of element) ↑

8						<sup>13</sup> O	<sup>14</sup> O	<sup>15</sup> O	<sup>16</sup> O	<sup>17</sup> O	<sup>18</sup> O	<sup>19</sup> O	<sup>20</sup> O	<sup>21</sup> O	<sup>22</sup> O	<sup>23</sup> O	<sup>24</sup> O
7						<sup>12</sup> N	<sup>13</sup> N	<sup>14</sup> N	<sup>15</sup> N	<sup>16</sup> N	<sup>17</sup> N	<sup>18</sup> N	<sup>19</sup> N	<sup>20</sup> N	<sup>21</sup> N	<sup>22</sup> N	<sup>23</sup> N
6				<sup>9</sup> C	<sup>10</sup> C	<sup>11</sup> C	<sup>12</sup> C	<sup>13</sup> C	<sup>14</sup> C	<sup>15</sup> C	<sup>16</sup> C	<sup>17</sup> C	<sup>18</sup> C	<sup>19</sup> C	<sup>20</sup> C		<sup>22</sup> C
5				<sup>8</sup> B		<sup>10</sup> B	<sup>11</sup> B	<sup>12</sup> B	<sup>13</sup> B	<sup>14</sup> B	<sup>15</sup> B		<sup>17</sup> B		<sup>19</sup> B		
4				<sup>7</sup> Be		<sup>9</sup> Be	<sup>10</sup> Be	<sup>11</sup> Be	<sup>12</sup> Be		<sup>14</sup> Be						
3				<sup>6</sup> Li	<sup>7</sup> Li	<sup>8</sup> Li	<sup>9</sup> Li		<sup>11</sup> Li								
2		<sup>3</sup> He	<sup>4</sup> He		<sup>6</sup> He		<sup>8</sup> He		<sup>10</sup> He								
1	<sup>1</sup> H	<sup>2</sup> H	<sup>3</sup> H	<sup>4</sup> H													
0		n															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

number of neutrons →  
(type of isotope)

Proton + Neutron Element	■	naturally-occurring stable nuclei (stable nuclei)
	□	unstable nuclei (radioisotopes)
	■	Nucleus discovered at RIKEN

Нейтрино ( $\nu_e$ ) і антинейтрино ( $\bar{\nu}_e$ ) – елементарні частинки з масою спокою  $< 1/2000 m_e$ , відрізняються між собою орієнтацією спінів.



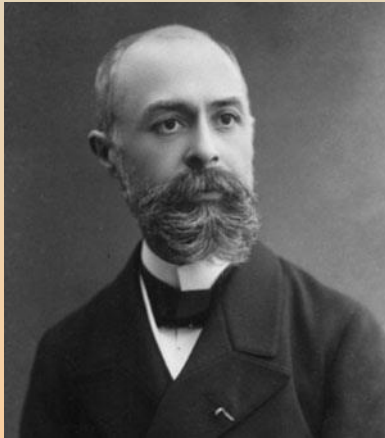
# Радіоактивність

**Резерфорд, Содді, 1903**

**Радіоактивність – самочинне перетворення нестійких ядер атомів одного хімічного елемента в ядра атомів іншого елемента, яке супроводжується випусканням елементарних частинок або ядер.**

**Природну радіоактивність виявляють ядра елементів, що існують у природі.**

**Штучна радіоактивність зумовлена штучно добутими атомними ядрами.**



Антуан Анрі Беккерель  
1852-1908



Ірен і Фредерік Жоліо-Кюрі  
1897-1956, 1900-1958

**Ядра атомів стійкі тільки при співвідношенні  $n/p = 1,1-1,2$ . Усі елементи, що розміщені у періодичній системі після Ві, а також Тс і Рт є радіоактивними. Стійкість ядер можна охарактеризувати параметром Бора – значенням співвідношення  $Z^2/A$ . Якщо це співвідношення більше ніж 33, то ядро нестійке.**

**Швидкість радіоактивного розпаду залежить тільки від виду ядер та їх кількості. Основний закон радіоактивності виражається кінетичним рівнянням першого порядку**

$$dN/dt = -\lambda N,$$

**де  $dN/dt$  – кількість ядер, що розпалися за одиницю часу (швидкість розпаду),  $\lambda$  – константа радіоактивного розпаду,  $N$  – кількість ядер, які не розпалися до моменту часу  $t$  із загальної початкової кількості ядер ( $N_0$ ).**

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

Для характеристики швидкості розпаду вказують час розпаду, протягом якого кількість ядер зменшиться вдвічі – період піврозпаду  $t_{1/2}$

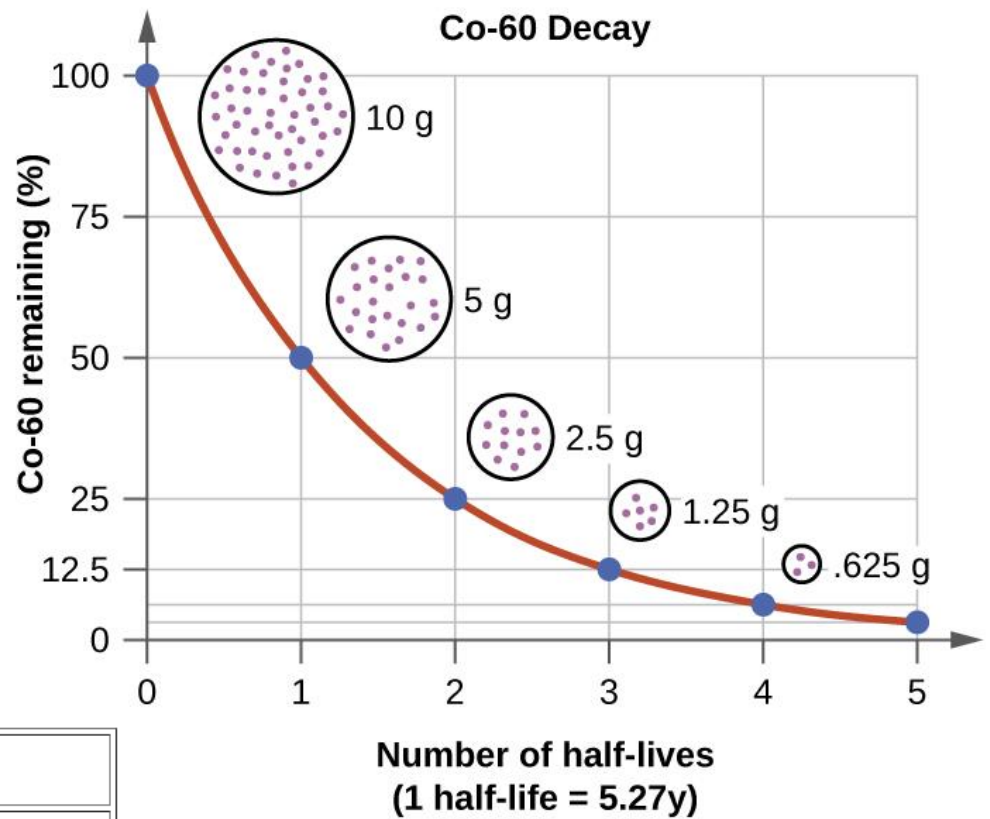
$$N_0/2 = N_0 \cdot e^{-\lambda t} ; \lambda t_{1/2} = \ln 2 = 0,693$$

чим менший період піврозпаду, тим більша константа розпаду.

Межі періоду піврозпаду різних радіоактивних нуклідів: від  $10^{10}$  р. до  $10^{-11}$  с.

Кількість розпадів на одиницю часу називають активністю даного виду ядер. Одиницею активності нукліда, яка дорівнює одному розпаду за секунду, є беккерель.

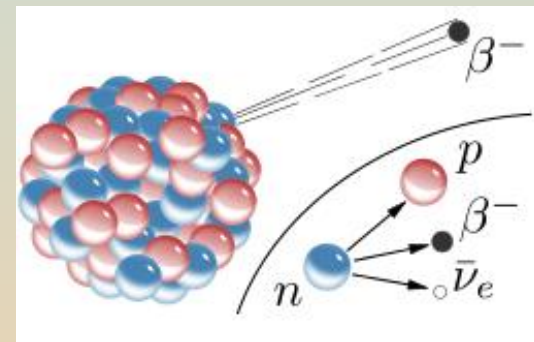
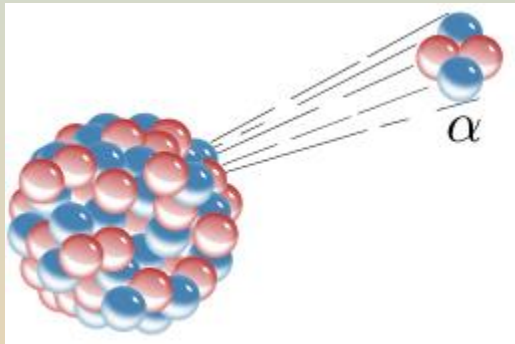
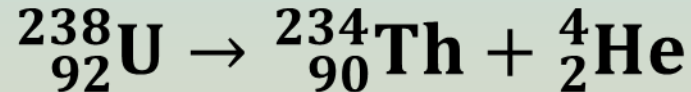
$$1 \text{ Кі} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$$



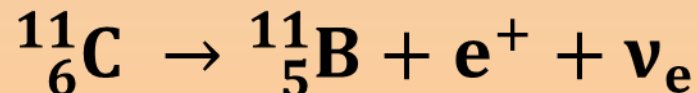
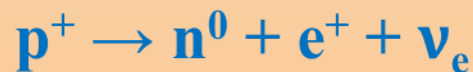
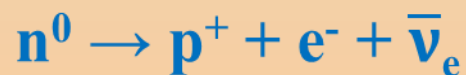
<u>Radioisotope</u>	<u>Half-life</u>
Polonium-215	0.0018 seconds
Bismuth-212	60.5 seconds
Sodium-24	15 hours
Iodine-131	8.07 days
Cobalt-60	5.26 years
Radium-226	1600 years
Uranium-238	4.5 billion years

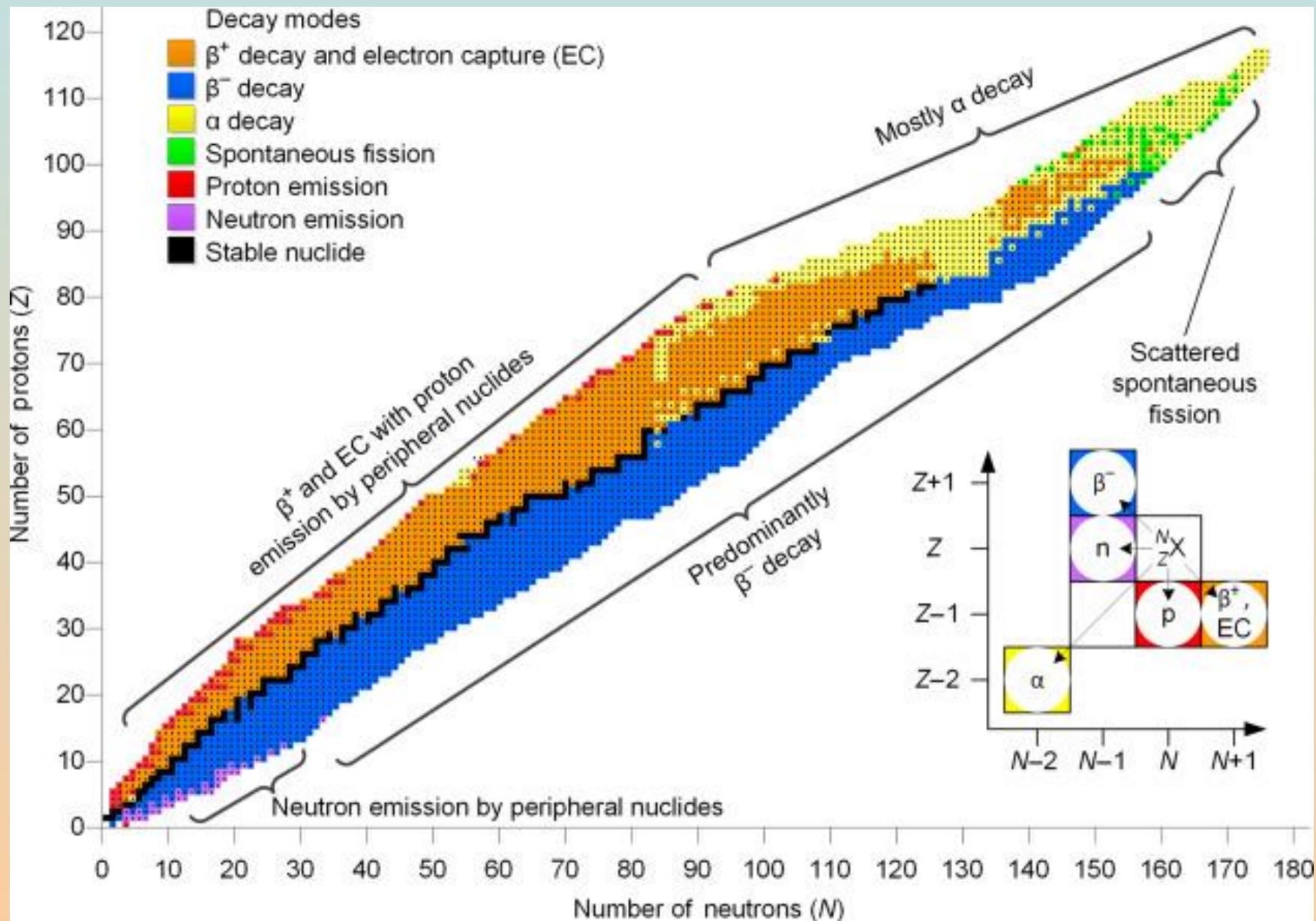
# Ядерні перетворення

$\alpha$ -розпад – ядро атома випускає  $\alpha$ -частинку, тобто ядро Гелію.

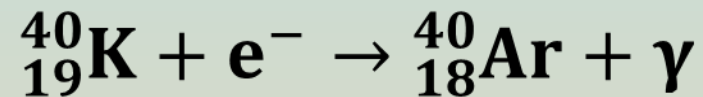


$\beta$ -розпад – ядро випускає електрон (електронний, або  $\beta^-$ -розпад), позитрон (позитронний, або  $\beta^+$ -розпад) чи захоплює орбітальний електрон.

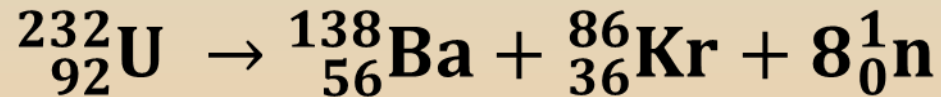




## Захоплення електронів

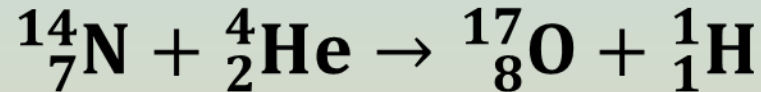


## Спонтанний поділ ядер

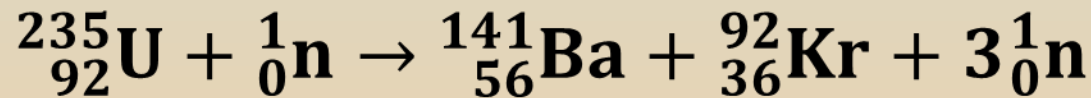


# Ядерні реакції

Резерфорд, 1903

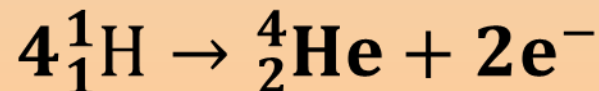


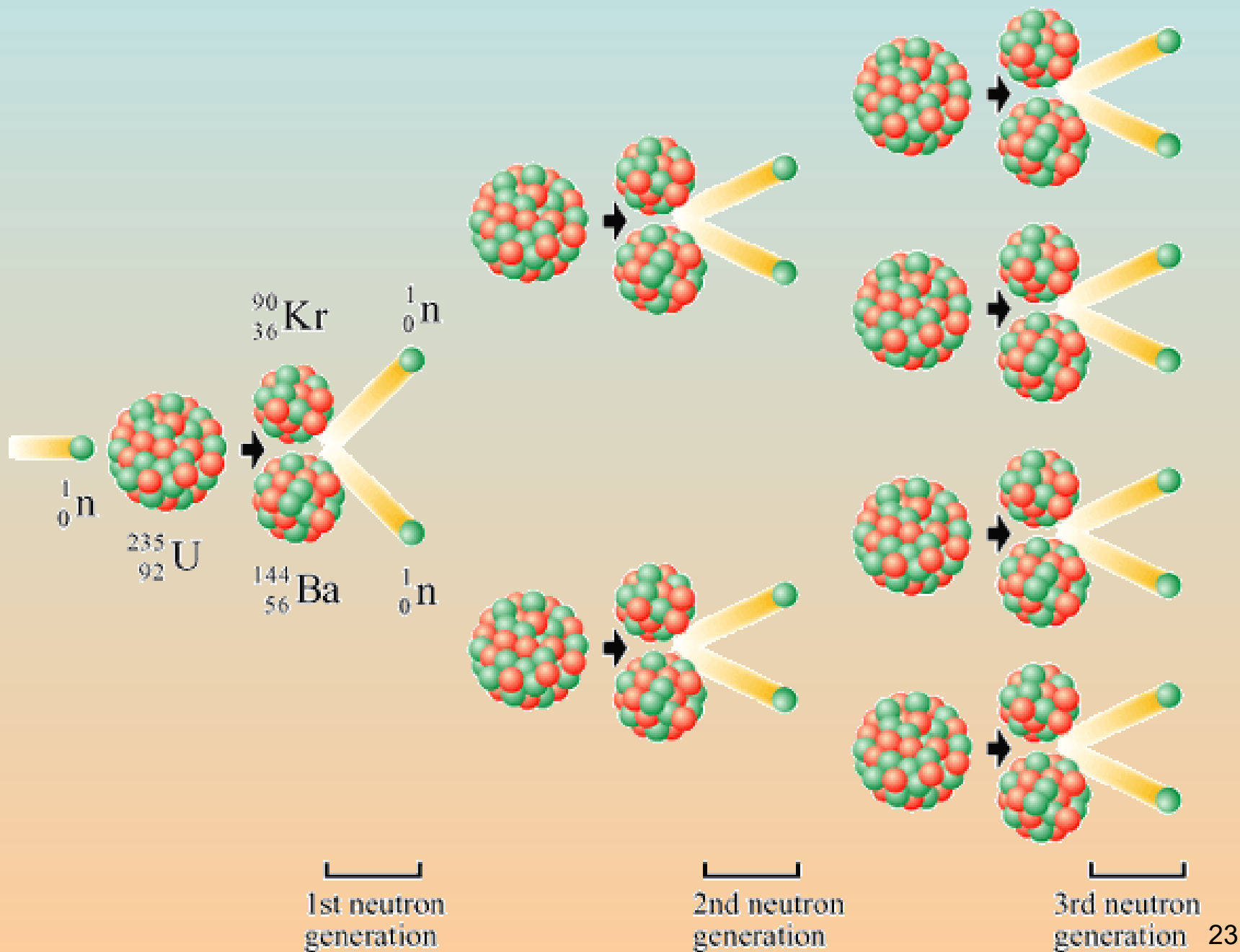
Приклад екзотермічного ядерного перетворення – реакція поділу ядер Урану тепловими нейтронами.



200 МеВ/атом  $\rightarrow$   $8,4 \cdot 10^7$  кДж/г

Термоядерні реакції





# **Дія на організм радіоактивного випромінювання**

**Радіоактивне опромінення призводить до значного пошкодження живої тканини.**

**Іонізація хімічних речовин в біологічній тканині створює можливість хімічних реакцій, які невластиві для біологічних процесів, й до утворення шкідливих речовин.**

**Пошкодження радіацією ДНК викликає мутації.**

**Робота з радіоактивними речовинами вимагає ретельного дотримання правил техніки безпеки.**

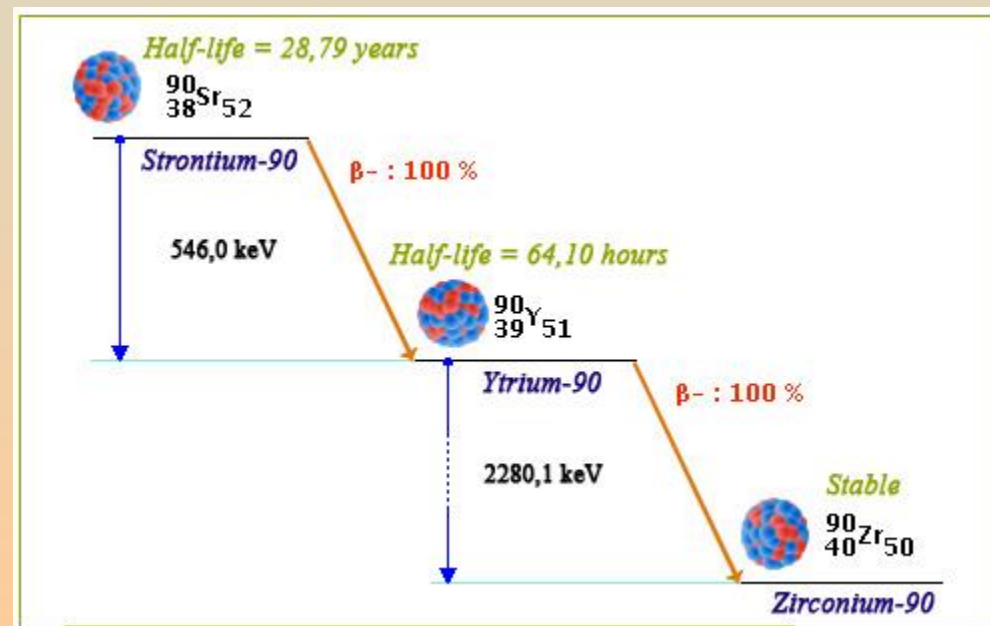
**Радіоактивні речовини позначаються спеціальним символом.**

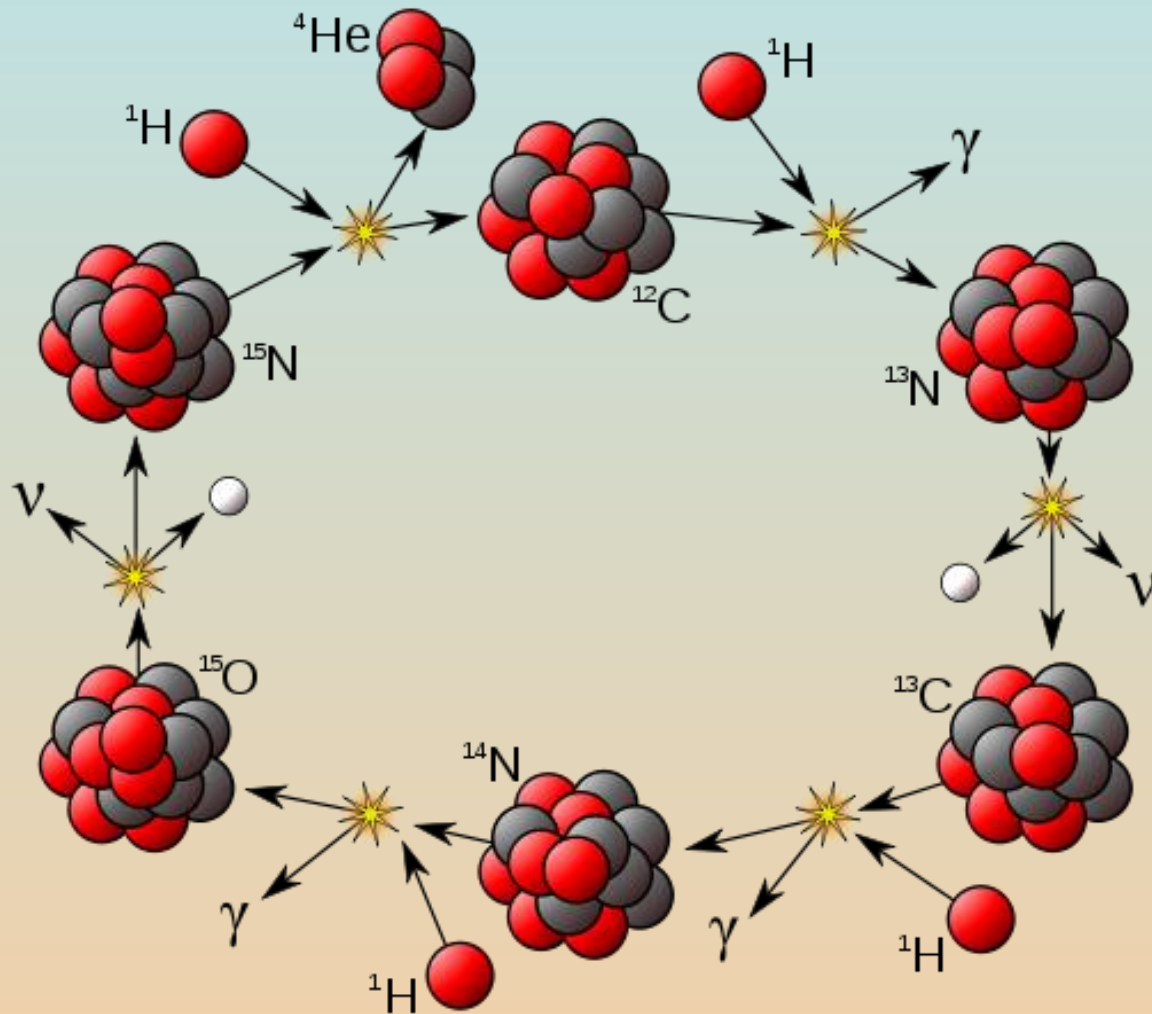





# Major products of nuclear fission $^{235}\text{U}$



products	half-life	$\beta$ decay
caesium137	30.17y	$^{137}\text{Cs} \rightarrow e^- + ^{137}\text{Ba}$
caesium134	2.0648y	$^{134}\text{Cs} \rightarrow e^- + ^{134}\text{Ba}$
Strontium90	28.9y	$^{90}\text{Sr} \rightarrow e^- + ^{90}\text{Y}$
iodine131	8.0207d	$^{131}\text{I} \rightarrow e^- + ^{131}\text{Xe}$





	Proton	$\gamma$	Gamma Ray
	Neutron	$\nu$	Neutrino
	Positron		