

Лекція № 5.

Тема: Склад атомних ядер. Поняття про нуклонне число і нукліди. Ізотопи стабільні та радіоактивні. Радіоактивний розпад хімічних елементів. Ядерні реакції і період напіврозпаду.

Атомне ядро є основою атома, що визначає індивідуальність елементів. Відповідно до сучасних уявлень, атомні ядра складаються з елементарних частинок протонів і нейтронів, які об'єднують під загальною назвою нуклони. Протони і нейтрони характеризуються масою, зарядом, спіном та магнітним моментом.

Протон - стабільна елементарна частинка, з масою покою $1,673 \cdot 10^{-24}$ г, відносною атомною масою спокою 1,007727 а.о.м., з додатнім зарядом +1. В 1932 році англійський вчений Джеймс Чедвик експериментально виявив в ядрі атома нейтральну частинку - нейтрон, по масі близьку до маси протона.

Нейтрон - стабільна електронейтральна частинка з масою покою $1,675 \cdot 10^{-24}$ г, відносною атомною масою спокою 1,008665 а.о.м., без електричного заряду. (*Спін та магнітний момент в даному розділі не розглядаються*).

Протони і нейтрони утримуються в ядрі специфічними ядерними силами, що значно перевищують кулонівське відштовхування однойменно заряджених протонів. Міцність ядра характеризується повною енергією зв'язку, тобто енергією, яка необхідна для розділення ядра на складові частини - протони і нейтрони, в мільйон разів перевищує розміри ядра в десятки тисяч разів менші ніж розміри атома, основна маса атома зосереджена саме в ядрі.

Число протонів в ядрі, як вказувалось раніше, співпадає з порядковим номером елемента і називається *протонним числом*. А загальна кількість протонів і нейтронів в атомі отримала назву *нуклонне число*. Масою електронів, яка дуже мала, нехтують. Тому, щоб визначити кількість, наприклад, нейтронів що міститься в ядрі, треба від нуклонного числа атома відняти число протонів, тобто порядковий номер елемента:

$${}^{40}_{20}\text{Ca} = 20_1p + 20_0n; \quad {}^{137}_{56}\text{Ba} = 56_1p + 81_0n;$$

А тепер повернемося до формулювання періодичного закону, що його дав Д.І.Менделєєв. В ньому вказана залежність властивостей елементів та їх сполук від атомної маси елемента, тобто атомна маса елементів постійно зростає, а властивості періодично повторюються. Але подивіться уважно на елементи Аргон і Калій: атомна маса аргону більша за атомну масу калію. Що це? Чи може Калій і Аргон поміняти місцями?

Але тоді до родини інертних газів потрапить лужний метал! Закон не діє? Така ж сама картина має місце щодо розташування елементів Йоду і Телуру, Кобальту і Ніколу.

Щоб вирішити цю «проблему», давайте звернемося до визначення поняття «хімічний елемент».

Хімічний елемент - це певний вид атомів з однаковим зарядом ядра,

а ось маса в них може бути різною і це залежить від кількості нейтронів, які мають масу, але не мають заряду.

Атоми одного й того ж елемента з різною масою, тобто різною кількістю нейтронів називаються нуклідами або ізотопами.

Хімічний елемент Калій має три нукліди (ізотопи) з масою 39, 40, 41, але в природі найпоширеніший легкий нуклід (ізотоп). Хімічний елемент аргон теж має три ізотопи з масою 36, 38, 40, а поширеніший ізотоп з масою 40. Атомна маса елемента є величиною середньою, тобто враховує масову частку кожного ізотопу, тому середня маса елемента Калію виявилась менша за середню атомну масу Аргону. Така сама картина має місце в розташуванні в періодичній системі елементів Йоду і Телуру, Кобальту і Ніколу, а поняття «хімічний елемент» розглядається як суміш нуклідів (ізотопів). Тепер стає зрозумілим те, що відносна атомна маса елемента є величиною дрібною, бо вона розраховується з урахуванням відсоткового вмісту кожного нукліду. Наприклад: елемент Хлор має два ізотопи (нукліди) - з нуклонними числами 35 і 37. Серед атомів Хлору 75,4% припадає на легкий нуклід з масою 35, а на важкий - 24,6%. Зробимо простий розрахунок і дізнаємося середню

відносну атомну масу Хлора. Для цього відсоток кожного нукліда (ізотопа) помножимо на його нуклонне число і знайдемо суму:

$$35 \times 0,754 + 37 \times 0,246 = 35,453, \text{ або приблизно } 35,5.$$

На відміну від елементів, які зустрічаються в природі, атомні маси штучно отриманих елементів є цілі числа. В періодичній системі вони взяті в квадратні скобки.

Позначимо нуклонне число A , число протонів Z , число нейтронів N , отримаємо вираз:

$$A = Z + N$$

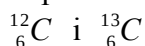
Користуючись ним можна розрахувати кількість нейтронів в ядрі кожного атома.

Наприклад: атом Сульфуру має порядковий номер 16, це означає, що ядро його містить 16 протонів; нуклонне число - 32, значить число нейтронів дорівнює $32 - 16 = 16$.

Більшість елементів мають ізотопи. Назви елементів співпадають з назвою ізоотопів. Хоча є і виключення, наприклад, три ізотопи Гідрогену називаються:

Протій (1_1H), дейтерій Д (2_1H) і тритій Т (3_1H).

Карбон має два ізотопи (нукліди) - з нуклонним числом 12 і нуклонним числом 13:



Згадайте, що одиницею вимірювання маси атома є $1/12$ маси легкого ізоотопу Карбону. Мова йде саме про ізоотоп $^{12}_6C$, який в 1961 р. хіміками і фізиками був прийнятий за основу шкали відносних атомних мас елементів. Це зроблено тому, що значення відносної атомної маси ізоотопу (нукліда) $^{12}_6C$ - ціле число і складає 12,0000. Тому формула, по котрій розраховується відносна атомна маса елементів, має вигляд: $A_r(E) = m_a : 1/12 m_a (^{12}_6C)$.

Серед поширеніших в природі елементів найбільше нуклідів – десять – має Олово Sn; у Оксигену і Гідрогену їх по три. Кожен з них має загальну назву нуклід, наприклад, нуклід Карбона з нуклонним числом 13 ($^{13}_6C$), нуклід Алюмінію з нуклонним числом 27 тощо.

Види нуклідів. Розрізняють природні і штучні нукліди (ізоотопи).

Природні нукліди - це нукліди, що існують в природі. **Штучні** - це такі, що утворюються в ядерних реакціях.

Ядерні реакції – це такі реакції, при котрих змінюється ядро атома, що приводить до утворення атомів інших елементів і супроводжуються радіоактивним випромінюванням.

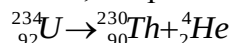
По здібності до випромінювання нукліди розділяють на стабільні і радіоактивні.

Стабільні – це нукліди, що здібні до випромінювання. Відомо 280 стабільних ізоотопів (нуклідів). Вони є у більшості елементів.

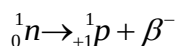
Радіоактивні - це нестійкі нукліди, що самочинно перетворюються в нукліди інших елементів. Тривалість цих перетворень може бути від декількох секунд до десятків тисяч років, всі штучні і частина природних нуклідів радіоактивні, тобто вони випромінюють альфа-, бета- або гамма-промені. В природі їх не так і багато. Це - полоній, радон, радій, актиній, торій, протактиній, уран.

Радіоактивний розпад хімічних елементів. До основних видів радіоактивного розпаду належать α - і β -розпад, електронний захват і спонтанний поділ ядер.

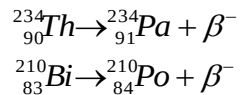
При α -розпаді ядро атома випромінює два протони і два нейтрони, зв'язані в ядро атома Гелію 4_2He . Це зменшує заряд вихідного радіоактивного ядра на 2, а його масу на 4. Отже внаслідок α -розпаду утворюється атом елемента, зміщеного на два місця вліво, у періодичній системі від вихідного радіоактивного елемента, наприклад:



При електронному β -розпаді ядро випромінює електрон (β -частинку) завдяки перетворенню одного нейтрона ядра у протон за схемою:

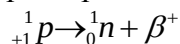


При β -розпаді заряд ядра збільшується на одиницю, а масове число не змінюється, тобто утворюється нуклід (ізоотоп) елемента з порядковим номером на одиницю більшим, ніж у вихідного. Так, наприклад:

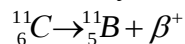


Для ядер, в яких число нейтронів менше за число протонів, характерний β^+ -позитронний розпад, тобто розпад з виділенням позитрона (β^+ -частинка).

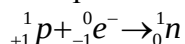
Позитрон - елементарна частинка з масою електрона і позитивним елементарним зарядом. При β^+ розпаді один протон перетворюється в нейтрон за схемою:



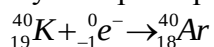
При цьому заряд зменшується на одиницю, а масове число не змінюється. Прикладом β^+ розпаду є перетворення легкого нукліду вуглецю-11 в нуклід бору-11:



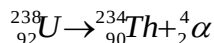
До таких змін ядра, як і при β^+ -розпаді, приводить електронний захват. Це явище полягає в тому, що електрон з найближчого до ядра шару захоплюється ядром. При цьому один з протонів ядра перетворюється на нейтрон:



Прикладом електронного захвату може бути перетворення Калію в Аргон за схемою:



Для важких елементів крім α - і β - розпаду можливий самочинний поділ ядер, вперше виявлений для ${}^{238}_{92}\text{U}$.

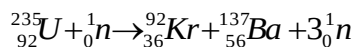


Радіоактивне перетворення різних нуклідів (ізоотопів) відбувається з різною швидкістю. Період часу, протягом якого розпадається половина початкової кількості радіоактивного елементу, називається періодом напіврозпаду і позначається $T_{1/2}$.

Значення періоду напіврозпаду змінюється в дуже широких межах - від декількох тисячних часток секунди до мільярдів років. Умовно до радіоактивних елементів відносять такі, що розпадаються за 10^{-12} с. У Міжнародній системі одиниць (СІ) одиницею радіоактивності є беккерель (Бк) - одиниця активності нукліда, яка дорівнює одному розпаду в секунду. Беккерель пов'язаний з позасистемною одиницею радіоактивності кюрі (Ку), співвідношення

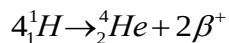
$$1 \text{ Ку} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Бк}.$$

Ядерні реакції. В наш час можна добути радіоактивні ізоотопи будь-яких хімічних елементів періодичної системи, використовуючи відповідні ядерні реакції. Під ядерними реакціями слід розуміти перетворення ядер хімічних елементів внаслідок їх взаємодії з нейтронами, протонами, α -частинками тощо або з іншими атомними ядрами. Такі перетворення вивчає ядерна хімія. Для розвитку ядерної хімії велике значення мало відкриття у 1939 році поділу ядер урану тепловими нейтронами:



Під час поділу ядро урану розщеплюється на два нові радіоактивні ядра з різними масами. Поділ ядра супроводжується виділенням великої кількості енергії (200 МеВ). При цьому замість одного затраченого нейтрона утворюється 2-3 нових, які, в свою чергу, можуть зумовлювати подальший поділ ядра. Така ланцюгова реакція відбувається практично миттєво і супроводжується вибухом. На цьому ґрунтується дія атомної бомби. Дія атомних реакторів ґрунтується на керованих реакціях поділу ядер атомів урану, плутонію.

Важливим видом ядерних реакцій, які можуть бути лише при дуже високих температурах, є термоядерні реакції, наприклад реакція синтезу ядер атома Гелію з ядер атомів Гідрогену (протонів):



Термоядерні реакції відбуваються з виділенням великої кількості енергії.