

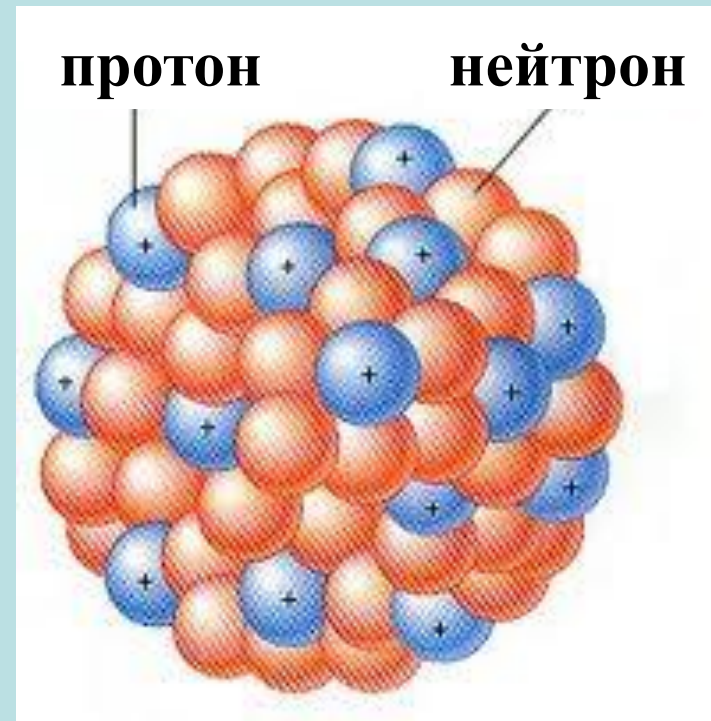
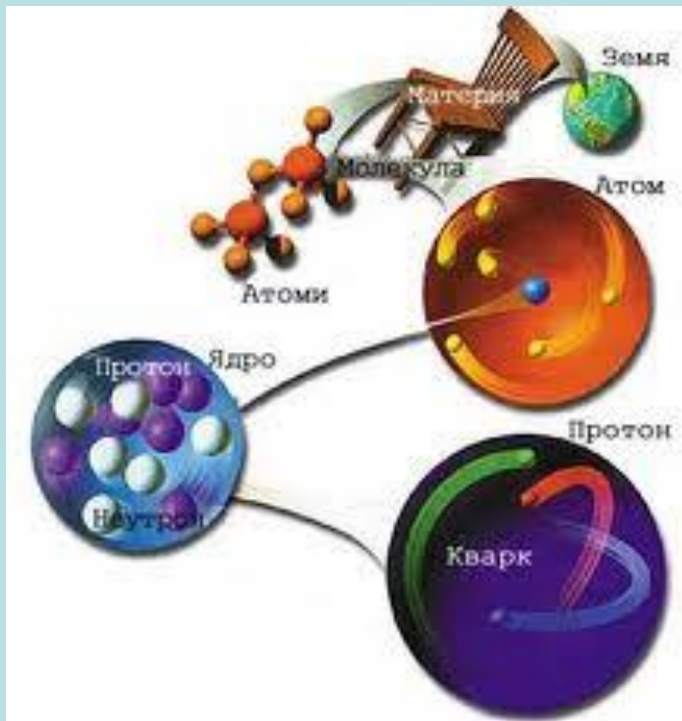
Лекція № 15. ЯДЕРНА ФІЗИКА

1. **Склад, будова та характеристики атомних ядер.**
2. **Ядерні сили**
3. **Ядерні реакції. Радіоактивність**
4. **Закон поглинання. Доза та потужність дози опромінення. Радіаційна стійкість будівельних матеріалів**
5. **Дефект маси та енергія зв'язку атомних ядер**
6. **Шляхи одержання внутрішньоядерної енергії. Ядерні реактори**

Ядерна фізика – розділ фізики, що вивчає методи спостереження та реєстрації мікрочастинок; досліджує структуру атомних ядер; вивчає процеси радіоактивного розпаду, механізми протікання ядерних реакцій, їх закономірності та способи використання ядерної енергії; вивчає елементарні частинки, їх класифікацію та взаємоперетворення.

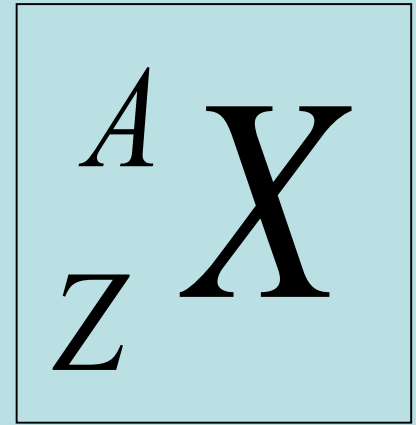
1. Склад, будова та характеристики атомних ядер.

Згідно *нуклонної теорії*, атомне ядро складається із елементарних частинок — *нуклонів* — протонів і нейтронів.



Для позначення атомних ядер використовують символ:

де X – хімічний символ елемента даного атома;



A – масове число – визначає число нуклонів (протонів і нейтронів) у ядрі атома,

Z – зарядове число – вказує порядковий номер хімічного елемента у періодичній системі елементів Менделєєва, а також визначає кількість протонів у ядрі або кількість електронів в атомі,

Ze – заряд ядра атома,

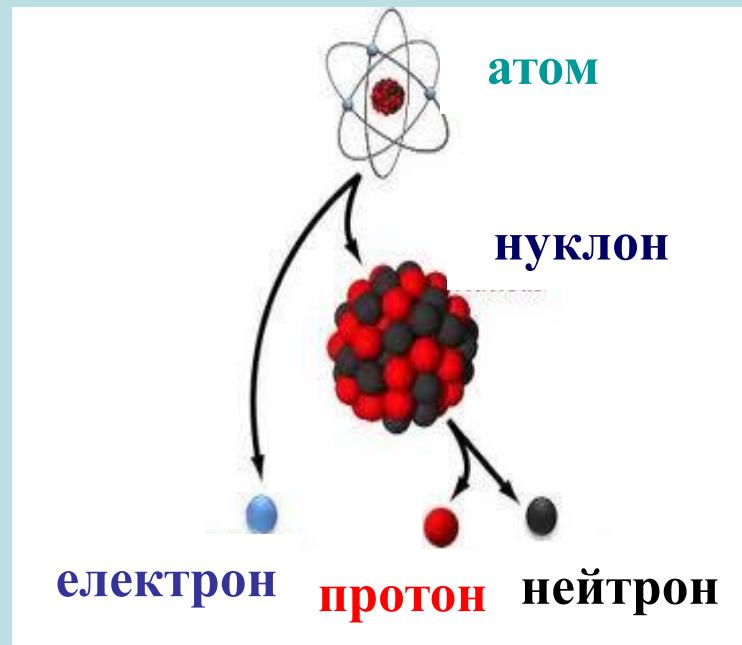
$A-Z$ – кількість нейтронів в ядрі атома.

Електрон – негативно заряджена частинка,

$${}_{-1}^0e$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл},$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}.$$



Протон – позитивно заряджена частинка,



$$q_p = |e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл},$$

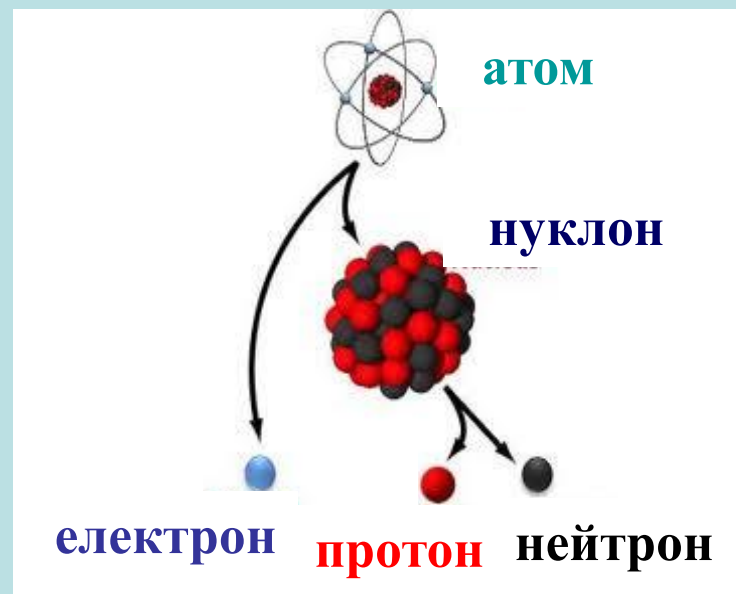
$$m_p = 1,0072764 \text{ а.о.м.}$$

$$m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ кг},$$

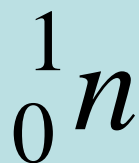
$$m_p \approx 1836 m_e,$$

де

$$1 \text{ а.о.м.} = 1,66053 \cdot 10^{-27} \text{ кг}.$$



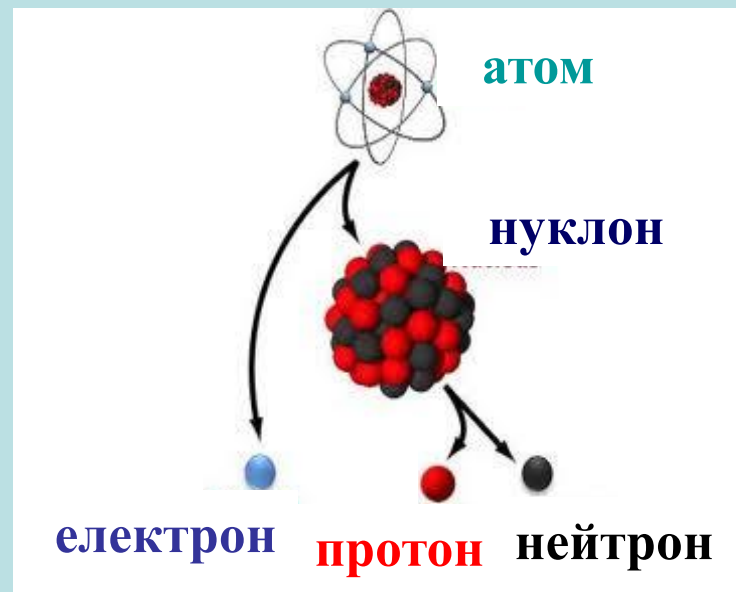
Нейтрон – нейтральна частинка,

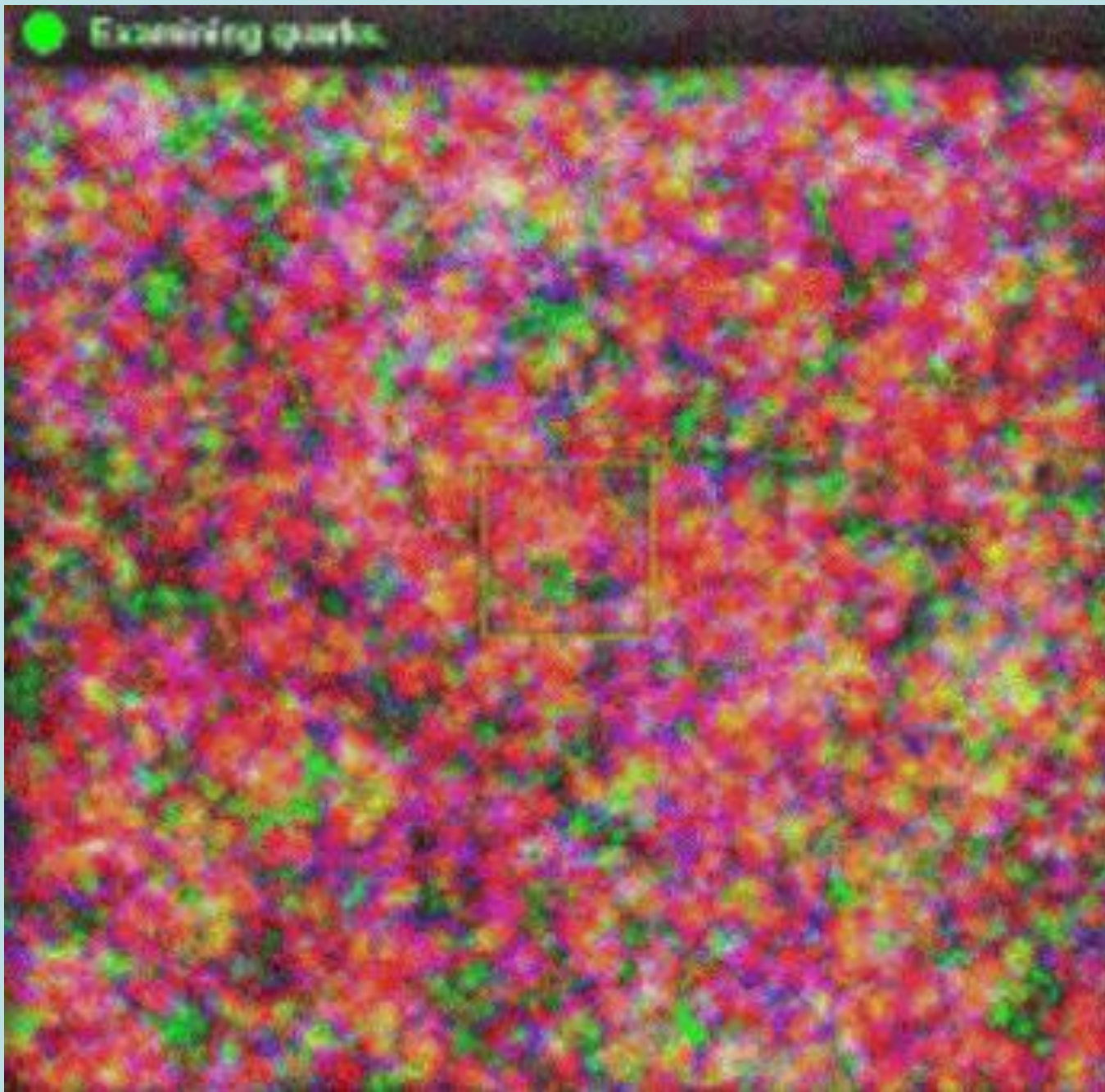


$$m_n = 1,009665 \text{ a.o.m.}$$

$$m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

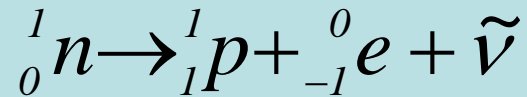
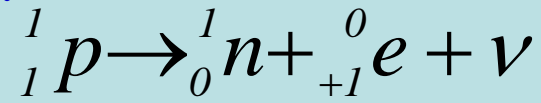
$$m_n \approx 1839 m_e.$$





Частинки 1_1p , 1_0n - нестабільні, реакції їх розпаду

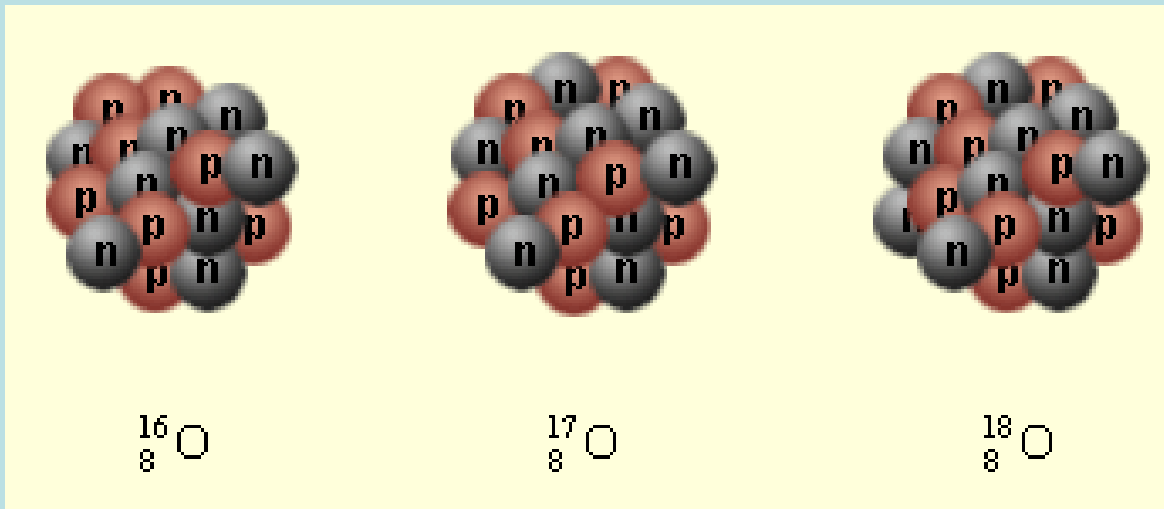
мають вигляд:



Де ${}^0_{+1}e$ – позитрон, ν – нейтрино, $\tilde{\nu}$ – антинейтрино.

Ядра, які мають однакові зарядові числа, але різні масові числа, називають *ізотопами*.

Наприклад, водень 1_1H має два ізотопи 2_1D і 3_1T (дейтерій і тритій). Ці ізотопи відрізняються кількістю нейтронів у ядрі.



2. Ядерні сили. Моделі ядер

До складу атомного ядра входить Z протонів і $A-Z$ нейтронів.

Незважаючи на те, що між протонами діють сили кулонівського відштовхування, атомні ядра є досить стійкими системами. Це вказує на те, що в ядрах атомів діють специфічні сили притягання, які називають **ядерними силами**.

Основні властивості ядерних сил:

1. Ядерні сили є *силами притягання*.
2. Ядерні сили досить значні, тому таку *взаємодію* називають *сильною*. Енергія зв'язку, що припадає на один нуклон у ядрі, досягає $7-8,5 \text{ MeV}$.

Сили взаємодії ядра з електронами атома забезпечують енергію зв'язку від десятків до тисяч електрон-вольт, а сили зв'язку між атомами в молекулах забезпечують енергію зв'язку в кілька електрон-вольт.

3. Ядерні сили є *короткодійними*.

На відміну від електромагнітних і гравітаційних сил, радіус дії ядерних сил приблизно дорівнює розміру нуклона (10^{-15} м). При $r > 10^{-14} \text{ м}$ ядерні сили практично дорівнюють нулю.

4. Ядерні сили мають *властивість зарядової незалежності*, тобто величина ядерних сил не залежить від електричного заряду взаємодіючих нуклонів.

Ядерні взаємодії між двома протонами або між двома нейтронами, або між протоном і нейтроном однакові.

5. Ядерні сили мають *властивість насичення*, тобто кожен нуклон в ядрі взаємодіє лише з обмеженою кількістю найближчих до нього нуклонів.

Насичення проявляється в тому, що питома енергія зв'язку нуклонів у ядрі при збільшенні числа нуклонів не зростає, а залишається приблизно сталою (якщо не враховувати легкі ядра).

6. Ядерні сили залежать від *орієнтації спінів нуклонів*, які взаємодіють.

Система з протона і нейтрона утворює ядро-дейтрон лише у випадку, коли спіни протона і нейтрона паралельні. Якщо ж спіни протилежно напрямлені, то нейтрон і протон ядра не утворюють.

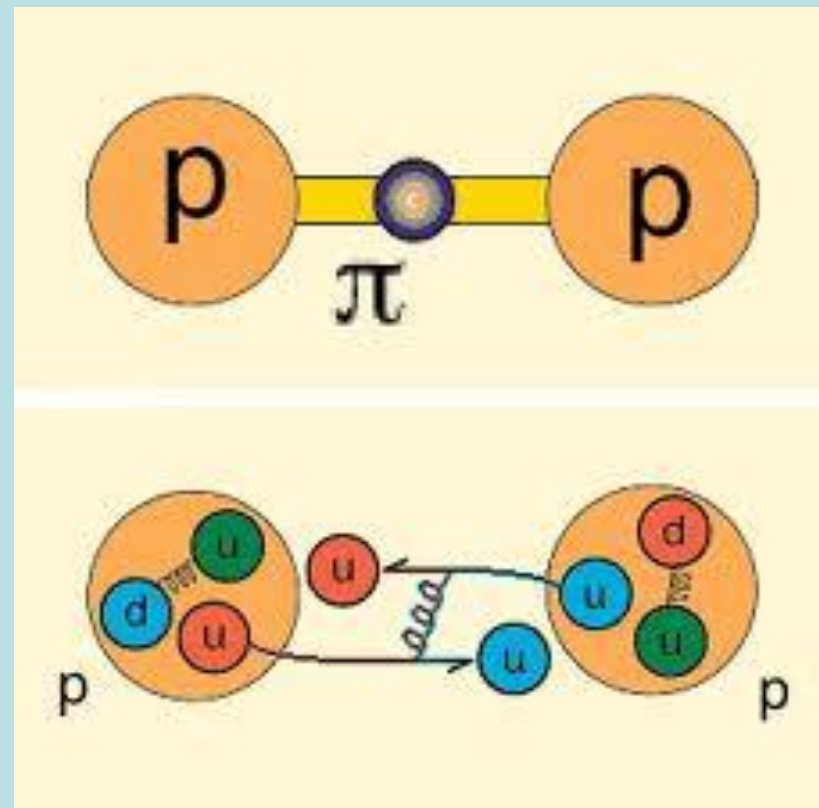
7. Величина ядерних сил також залежить від *взаємної орієнтації спіну та орбітального моменту кожного нуклона*.

8. Ядерні сили не є *центральними силами*.

Ядерні сили не є силами, які можна уявити такими, що діють вздовж лінії, яка з'єднує центри взаємодіючих нуклонів.

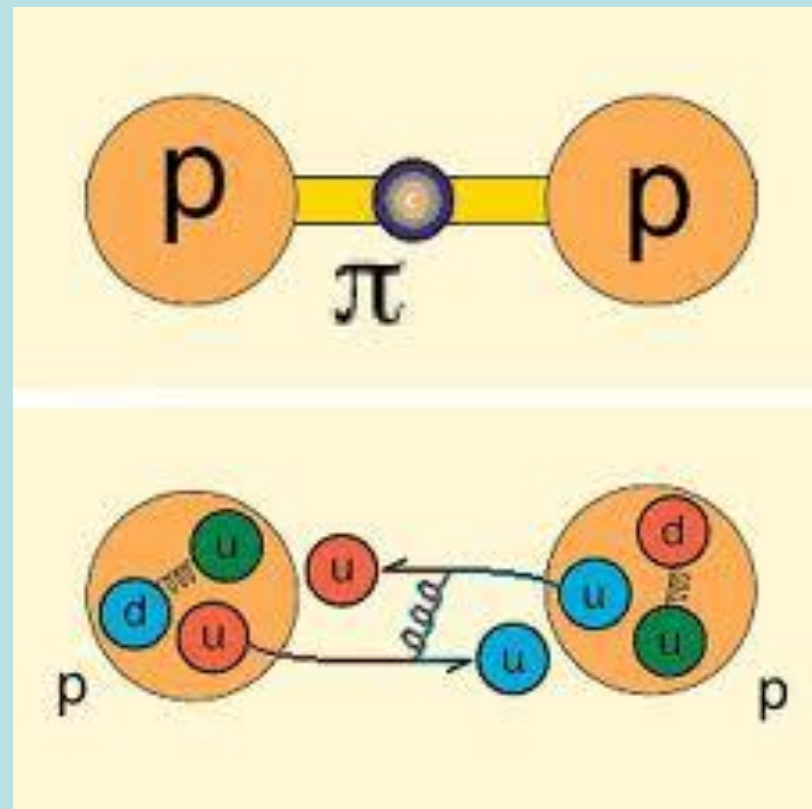
Для пояснення властивостей ядерних сил – насичення і короткодії – В. Гейзенберг висунув гіпотезу про те, що ядерні сили є „обмінними силами” забезпечуються між двома нуклонами третьою частинкою, маса якої у 300 разів має перевищувати масу електрона.

У 1935 р. японський фізик Хідекі Юкава висунув гіпотезу про те, що ядерні сили забезпечуються мезонами („мезос” – з гр. середній), які були виявлені у 1947 році в космічному випромінюванні.



Виявилось, що існує три типи π -мезонів: π^+ , π^- і π^0 . Заряди π^+ і π^- за абсолютною величиною дорівнюють заряду електрона, маса зарядженого мезона, $m_{\pi^\pm} = 273 m_e$, маса π^0 - мезона $m_{\pi^0} = 264 m_e$. Спін π -мезонів дорівнює нулю

Механізм ядерної взаємодії – з один нуклон випускає π -мезон, а другий нуклон його поглинає упродовж 10^{-23} с. Частинки, які існують лише в області дії ядерних сил протягом ядерного часу, називають **віртуальними**.



Донині не створена єдина послідовна теорія атомного ядра. Тому сьогодні користуються наближеними ядерними моделями, кожна з яких описує лише певні властивості ядра.

Моделі ядер:

- 1. Краплинна модель ядра.*
- 2. Оболонкова модель ядра.*
- 3. Оптична модель ядра.*

Краплинна модель ядра. (1936 р., Н. Бор, Я. Френкель) – ґрунтується на аналогії між поведінкою нуклонів у ядрі та молекул в краплині рідини. Сили, що діють між складовими частинами ядра короткодійчі та мають властивість насичення. Ядерна речовина характеризується сталою густиною, незалежною від числа нуклонів у ядрі.

При отриманні певної енергії краплина ядерної рідини переходить у збуджений стан. Отримана енергія швидко перерозподіляється між нуклонами, проте можуть виникнути такі умови, коли отримана енергія концентрується на поверхневому нуклоні або групі нуклонів. Якщо ця енергія більша від енергії зв'язку частинки в ядрі, частинка може подолати поверхневі сили ядерного притягання і вийти з ядра.

Краплинна модель ядра дозволила отримати напівемпіричну формулу для енергії зв'язку нуклонів у ядрі, пояснила механізм реакцій поділу ядер. Однак не змогла пояснити, наприклад, підвищену стійкість ядер, які містять магічні числа протонів і нейтронів.

Оболонкова модель ядра. (1949-50 р., нім. фізик Х. Йенсен, амер. фізик М. Гепперт-Майєр) базується на припущенні, що нуклони в ядрі розташовуються на дискретних рівнях (оболонках), заповнюючи їх згідно принципу Паулі.

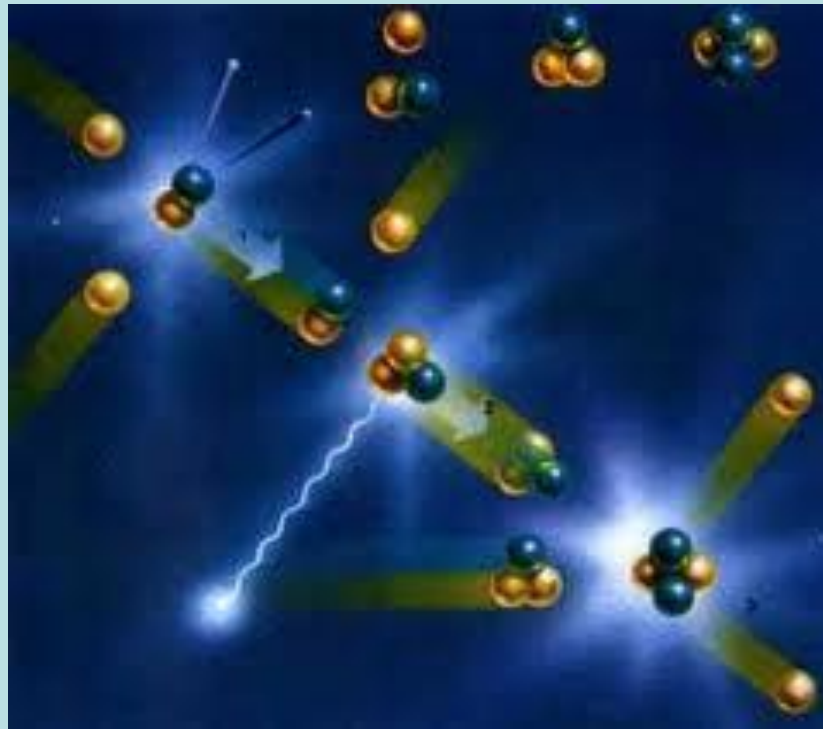
Стійкість ядер залежить від ступеня заповнення таких оболонок. Вважається, що ядра з повністю заповненими оболонками найбільш стійкі. Дослідами підтверджено існування найбільш стійких (магічних) ядер.

Оболонкова модель ядра дозволила пояснити спіни і магнітні моменти ядер, різну стійкість атомних ядер, періодичність зміни їх властивостей.

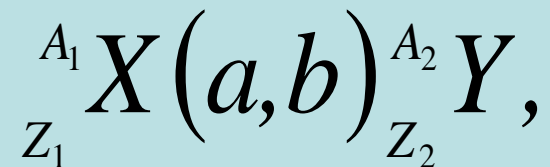
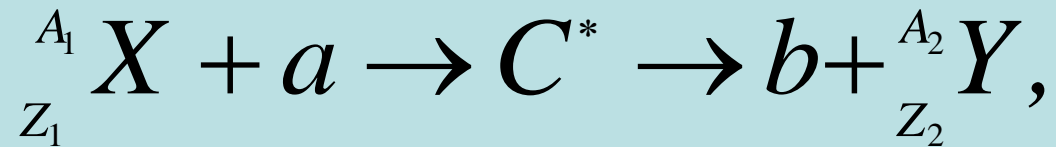
Нові експериментальні дані про властивості атомних ядер, які появились в результаті подальших досліджень, виходили за рамки обох теорій. Так виникла узагальнена модель (синтез краплинної і оболонкової) – **оптична модель ядра** – пояснює взаємодію ядер з елементарними частинками і та ін.

3. Ядерні реакції. Радіоактивність.

Ядерні реакції – це перетворення атомних ядер при взаємодії з елементарними частинками, з γ -квантами або між собою.



Ядерні реакції записують у вигляді рівняння



де C^* – проміжне ядро у збудженому стані.

Тип ядерної реакції визначають видом взаємодіючої і виділеної частинок (a, b):

- якщо вони збігаються (a, a), реакцію називають *розсіянням частинки a* , при цьому склад ядер не змінюється;
- якщо в ядерній реакції частинка a зникає (поглинається ядром), а замість неї появляється нова частинка b , склад ядра змінюється — відбувається *ядерне перетворення*.

За механізмом взаємодії, ядерні реакції можна поділити на два види:

- прямі ядерні реакції (відбуваються при дуже високих енергіях частинок і за дуже короткий час, необхідний для того, щоб частинка пролетіла через ядро ($10^{-23} - 10^{-21}$ с), наприклад, швидкий протон може вибити з поверхні ядра один з нуклонів і полетіти разом з ним);*
- реакції з утворенням проміжного ядра (відбувається у два етапи: на першому етапі відбувається захоплення частинки ядром і виникнення проміжного ядра, яке знаходиться у збудженому стані, на другому – викидання нуклона з ядра).*

Під час ядерної реакції зберігається загальна кількість нуклонів і сумарний заряд, а відбувається лише перерозподіл нуклонів і заряду між ядрами та частинками.

Ядерні реакції класифікують за такими ознаками:

1) за родом частинок, що беруть у них участь:

- реакції під дією нейтронів;*
- реакції під дією заряджених частинок;*
- реакції під дією γ -квантів;*

2) за енергією частинок, що їх викликають:

- реакції при малих енергіях ($\approx 1\text{eV}$), що проходять за участю нейтронів;
- реакції при середніх енергіях (до 10MeV), що проходять за участю γ -квантів і заряджених частинок (^1_1H , ^4_2He);
- реакції при високих енергіях ($10\text{--}100\text{MeV}$), які приводять до народження елементарних частинок, що відсутні у вільному стані.

3) за родом ядер, що беруть участь в реакції:

- реакції на легких ядрах ($A < 50$);
- реакції на середніх ядрах ($50 < A < 100$);
- реакції на важких ядрах ($A > 100$)..

4) за характером ядерних перетворень, що відбуваються:

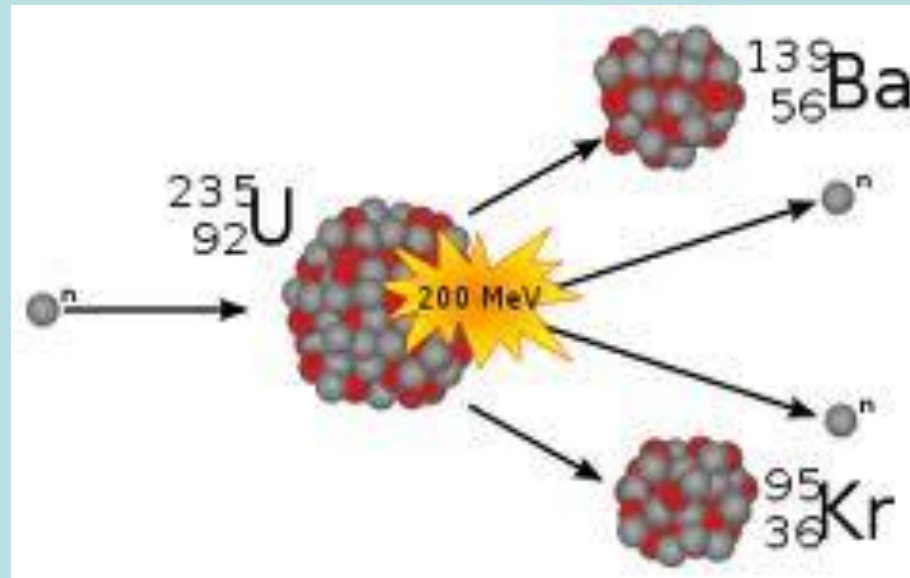
- реакції з випусканням нейтронів;
- реакції з випусканням заряджених частинок;
- реакції захоплення (під час цих реакцій складове ядро переходить в основний стан, випромінюючи один або кілька γ -квантів.

Для ядерних реакцій виконуються закони збереження енергії та імпульсу.

Енергію ядерної реакції або її тепловий ефект Q можна визначити як зміну кінетичної енергії в процесі реакції:

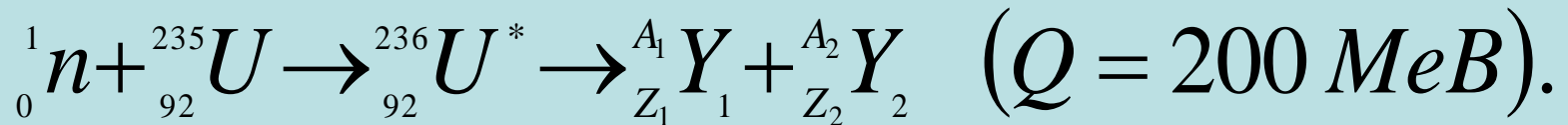
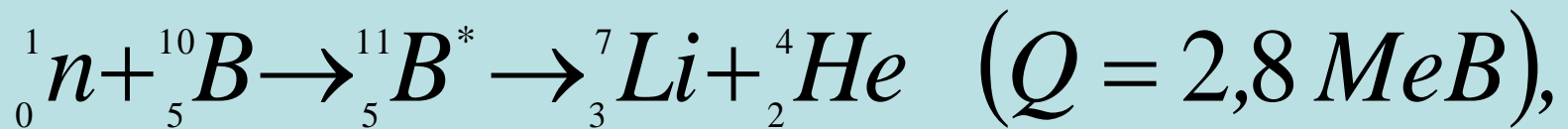
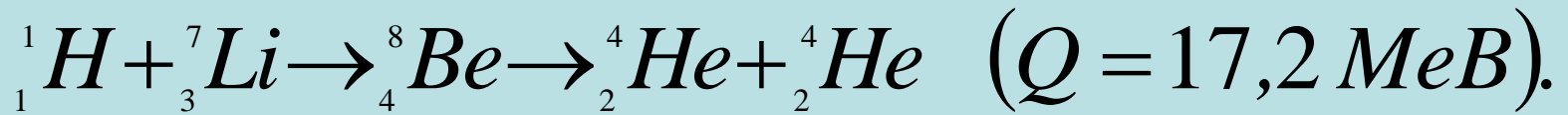
$$Q = (E_y + E_b) - (E_x + E_a) = [(m_x + m_a) - (m_y + m_b)]c^2 = \Delta mc^2.$$

Якщо масу вимірювати в *а.о.м.*, то $Q = 931 \Delta m \text{ MeV}$.

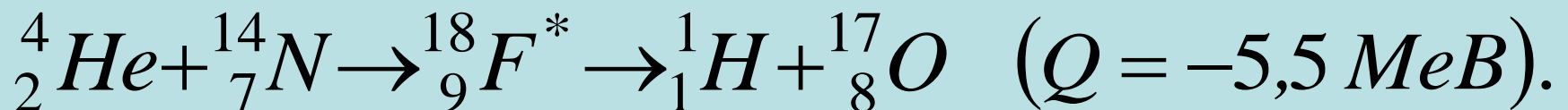


Залежно від зміни маси ядер і частинок, що беруть участь в реакції, Q може набувати значення $Q > 0$, $Q < 0$.

Якщо $Q > 0$, реакції називають *екзотермічними*, наприклад:



Якщо $Q < 0$ – *ендотермічними*, наприклад:



Явище радіоактивного розпаду у 1896 році відкрив французький фізик **Антуан Анрі Беккерель**.



Радіоактивністю називають процес перетворення атомних ядер нестабільних ізотопів одних елементів в ядра ізотопів інших елементів, що супроводжується α -, β -, γ -випромінюванням та випромінюванням елементарних частинок (нейтронів, протонів).

Розрізняють природну і штучну радіоактивність.

Радіоактивність, яка спостерігається в ядрах, що існують у природних умовах, називають *природною*. Радіоактивність ядер, які отримані за допомогою ядерних реакцій, називають *штучною*. Між природною та штучною радіоактивністю немає принципової різниці.

Природні радіоактивні перетворення ядер, які відбуваються самочинно, називають *радіоактивним розпадом*.

Ядро, що виникло внаслідок розпаду, називають *дочірнім* ядром, а ядро, яке розпалось, — *материнським*.

Закон радіоактивного розпаду має вигляд:

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

де N_0 – початкове число ядер, що не розпалися на момент часу $t=0$,

N – число ядер, які ще не розпалися на момент часу t ,

λ – стала радіоактивного розпаду.

Інтенсивність процесу радіоактивного розпаду характеризує дві величини:

• *період піврозпаду* $T_{1/2}$ – час, за який розпадається половина початкової кількості ядер N_0 радіоактивної речовини:

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

• *середній час життя* τ ядер радіоактивної речовини:

$$\tau = \frac{1}{\lambda}.$$

Періоди піврозпаду різних природних ізотопів різняться, так, для урану ${}_{92}^{238}\text{U}$ – $T = 4,51 \cdot 10^9$ років і для полонію ${}_{84}^{212}\text{Po}$ – $T_{1/2} = 3 \cdot 10^{-7}$ с.

Активністю елемента називають кількість атомів, що розпадається за одну секунду:

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = \frac{N \ln 2}{T}.$$

За одиницю активності препарату беруть один розпад за секунду – беккерель (Бк), але часто користуються позасистемною одиницею, яку називають кюрі (Ки):

$$[A] = \text{Ки}$$

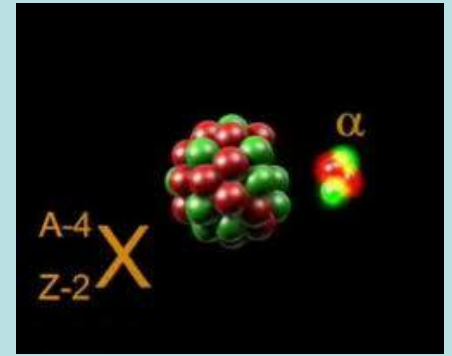
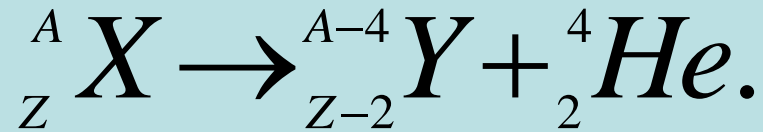
$$1 \text{Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{Бк}.$$

До радіоактивних процесів відносять:

- α -розпад,
- β -розпад,
- γ -випромінювання ядер,
- спонтанне ділення важких ядер,
- протонна радіоактивність.

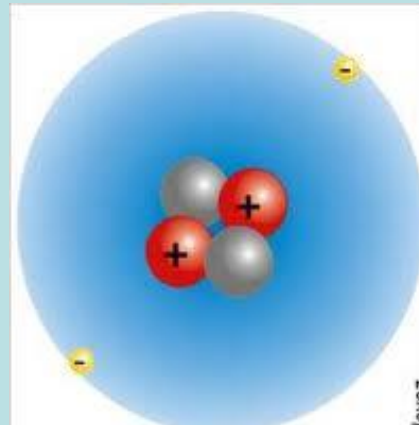
α -розпад – радіоактивний розпад, що супроводжується випромінюванням ядер атомів гелію

${}^4_2\text{He}$ – α -частинок:



Досить масивні ядра гелію вилітають з ядра, що розпалось, з великими швидкостями ($\sim 10^7 \text{ м/с}$), тому мають велику енергію порядку декількох *MeV*. Через це α -частинки мають велику іонізуючу, але малу проникаючу здатність.

Так, у повітрі α -частинка на своєму шляху в декілька сантиметрів може іонізувати приблизно 10^5 пар іонів.

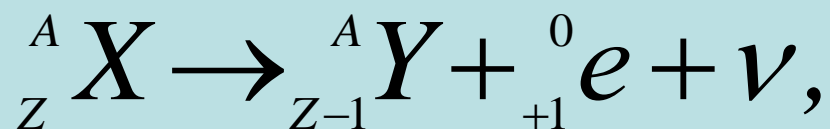


β -розпад – радіоактивний розпад, що супроводжується:

1) випромінюванням β^- -променів – швидких електронів ${}_{-1}^0e$

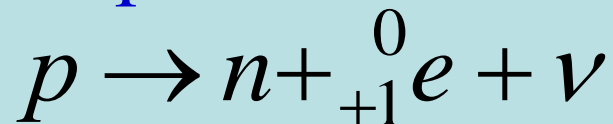


2) β^+ -променів – позитронів ${}_{+1}^0e$



або відбувається

3) електронний захват – поглинання ядром електрона, в результаті чого один з протонів ядра перетворюється на нейтрон:



β -частинки мають значну довжину вільного пробігу (кілька метрів), але іонізуюча здатність їх мала.

• *γ-випромінювання ядер* – випромінювання ядрами електромагнітних променів малої довжини $\sim 10^{-13} \div 10^{-10}$ м, а отже великої енергії. *γ-випромінювання* не є самостійним видом випромінювання, а лише супроводжує α - і β -розпади, ядерні реакції, виникає при гальмуванні та розпаді заряджених частинок тощо, не відхиляється електричним і магнітним полями, має відносно слабку іонізуючу здатність і значну проникаючу здатність (наприклад, проходить через шар свинцю товщиною 5 см).

• *Спонтанне ділення важких ядер* – самодовільний поділ важких ядер на дві приблизно рівні частини.

• *Протонна радіоактивність* – супроводжується випромінюванням одного або декількох протонів.

4. Закон поглинання. Доза та потужність дози опромінення. Радіаційна стійкість будівельних матеріалів.

При проходженні через речовину γ -промені поглинаються нею за *законом Бугера*:

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

де I – інтенсивність γ -променів, які пройшли через речовину товщиною x ,

I_0 – початкова інтенсивність γ -променів,

μ – лінійний коефіцієнт поглинання.

Радіаційною стійкістю будівельних матеріалів називають здатність будівельних матеріалів протистояти руйнівній дії інтенсивного радіоактивного випромінювання, яке змінює їхні структуру і властивості.

Залежить від виду і стану матеріалів, а також умов експлуатації. Оцінюється ступенем об'ємного або поверхневого пошкодження матеріалу, зміною його властивостей, кількістю окремих дефектів у його атомно-електронній структурі (вакансій, міжвузловинних і домішкових атомів, пошкоджених хім. зв'язків), що виникли під дією випромінювання, кількістю їхніх комплексів і спричинених ними структурних перетворень., космічної техніки.

Найбільша радіаційна стійкість у металів, керамічних матеріалів, деяких бетонів (зокрема, баритобетонів), менша – у напівпровідників, молекулярних кристалів та органічних матеріалів.

Радіаційну стійкість підвищують легуванням, механічною і термічною обробкою із створенням дрібнозернистої та ізотропної структури, додаванням нейтралізаторів радіаційних дефектів. Вона має особливе значення для матеріалів активної зони ядерних реакторів, прискорювачів заряджених частинок

Дію радіоактивного випромінювання на речовину характеризують дозою іонізуючого випромінювання. Розрізняють такі *види доз випромінювання*:

- *поглинута доза опромінювання* – фізична величина, чисельно рівна енергії випромінювання, що поглинається одиницею маси речовини. Одиницею поглинутої дози випромінювання є грей (*Гр*), $1 \text{ Гр} = \text{Дж/кг}$;

- *експозиційна доза опромінювання* – фізична величина, чисельно рівна сумарному заряду іонів одного знаку, що утворюються при опромінюванні повітря одиничної маси за нормальних умов. Одиницею експозиційної дози випромінювання є *Кл/кг*, позасистемною одиницею – рентген, $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$;

- *біологічна доза опромінювання* – величина, що визначає випромінювання на організм. Одиницею біологічної дози є еквівалент рентгена – бер, $1 \text{ бер} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ Дж/кг}$.

Потужність дози випромінювання – величина, чисельно рівна поглинутій дозі випромінювання за одиницю часу опромінення. Розрізняють: 1) потужність поглинутої дози (одиниця – Гр/с); 2) потужність експозиційної дози (одиниця – А/кг)

Розроблено багато пристроїв і методів реєстрації радіоактивного випромінювання:

1. *Лічильник Гейгера-Мюллера*. Це металева чи скляна труба, вкрита з середини металом, яку заповнюють аргоном для зниження тиску. У центрі трубки натягнуто металеву нитку. Між трубкою і ниткою прикладають напругу в декілька сотень вольтів. Послідовно з трубкою вмикають опір навантаження R . Коли в трубку влітає уламок ядра, він на своєму шляху іонізує газ і в трубці створює газовий розряд, внаслідок чого на опорі навантаження виникають короткочасні імпульси напруги, які реєструються приладами. Лічильники Гейгера-Мюллера використовують переважно для реєстрації електронів, а також фотонів великих енергій γ -квантів.

2. *Камера Вільсона* – це прозора циліндрична камера, заповнена насиченою парою води і спирту. Спочатку тиск в камері трохи підвищують, а потім різко знижують, від чого пара стає перенасиченою. Якщо в цю хвилину в камеру влітає заряджений уламок ядра, то за ним можна спостерігати видимий слід – трек. Якщо камеру Вільсона помістити в сильне магнітне поле, то трек буде вигнутим. За кривизною треку визначають відношення заряду до маси цього уламка (q/m). Ця величину строго визначено для кожного уламка, що дозволяє розпізнати його.

3. Бульбашкова камера або камера Гледзера. Це прозора камера, заповнена зрідженим газом під тиском. У разі різкого зниження тиску зріджений газ переходить в стан перегрітий. Якщо в цей час у камеру влітає уламок, то за ним утворюється шлейф бульбашок пари – трек. Бульбашкову камеру, як і камеру Вільсона, можна помістити в магнітне поле. Основна перевага бульбашкової камери полягає у великій гальмівній здатності робочої рідини (бензолу, фреону, пропану, тощо), що дозволяє отримувати треки дуже швидких частинок.

4. *Метод товстошарових фотоемульсій.* На поверхню плівки наносять товстий шар бромистого срібла $AgBr$ і цей матеріал підставляють під потік заряджених частинок. Уламки ядер на своєму шляху розбивають молекули бромистого срібла або експонують матеріал. Після обробки плівки проявником і закріпленні її під мікроскопом можна побачити чіткі треки частинок. За формою треку, його довжиною, почервонінням зерек емульсій та за іншими ознаками можна встановити вигляд частинки, її енергію, швидкість, напрям руху тощо. Цей метод дозволяє одержувати сліди частинок, що не зникають та виявляти треки усіх високоенергетичних заряджених частинок, що пролетіли за час експозицій крізь фотопластинку. Треки частинок більш чіткі, ніж в камері Вільсона або бульбашковій камері.

5. Метод сцинтиляцій. Цей метод метод застосували першим. Наразі він не має широкого застосування. Сцинтиляційний лічильник реєструють частинки, які потрапляють на люмінісцювальний екран і викликають спалахи. Ці спалахи сприймаються фотопомножувачем і через підсилювач сигнали подаються на лічильник імпульсів. Такі лічильники можуть фіксувати на тільки кількість частинок, а й їх розподіл за енергіями.

Випромінювання радіоактивних речовин справляє дуже активний вплив на живі організми. Рухаючись у живому організмі, уламок ядра руйнує частинки живих клітин, в результаті клітина гине чи порушується її генетичний код. Найбільш чутливими до випромінювання частинок є ядра клітин, особливо тих, які швидко поділяються.

Тому, в першу чергу, випромінювання вражають кістковий мозок, через що порушується кровообіг. Далі вражаються клітини шлункового тракту та інших органів. Сильний вплив чинить випромінювання на спадковість, вражаючи гени в хромосомах.

Іноколи випромінювання може бути корисним: пригнічувати γ -випромінюванням ракових пухлин.

5. Дефект маси та енергія зв'язку атомних ядер.

Якщо порівняти масу ядра $m_{\text{я}}$ і масу частинок, з яких складається ядро – нуклонів, то виявляється, що

$$m_{\text{я}} \neq z \cdot m_p + (A - z)m_n,$$

де m_p – маса протона,
 m_n – маса нейтрона.

Різницю цих мас називають *дефектом мас*:

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

5. Дефект маси та енергія зв'язку атомних ядер.

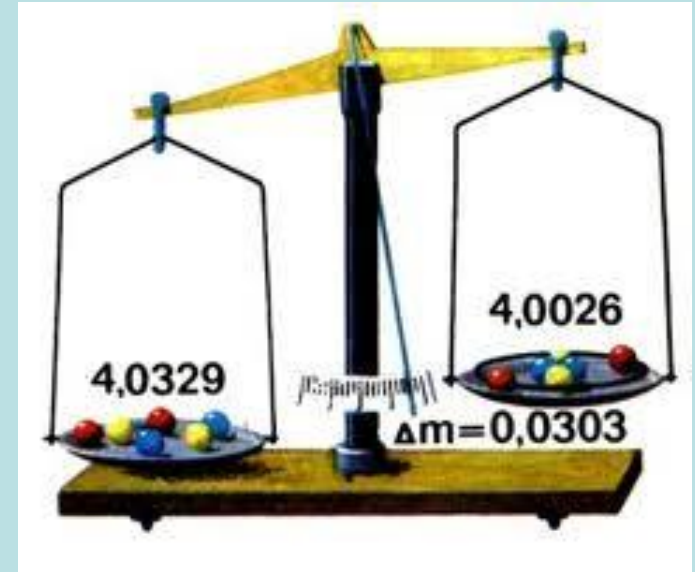
Якщо порівняти масу ядра $m_{\text{я}}$ і масу частинок, з яких складається ядро – нуклонів, то виявляється, що

$$m_{\text{я}} \neq z \cdot m_p + (A - z)m_n,$$

де m_p – маса протона,
 m_n – маса нейтрона.

Різницю цих мас називають *дефектом мас*:

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



Тоді, з формули А. Ейнштейна $\Delta E = \Delta mc^2$ випливає, що: енергія, яку необхідно затратити, щоб розкласти ядро на окремі нуклони – *енергія зв'язку ядра*, дорівнює:

$$\Delta E = \left[z m_p + (A - z) m_n - m_{\text{я}} \right] c^2$$

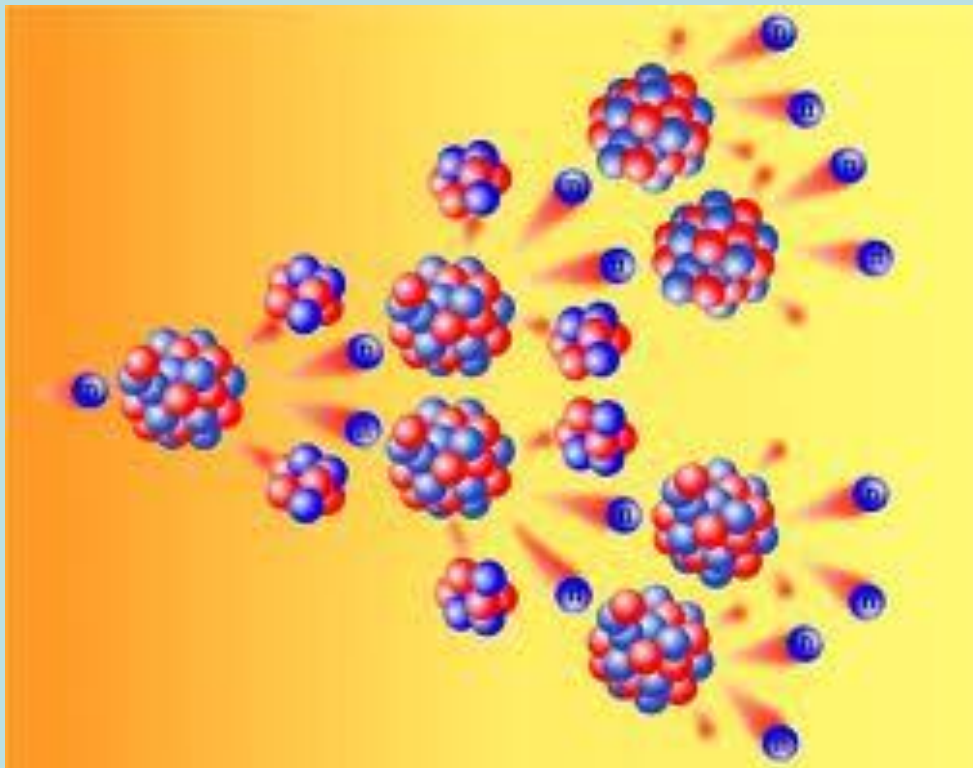


6. Шляхи одержання внутрішньо-ядерної енергії. Ядерні реактори.

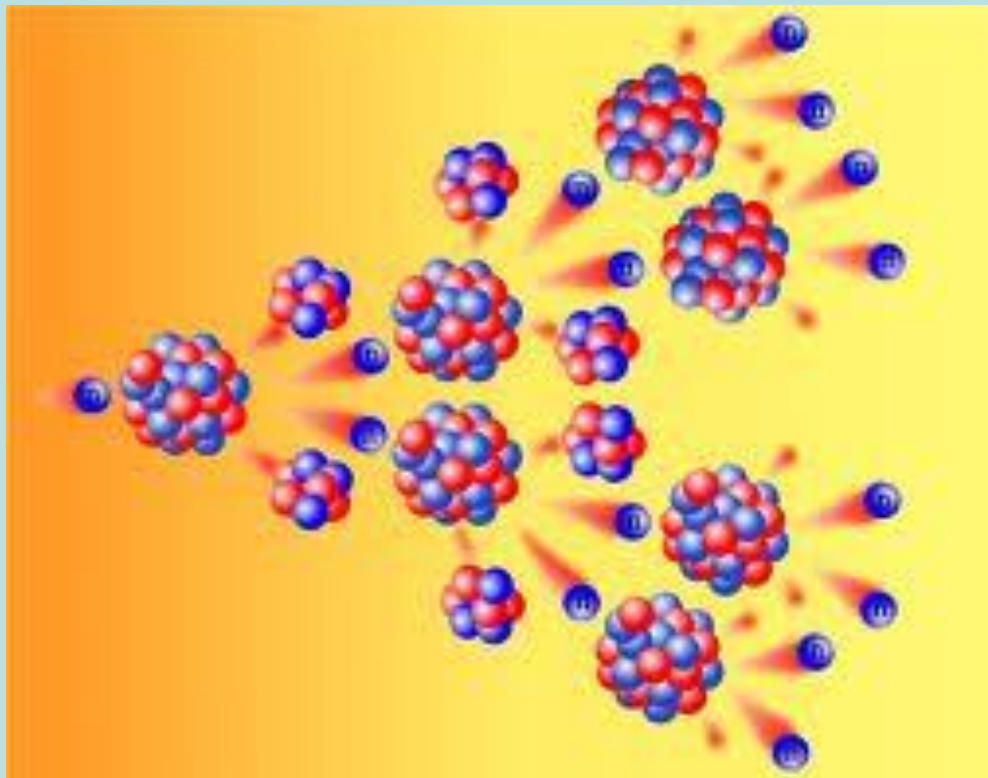
В науці відомі два способи отримання внутрішньоядерної енергії:

- виділення енергії методом поділу важких ядер;
- виділення енергії методом синтезу легких ядер.

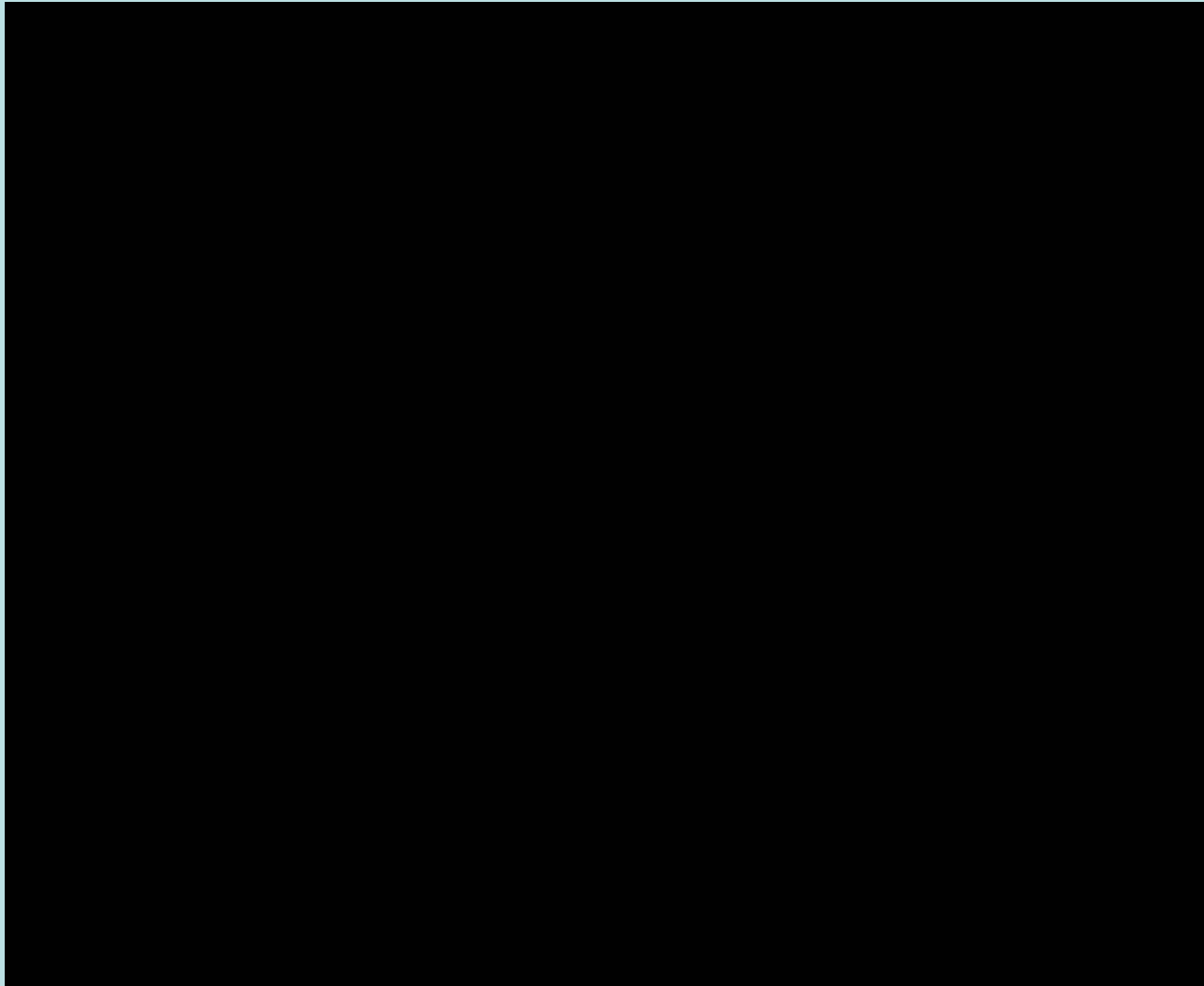
При бомбардуванні ядер урану (${}_{92}\text{U}^{235}$ або ${}_{92}\text{U}^{233}$) повільними нейтронами, відбувається їх поділ на два ядра-осколки, випромінюються вторинні нейтрони (2 або 3) і виділяється енергія (на один нейтрон припадає приблизно 2 MeV). Вторинні нейтрони, що випромінюються при поділі ядер можуть викликати новий поділ.



Ядерну реакцію, в якій частинки, що викликають реакцію, утворюються як продукт цієї реакції називають *ланцюговою реакцією поділу*.



Ядерну реакцію, в якій частинки, що викликають реакцію, утворюються як продукт цієї реакції називають *ланцюговою реакцією поділу*.



Мінімальну масу речовини, необхідну для здійснення ланцюгової реакції, називають *критичною масою*.

Ланцюгові реакції діляться на *керовані* і *некеровані*.

Якщо керувати числом нейтронів, що викликають реакцію поділу, то отримують *керовану реакцію поділу*.

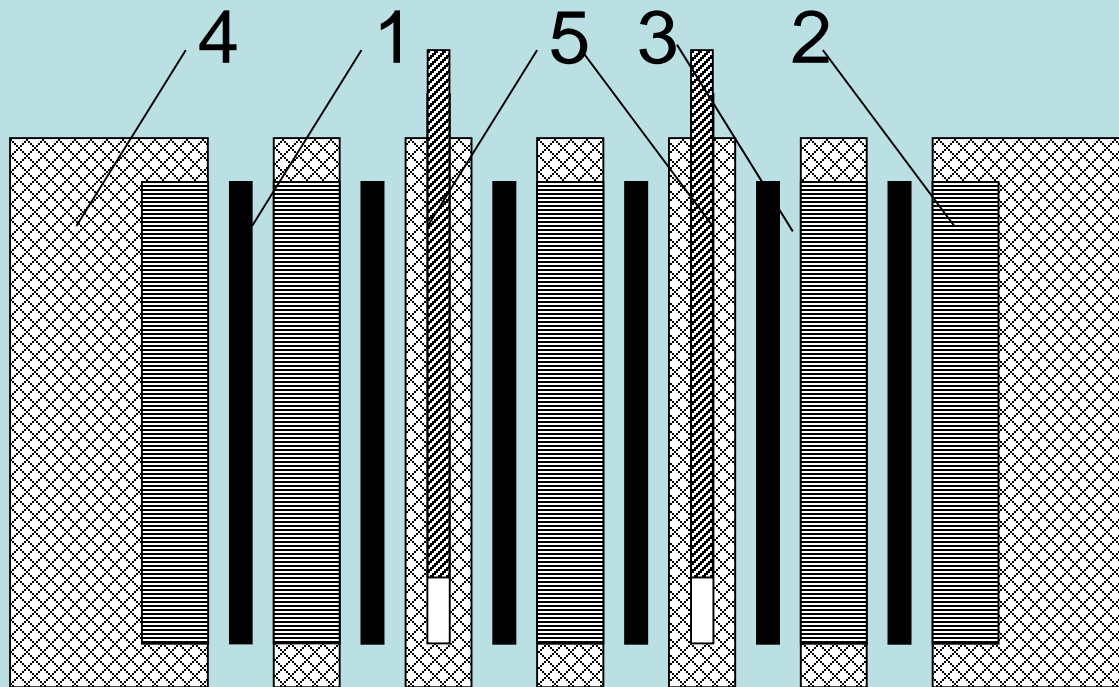
Керовані ланцюгові реакції здійснюються в ядерних реакторах.

Вибух атомної бомби є некерованою реакцією.

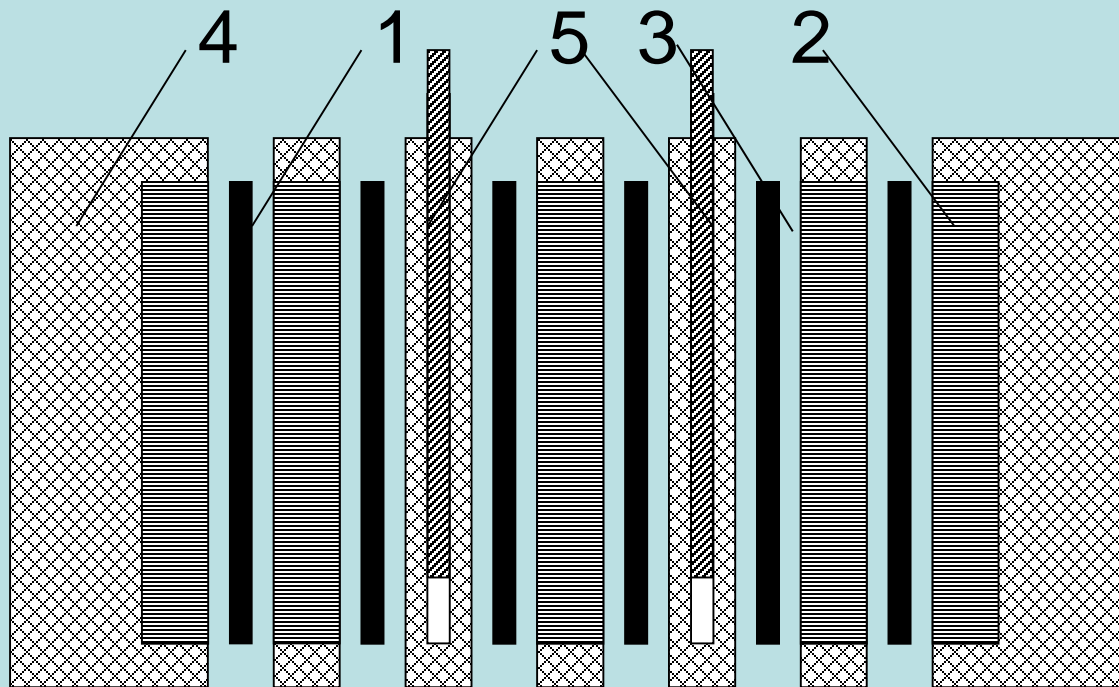


Пристрої, в яких здійснюється і підтримується керована ланцюгова реакція поділу, називають *ядерними реакторами*.

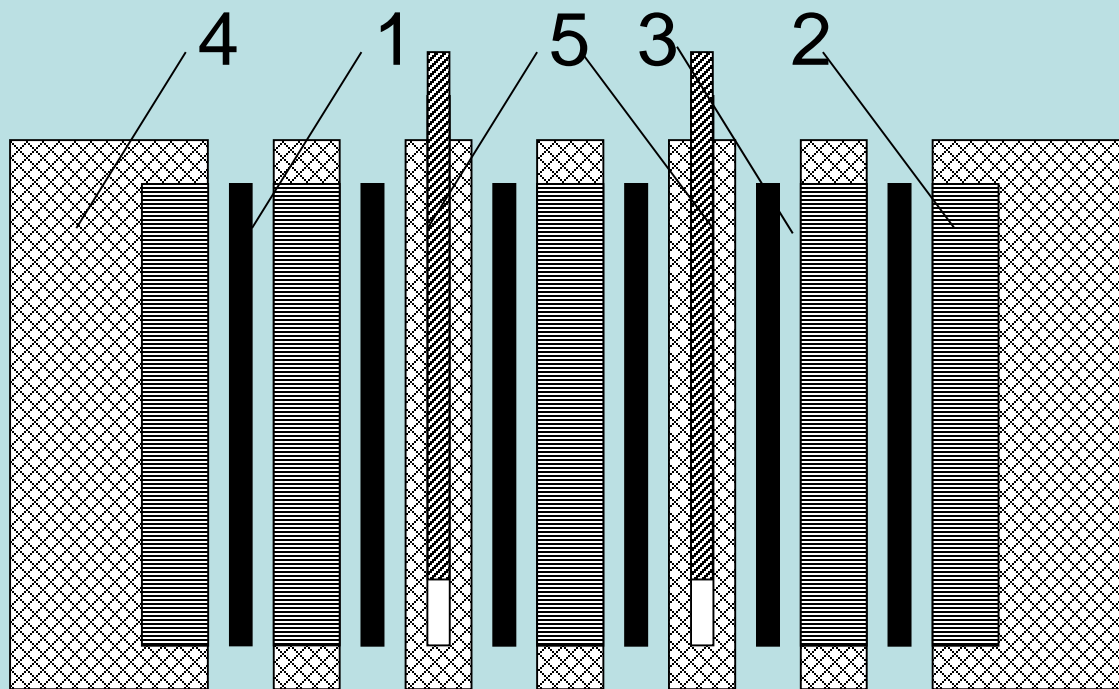
Принцип роботи реактора доцільно розглянути на принципі дії реактора на теплових нейтронах.



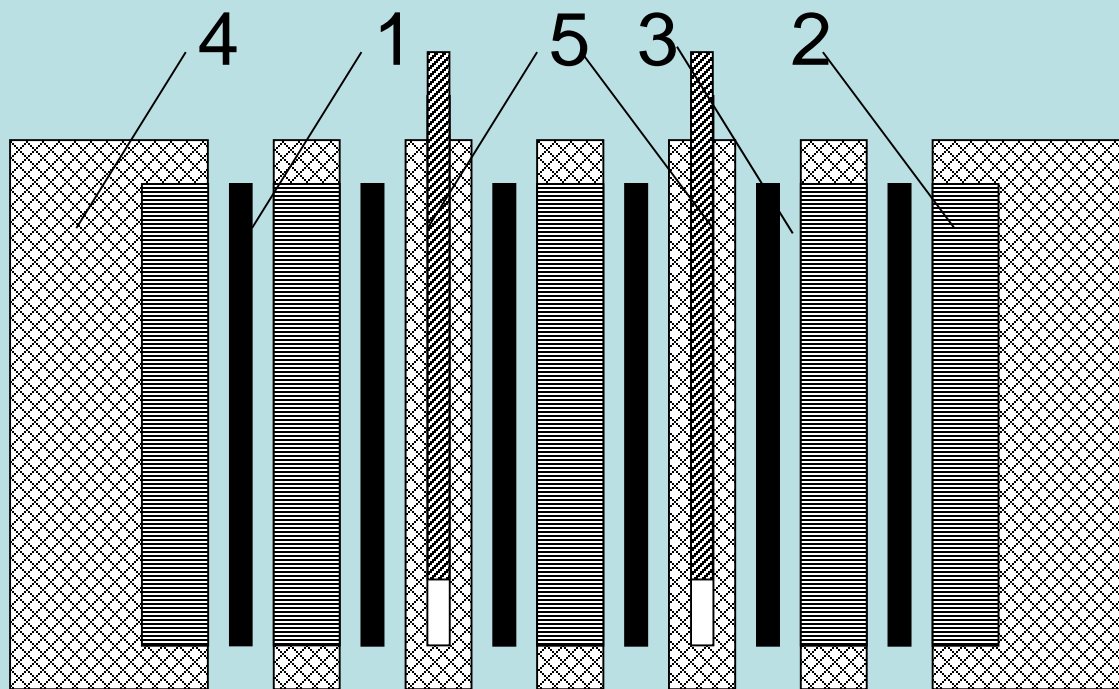
Основними елементами активної зони реактора є тепловиділяючі елементи 1 і сповільнювач 2, у якому нейтрони сповільнюються до теплових швидкостей. Тепловиділяючі елементи (твели) виготовлені із збагаченої уранової руди (до 2 % ядер урану ${}_{92}\text{U}^{235}$), поміщені у герметичну оболонку, що слабо поглинає нейтрони.



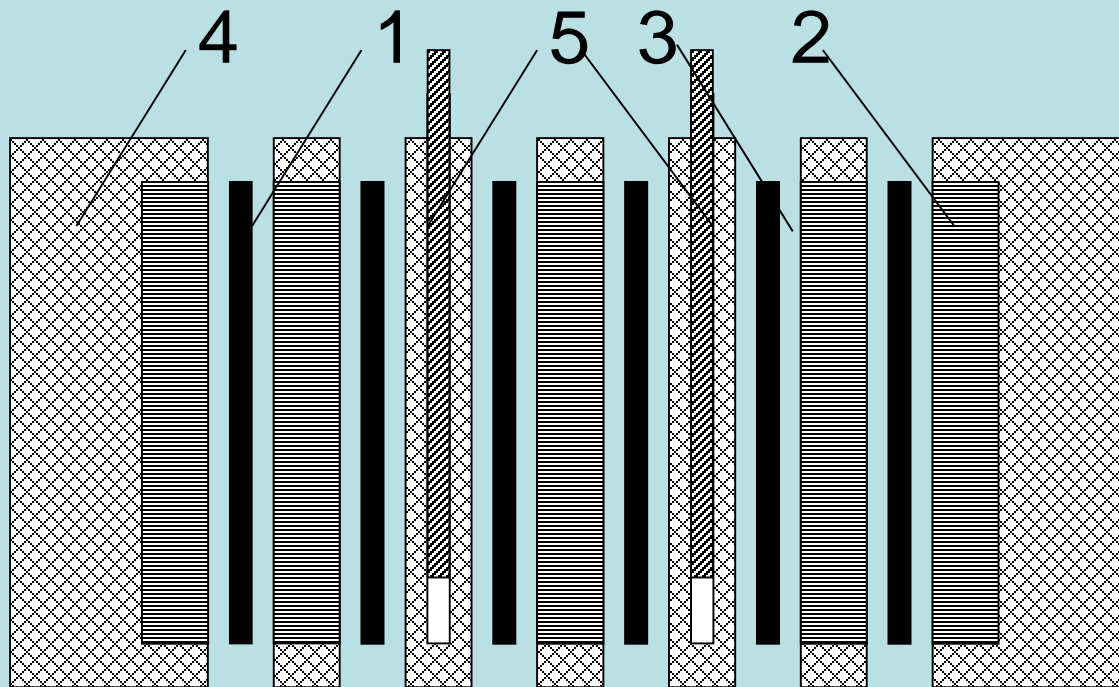
За рахунок енергії, що виділяється при поділі ядер, твели розігріваються, а тому для охолодження їх занурюють у потік теплоносія (3 – канал для протікання теплоносія). Активна зона захищена матеріалом, який запобігає втраті нейтронів 4.



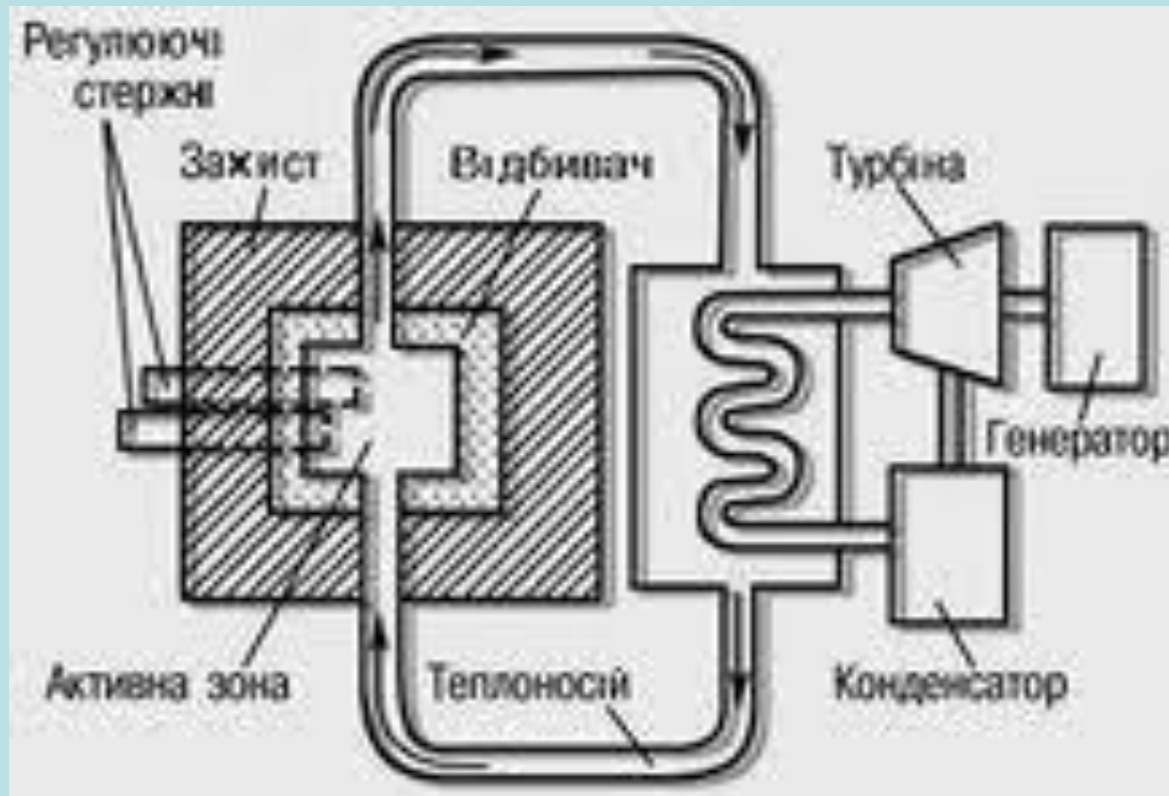
Керування ланцюговою реакцією здійснюється спеціальними керованими стержнями з матеріалів, здатних гарно поглинати нейтрони (наприклад, В, Cd).



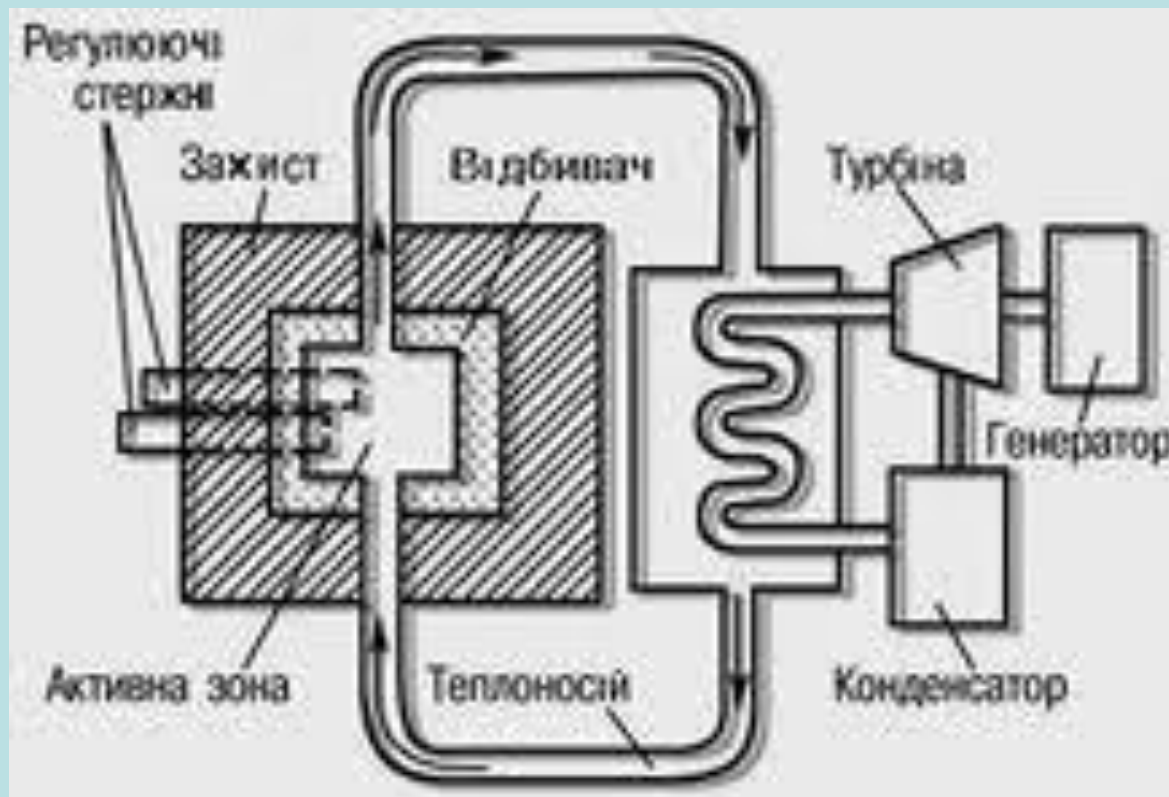
Параметри реактора розраховуються так, щоб при повному зануренні стержнів реакція поділу була неможливою. При піднятті стержнів виникають умови для протікання реакції поділу. Висотою підняття стержнів можна регулювати інтенсивність реакції.



Ядерні реактори використовують для отримання енергії. Наприклад, робота атомної електростанції на водо-водяному реакторі працює на принципі перетворення ядерної енергії в теплову, а згодом в електричну. Енергію поділу важких ядер отримують в ядерних котлах.



Ядерний котел омивається водою. Вода є носієм тепла, що виділяється під час реакції поділу. Гаряча вода нагріває другий змієвик з водою, утворюючи пару, яка поступає на турбіну електрогенератора. Недоліком такої системи є утворення радіоактивних відходів, які потребують спеціальних умов і місць зберігання.

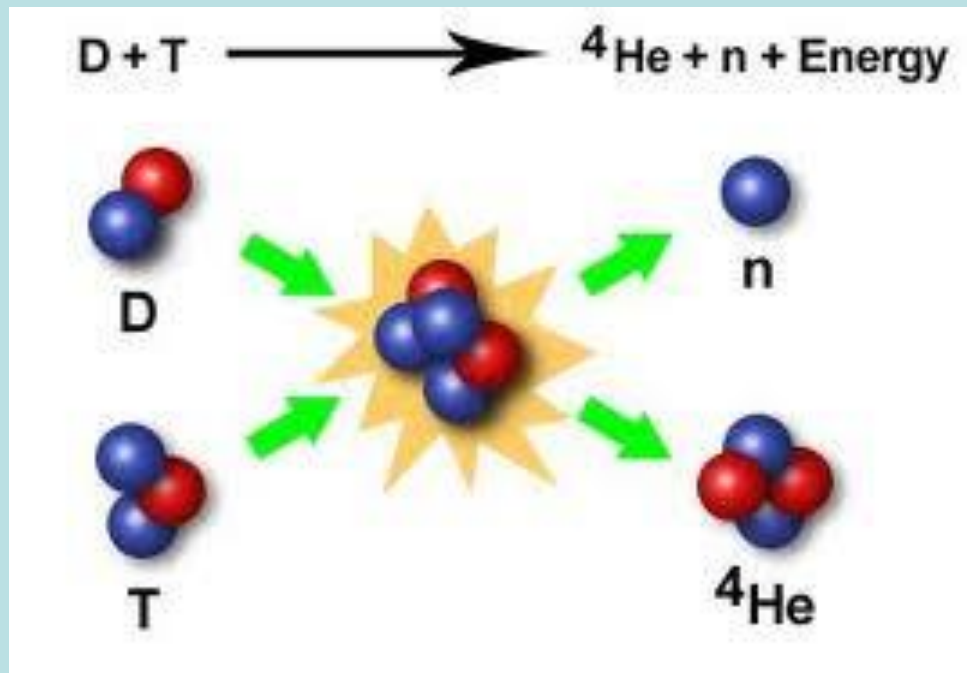


Іншим джерелом енергії може служити *реакція синтезу атомних ядер (термоядерна реакція)* – реакція утворення з легких ядер більш важких, особливістю яких є більш великі значення енергії, що виділяється, у порівнянні з реакціями поділу важких ядер.

Прикладом реакції синтезу може бути реакція синтезу ізотопів ядер гелію:



в результаті якої виділяється енергія порядку 3,3 МеВ за акт утворення ядра ${}_2He^3$.



Недоліком такого способу є значність температур протікання реакцій синтезу ($\sim 10^6 K$), оскільки ядра дейтерію необхідно зблизити на відстань захвату. Таку температуру можна отримати внаслідок вибуху атомної бомби, отримавши некеровану реакцію синтезу. В даний час промислово отримати таку температуру не можливо. Але термоядерним реакціям синтезу належить майбутнє в області забезпечення людства енергією.

Реакції синтезу атомних ядер мають ту особливість, що в них енергія, яка виділяється на один нуклон, значно більша, ніж в реакціях поділу важких ядер.

Термоядерні реакції є, можливо, одним з джерел енергії Сонця і зірок.

Лекція № 15. ЯДЕРНА ФІЗИКА

1. **Склад, будова та характеристики атомних ядер**
2. **Ядерні сили**
3. **Ядерні реакції. Радіоактивність**
4. **Закон поглинання. Доза та потужність дози опромінення. Радіаційна стійкість будівельних матеріалів**
5. **Дефект маси та енергія зв'язку атомних ядер**
6. **Шляхи одержання внутрішньоядерної енергії. Ядерні реактори**