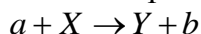


Ядролық реакциялар. Ядролардың бөлінуі.

Атомдық ядролардың синтезі

Ядролық реакция - бұл атомдық ядроның элементар бөлшекпен немесе басқа ядромен күшті өзара әсерлесу процесі – ядролардың түрленуі қабаттаса өтетін процесс. Осы өзара әсерлесу бөлшектердің реттік шамасы 10^{-15} болатын қашықтыққа дейін жақындағандағы ядролық күштердің әрекеті арқасында пайда болады.

Ядролық реакцияның ең көп тараған түрі α бөлшек X ядромен әсерлеседі, осының нәтижесінде b бөлшек және Y ядро пайда болады. Бұл символдық түрде былай жазылады:

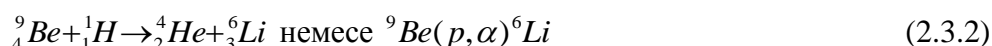


немесе қысқартылған түрде жазылады:



a және b бөлшектер рөлін көбінесе n нейтрон, p протон, d дейтрон, α – бөлшек және γ – квант атқарады.

Мысалы,



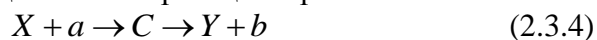
Реакцияны қысқартылған түрде жазғанда жақша ішіндегі бірінші орынға атқылаушы бөлшектің белгісі, екінші орынға – ұшып шығатын бөлшектің белгісі, ал жақша сыртына аяққы ядро белгісі жазылады.

1. Тікелей ядролық әсерлесулер, олар мына схема бойынша жүреді:



мұндағы X және Y – бастапқы және аяққы ядролар, a және b – атқылаушы және ядролық реакцияда шығарылатын бөлшектер;

2. Құрамды ядро түзілуімен екі кезеңнен өтетін реакциялар:



Бірінші кезең – бұл ядролық күштер әрекет ететін ($\sim 2 \cdot 10^{-15}$ м) қашықтыққа жақындаған a бөлшекті X ядроның қармап алуы, және C құрамды ядроның түзілуі. Бөлшек энергиясы қандай да бір нуклонға емес, құрамды ядроның нуклондарына үлестіріледі, ал ядро қозған күйде болып шығады. Құрамды ядроның өмір сүру уақыты $10^{-16} - 10^{-12}$ с, яғни ($10^6 - 10^{10}$)т болады, мұндағы τ -ядролық ерекше уақыт ($\sim 10^{22}$ с). Бұл құрамды ядроның өмір сүру уақыты ішінде нуклондар көп қайтара өзара соқтығысады, нуклондар арасында энергия қайта үлестірілуі болады да нуклондардың біреуі (немесе бұлардың комбинациясы) ядродан ұшып шығуына жеткілікті энергия қабылдай алады. Осының нәтижесінде екінші кезең мүмкін болады – құрамды ядроның Y ядроға және b бөлшекке ыдырауы іске асады.

Ядролық реакциялар **экзотермалық** (энергияның бөлінуімен өтеді) және **эндотермалық** (энергияның жұтылуымен өтеді) болады. Ядролық реакцияларға $X \neq Y$ және $a \neq b$ болатын жалпы түрдегі процестер жатқызылады; егер шығарылған бөлшек қармалған бөлшекпен теңбе – тең болса, онда бөлшектің шашырауы $E_b = E_a$ болғанда серпімді, $E_b \neq E_a$ болғанда серпімсіз шашырауы орын алады.

Бөлшектер шоғы затқа түскенде ядролық реакция болуының ықтималдығы **ядролық реакцияның эффектив тиімді қимасымен** анықталады:

$$\sigma = dN / (nNdx) \quad (2.3.5)$$

мұндағы N – бірлік көлемінде n ядро бар заттың көлденең қимасының бірлік ауданына бірлік уақыт ішінде түсетін бөлшектер саны, dN – қалыңдығы dx қабаттағы ядролық реакцияға түсетін бөлшектер саны. Эффектив қиманың өлшемділігі аудан; σ бірлігі – барн ($1 \text{ барн} = 10^{-28} \text{ м}^2$).

Кез келген ядролық реакцияда электр зарядтарының және массалық сандарының сақталу заңдары орындалады; энергияның, импульстің және импульс моментінің сақталу заңдары да орындалады.

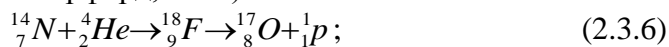
Ядролық реакциялар әр түрлі белгілер бойынша жіктеледі:

1. Реакцияларға қатысатын бөлшектердің түрі бойынша:

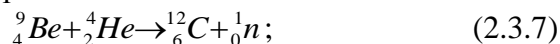
а) нейтрондардың әрекет етуімен өтетін реакциялар. Нейтрондар, электрлік бейтарап бөлшектер болғандықтан, кулондық тебіліске ұшырамайды, сондықтан да ядроға оңай еніп, ядролық түрлену туғызады;

б) зарядталған бөлшектердің әрекетінен болатын реакциялар (мысалы, протондар, α – бөлшектер). Мысалдар:

бірінші ядролық реакция (Э.Резерфорд, 1919):



алған нейтрондар алынған ядролық реакция:



в) γ -кванттар әрекетінен болатын реакциялар. γ -кванттардың энергиялары кіші болатын жағдайда бұлардың тек серпімді шашырауы байқалады; Ядродан нуклондардың бөлініп шығу энергиясынан үлкен энергиялар жағдайында фотоядролық реакциялар бақыланады - γ -кванттармен атомдық ядролардың жіктелуі байқалады.

Әдеттегі реакциялар: $(\gamma, n), (\gamma, p), (\gamma, 2n), (\gamma, np)$.

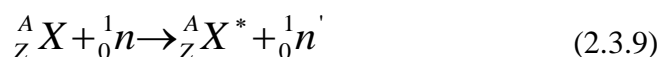
2. Реакцияларды туғызатын бөлшектердің энергиясы бойынша – кіші энергиялар (бірнеше эВ) жағдайында реакциялар негізінен нейтрондардың әрекет етуімен өтеді; орташа энергиялар жағдайында (бірнеше МэВ-ке дейін) – γ -кванттардың және зарядталған бөлшектердің (протондар, α -бөлшектер) қатысуымен жоғарғы энергиялар жағдайында (мың МэВ-ке дейін) еркін күйде болмайтын элементар бөлшектің пайда болуына алып келеді.

Ядролық реакциялардың ерекшелігі әсіресе нейтрондардың энергиясына (жылдамдығына) тәуелді болады. Нейтрондарды энергиясына байланысты баяу және жылдам екі топқа бөледі. Баяу нейтрондардың энергиялары ультрасуық (энергиясы 10^{-7} эВ-қа дейінгі), өте суық ($10^{-7} - 10^{-4}$ эВ), суық ($10^{-4} - 10^{-3}$ эВ), жылулық ($10^{-3} - 0,5$ эВ) және резонанстық ($0,5 - 10^4$ эВ) нейтрондар аймақтарын қамтиды. Екінші топқа жылдам ($10^4 - 10^8$ эВ), жоғарғы энергиялы ($10^8 - 10^{10}$ эВ) және релятивті ($\geq 10^{10}$ эВ) нейтрондар жатқызылады.

Баяу нейтрондар ядролық реакцияларды қоздыруға тиімді келеді, өйткені олар атомдық ядроға жақын маңайда салыстырмалы түрде ұзақ болады, сондықтан да нейтронды ядроның қармап алу ықтималдығы жеткілікті үлкен болады. Баяу нейтрондар үшін ядролардан серпімді шашырау [(n, n) түрдегі реакция] және радиациялық қармау [(n, γ) түрдегі реакция] тән, бір ерекшелігі (n, γ) реакциясы бастапқы заттың жаңа изотопының құрылуына алып келеді:



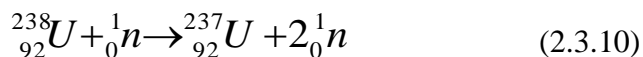
жылдам нейтрондар үшін бұлардың серпімсіз шашырауы байқалады. Ол мына схема бойынша өтеді:



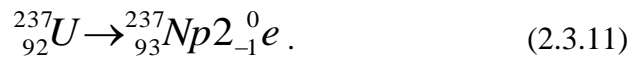
ядродан ұшып шығатын ${}^1_0n'$ нейтрон ядроға енген бастапқы нейтрон емес.

${}^1_0n'$ энергиясы 1_0n энергиясынан кіші, ал нейтрон ұшып шыққаннан қалған ядро қозған күйде болады (жұлдызшамен белгіленген), сондықтан оның қалыпты күйге ауысуы γ – квант шығарылуымен қайталаанады.

Нейтрондардың энергиясы 10 МэВ мәндеріне жеткенде (n, 2n) түріндегі реакция мүмкін болады. Мысалы,

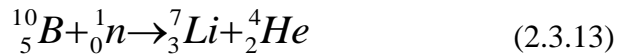
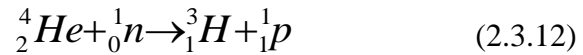


реакциясы нәтижесінде жасанды β^- - активті ${}^{237}_{92}U$ изотоп құралады, ол мына схема бойынша ыдырайды:



3. Реакцияға қатысатын ядролардың түріне қарай – жеңіл ($A < 50$), орташа ($50 < A < 100$) және ауыр ($A > 100$) ядролар қатысатын реакциялар.

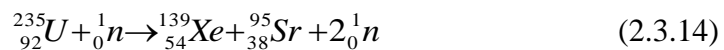
Мысалы, жеңіл ядроларда жылулық нейтрондардың әрекетінен, нейтрондарды қармау реакциялары іске асады, сонда зарядталған бөлшектер – протондар және α – бөлшектер шығарылады:



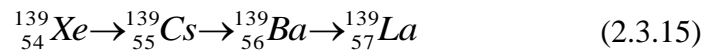
4. Өтетін ядролық түрленулердің ерекшелігі бойынша – нейтрондардың шығарылуымен, зарядталған бөлшектердің шығарылуымен және т.б. өтетін реакциялар.

Ядроның бөліну реакциясы – ауыр ядро нейтрондардың әрекетінен (және де басқа бөлшектердің әрекетінен) бірнеше (көбінесе екі) жеңіл ядроға (бөліну жарықшақтарына) бөлінеді. Бөліну жарықшақтары өзінің пайда болу мезетінде нейтрондары протондарынан артық болады. Сондықтан ауыр ядролардың бөліну реакциясы артық нейтрондардың – бөліну нейтрондарының шығарылуымен қабаттасады. Бірақ та осы процесс жарықшақ – ядролардың нейтрондармен асқын болуын толық жоймайды, сондықтан да жарықшақтар радиоактивті бола тұрып бірқатар β^- - ыдырау жасап алады, осының нәтижесінде жарықшақтағы нейтрондар мен протондардың қатынасы орнықты изотопқа сай шамаға жетеді.

Мысалы, ${}^{235}_{92}\text{U}$ уран ядросы бөлінген кезде



бөліну жарықшағы β^- - ыдыраудың үш актісі нәтижесінде ${}^{139}_{57}\text{La}$ орнықты изотопқа айналады:



(2.3.14) реакция уранның бөлінуіне әкелетін бірден – бір реакция емес, өйткені жарықшақтар арқылы да болады.

Ядроның бөлінуі кезінде нейтрондардың көпшілігі іс жүзінде лезде ($t \leq 10^{-14}$ с) шығарылады – лездік нейтрондар, өте аз бөлігі ($\leq 1\%$) – бөліну кейін біраз уақыт өткенде – кешігуші нейтрондар шығарылады.

Ауыр ядроның екі жарықшаққа бөлінуі орасан көп энергияның бөлінуімен $\sim 1,1$ МэВ/нуклон (ядролардағы – бөліну өнімдері және бастапқы ядроның меншікті байланыс энергияларының айырымына тең, яғни (8,7 – 7,6) МэВ/нуклон) қабаттасады.

Әрбір бөліну актысына шынында да орасан энергия (200 МэВ) бөлінеді ол негізінде жарықшақтарға, және де бөліну жарықшақтарының кейінгі ыдырау өнімдеріне үлестірілетіндігін эксперимент растайды.

Бөліну нейтрондарының әрекетінен өзін - өзі қолдаушы процестер тізбегі пайда болады, бұл тізбекті бөліну реакциясының, реакцияны тудыратын бөлшектер осы реакцияның өнімдері ретінде пайда болатын реакцияны, іске асырылуын мүмкін етеді. Тізбекті бөліну реакциясы нейтрондардың көбею коэффициентімен сипатталады, ол берілген ұрпақтағы нейтрондар санының мұның алдындағы ұрпақтағы санына қатынасына тең. Тізбекті бөліну реакциясының дамуы үшін қажетті шарт $K \geq 1$ болу талап етіледі.

Бастапқы қос ядро – бөлшектің өзара әрекеттесуі

- Серпімді шашырау болуы мүмкін, сонда соқтығысатын бөлшектердің тек кинетикалық энергиялары қайта үлестіріледі;
- Серпімсіз шашырау болуы мүмкін, сонда ядродан нысанағы соғылған бөлшекпен теңбе – тең, бірақ энергиясы одан кіші, бөлшек шығады;

- Ядролық реакция болуы мүмкін, осының нәтижесінде жаңа ядро мен жаңа бөлшек пайда болады.

Ядролық реакцияларда орындалатын сақталу заңдары:

а) нуклондар санының сақталу заңы: $A_1 + A_2 = A_3 + A_4$.

б) зарядтардың сақталу заңы: $Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4$.

в) релятивтік толық энергияның сақталу заңы: $E_1 + E_2 = E_3 + E_4$.

г) импульстің сақталу заңы: $p_1 + p_2 = p_3 + p_4$.

д) импульс моментінің сақталу заңы: $L_1 + L_2 = L_3 + L_4$.

Ядролық реакция энергиясы

$$Q = c^2[(m_1 + m_2) - (m_3 + m_4)] \quad (2.3.16)$$

мұндағы m_1 және m_2 – нысана ядро мен атқылаушы бөлшектің тыныштық массалары; $m_3 + m_4$ – реакция өнімдері – аяққы ядро мен бөлшектің тыныштық массаларының қосындысы.

Егер $m_1 + m_2 > m_3 + m_4$ болса, онда энергия бөлінеді, реакция экзотермалық.

Егер $m_1 + m_2 < m_3 + m_4$ болса, онда энергия бөлінеді, реакция эндотермалық.

Ядролық реакцияның энергиясын мына түрде де жазуға болады

$$Q = (K_1 + K_2) - (K_3 + K_4) \quad (2.3.17)$$

мұндағы K_1 және K_2 – нысана – ядро мен атқылаушы бөлшектің кинетикалық энергиялары, K_3 және K_4 – ұшып шығатын бөлшектің және реакция өнімі – ядроның кинетикалық энергиялары.

Экзотермалық реакция жағдайында $K_3 + K_4 > K_1 + K_2$

Эндотермалық реакция жағдайында $K_3 + K_4 < K_1 + K_2$