

Ядрени реакции. Закони за запазване в ядрените реакции. Общи свойства на ядрените реакции. Механизъм на ядрените реакции. Видове ядрени реакции

Ядрени реакции. Закони за запазване в ядрените реакции. Общи свойства на ядрените реакции

В най-широк смисъл на думата, ядрена реакция се нарича процес на взаимодействие между две или повече частици, протичащ с участието на силно взаимодействие. Ядрените реакции са основен метод за изучаване на ядрата и елементарните частици. От тях се получават сведения за строежа и свойствата на ядрата, за действащите в тях сили, както и за механизма на протичането. Съществуват различни типове реакции в зависимост от вида и енергията на частиците, с които се бомбардират ядрата, както и от свойствата на самите ядра. Реакциите могат да бъдат със заредени частици (α -частици, протони, йони на тежки химични елементи и др.), с неутрони и с γ -кванти.

В процеса на взаимодействие между ядрата пълната енергия E на взаимодействащите частици се запазва. Ако в резултат на ядрено взаимодействие между частиците **A** и **B** се образуват частиците **C** и **D** е изпълнен следният енергиен баланс:

$$M_A c^2 + M_B c^2 + T_A + T_B = M_C c^2 + M_D c^2 + T_C + T_D,$$

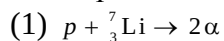
или

$$E = E_1 + T_1 = E_2 + T_2 = \text{const},$$

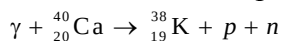
където $E_1 = (M_A + M_B) c^2$ и $T_1 = T_A + T_B$ са енергиите на покой и кинетичните енергии на частиците **A** и **B**, влизащи в реакция, а $E_2 = (M_C + M_D) c^2$ и $T_2 = T_C + T_D$ са енергиите на покой и кинетичните енергии на частиците, образувани вследствие на реакцията. Величината $Q = E_1 - E_2 = T_2 - T_1$ се нарича *енергия на реакцията*.

Това означава, че в процеса на ядрената реакция става преобразуване на част от енергията на покой в кинетична енергия ($Q > 0$) или част от кинетичната енергия се преобразува в енергия на покой (ако $Q < 0$). Реакцията се нарича *екзотермична* ако се извършва с отделяне на енергия, $Q > 0$; при $Q < 0$, реакцията се нарича *ендотермична* – извършва се с поглъщане на енергия. Екзотермичните реакции могат да протичат при произволни енергии на налитащата частица, докато за ендотермичните съществува праг – минимална енергия на частицата - снаряд, под която реакция не може да се осъществи.

Универсален начин за записване на ядрените реакции е този, който е възприет в химията. Например:



отразява сблъсък на протон с ядро на литий, при което се образуват две α -частици;



показва взаимодействие на γ -квант с ядро на калций, при което се образуват неутрон, протон и ядро на калий.

Освен законът за запазване на енергията, при ядрените реакции са валидни още и законите за запазване на импулса, момента на импулса и електричния заряд. Изпълняват се и някои закони за запазване на величини като лептонен и барионен заряд.

При едни и същи начални условия ядрената реакция може да протече по различни начини. Получените при това крайни състояния се наричат *канал* на реакцията.

$$a + A \rightarrow \begin{cases} B + b \\ C + c \end{cases}.$$

Напр. реакцията (1), в зависимост от енергията на налитания протон, може да протече през следните канали:

$$p + {}^7_3\text{Li} \rightarrow \begin{cases} p + {}^7_3\text{Li} \\ p + {}^7_3\text{Li}^* \\ 2\alpha \\ 2\alpha + \gamma \\ {}^3_1\text{H} + \alpha + p \end{cases}.$$

Първият канал съответства на еластично взаимодействие, а вторият – на нееластично взаимодействие, с преход на ядрото на лития ${}^7_3\text{Li}$ във възбудено състояние ${}^7_3\text{Li}^*$. Останалите канали се осъществяват при по-високи енергии на протона и отразяват преобразуването на едни частици в други.

Ако енергията на налитащата частица е под прага на някаква ендотермична реакция,

съответстващият канал се нарича *закрит*.

Механизъм на ядрените реакции. Видове ядрени реакции

Ядрената реакция представлява сложен процес на престрояване на атомното ядро. Както при описание на структурата на ядрото, така и тук се използват различни механизми на ядрените реакции. Основните механизми са два – съставно ядро и преки реакции.

При механизма на съставното ядро се счита, че реакцията протича в два етапа с образуване на промеждутъчно (компаунд) ядро, напр. $a + A \rightarrow C \rightarrow B + b$. Бомбардиращата частица a се захваща от ядрото-мишена и се образува съставното ядро C . Енергията на частицата се разпределя равномерно между всички частици на съставното ядро, в резултат на което съставното ядро се оказва във възбудено състояние. При това енергията на възбуждане на съставното ядро е равна на енергията на частицата-снаряд E_a . Вторият етап от ядрената реакция е съставното ядро да премине в основно състояние, като при това от него излитат една или няколко частици с обща енергия E_a .

Понятието за съставно ядро е приложимо, само когато времето на живот на съставното ядро е достатъчно голямо $\tau > 10^{-21}$ s.

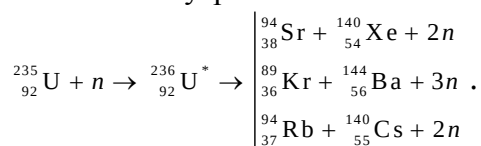
Реакциите, протичащи при съставно ядро, се разделят на *резонансни* и *нерезонансни*. Ядрото, също както и атома, може да притежава точно определени енергии – да се намира на точно определени енергетични нива. От съотношенията за неопределеност следва, че тези нива имат определена широчина:

$$\Delta E_i = \frac{h}{\tau_i},$$

където τ_i са времената на живот на съставното ядро в съответното енергетично състояние. Ако широчината на тези нива е по-малка от разстоянията между тях, реакцията може да протече само през едно ниво. Зависимостта на сечението от енергията ще има резонансен характер. Такава реакция се нарича резонансна. Ако нивата са толкова гъсто разположени, че се припокриват, реакцията ще протича при произволна енергия. Такива реакции се наричат нерезонансни.

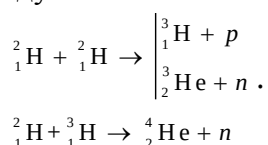
Времето за преминаване на частицата-снаряд през ядрото се нарича *ядрено време* и е $\sim 10^{-22}$ s. Ако времето на взаимодействие на частицата-снаряд с мишената е много по-малко от ядреното, реакцията се нарича пряка. Снарядът ефективно взаимодейства с един или два нуклона от ядрото.

В зависимост от ядрата, които се облъчват, ядрените реакции биват реакции на леки, средни и тежки ядра. За тежките ядра са характерни още реакциите *делене на ядрата*. При тях бомбардираното с неутрони ядро се разделя на две приблизително равни части, наречени *продукти на деленето*, при което се отделя огромно количество енергия. Например при делене на ядрата, съдържащи се в 1 g уран $^{235}_{92}\text{U}$ се отделя енергия $\approx 10^{11}$ J. Деленето на едно ураново ядро се предизвиква от един неутрон, а се излъчват най-често 2-3 неутрона:



Всеки от тези неутрони може да породи делене на съседни уранови ядра с отделяне на нови неутрони. По такъв начин процесът може да се разрасне за кратко време, обхващайки все по-голям брой ядра. Такъв процес се нарича *верижна реакция* и се използва в ядрените реактори. На основата на тази реакция е създадена и атомната бомба.

Интерес представляват и т.нар. *термоядрени реакции*. Те са реакции на свързване на две леки ядра в едно по-тежко ядро. Изследванията показват, че при свързването на тези ядра се отделя огромно количество енергия – няколко пъти повече, отколкото при деленето. Най-често се използват реакции между тежките изотопи на водорода – деутерий и тритий:



Необходимо условие за осъществяване на синтез на две леки ядра е те да имат достатъчно голяма кинетична енергия, за да преодолеят кулоновите сили на отблъскване и да се приближат на много малко разстояние, където започват да действат ядрените сили на привличане. Един от начините за осигуряване на голяма кинетична енергия е нагряването на веществата, чиито ядра трябва да се свържат, до много висока температура ($T \approx 10^7$ K).