

# Нейтронның ашылуы. Нейтрондар әсерінен өтетін ядролық реакциялар

Нейтрондар – электр бейтарап бөлшектер



Нейтрондар кулондық тебілуге ұшырамайды



Нейтрондар ядроларға оңай енеді



Нейтрондар әртүрлі ядролық түрленулерге әкеледі

Неміс физиктері В.Боте және Г.Беккер 1930 ж. бериллий ядроларын  $\alpha$ -бөлшектерімен сәулелендіргенде өте жоғары өту қабілетіне ие сәулелердің пайда болуын анықтаған.

Мұндай өту қабілеті тек бейтарап бөлшектерде болуы мүмкін.



Жұтылу бойынша есептелген 7 МэВ энергиялы қатаң  $\gamma$ -сәулелер

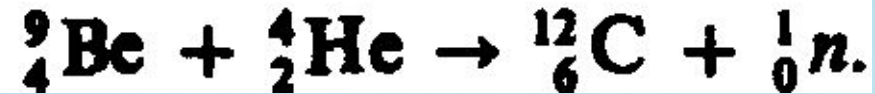
Ирен және Фредерик Жолио-Кюри 1931 ж. тәжірибелерінде ашылған сәулелену сутегі қоспаларымен (парафин) әрекетесу нәтижесінде 26 см жүру жолына ие протондар шығарылады.



Есептеулер бойынша  $\gamma$ -кванттардың энергиясы 50 МэВ тең

Ағылшын физигі Д. Чэдвик 1932 ж. жаңа өткір сәулелену  $\gamma$ -кванттар емес **нейтрондар** деп аталған ауыр бейтарап бөлшектер болып табылады деген болжам жасады.

Нейтрондар келесі ядролық реакцияда ашылды:



Ядролардан нейтрондардың ұшып шығуына әкелетін реакциялар:



Нейтрондардың энергия бойынша екі топқа бөлінеді:

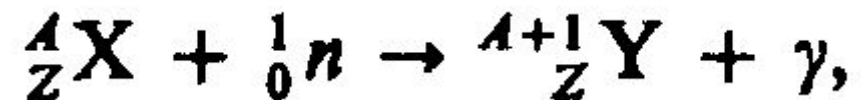
- баяу нейтрондар
  - ультрасалқын ( $E \leq 10^{-7}$  эВ)
  - өте салқын ( $10^{-7}$  эВ  $< E < 10^{-4}$  эВ)
  - салқын ( $10^{-4}$  эВ  $< E < 10^{-3}$  эВ)
  - жылулық ( $10^{-3}$  эВ  $< E < 0,5$  эВ)
- резонанстық ( $0,5$  эВ  $< E < 10^4$  эВ )
- шапшаң нейтрондар
  - шапшаң ( $10^4$  эВ  $< E < 10^8$  эВ)
  - жоғарыэнергиялық ( $10^8$  эВ  $< E < 10^{10}$  эВ)
  - релятивтік ( $E \geq 10^{10}$  эВ)

Құрамында сутегі бар заттардан (парафин, су) өткенде нейтрондар ядролардан шашырайды және баяулатқыш зат атомдарының жылу қозғалысы  $kT$  энергияға дейін баяулайды.

Ядролық реакцияларды қоздыру үшін баяу нейтрондар тиімді болып табылады. Оның себебі – нейтрондар атом ядросының аймағында орналасады. Сондықтан, ядромен нейтрон қармауының ықтималдылығы өте жоғары болады. Бірақта баяу нейтрондардың энергиясы аз болғандықтан, олар серпімсіз шашырауға әкелмейді.

Баяу нейтрондар үшін ядроларда серпімді шашырау ((n,n) типті реакция) мен радиациялық қармау ((n, $\gamma$ ) типті реакция) тән болады.

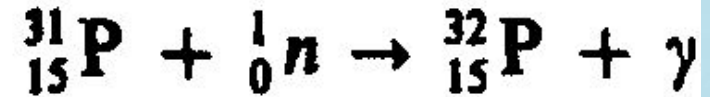
(n, $\gamma$ ) реакциясы бастапқы заттың жаңа изотопының пайда болуына әкеледі:



мысалы



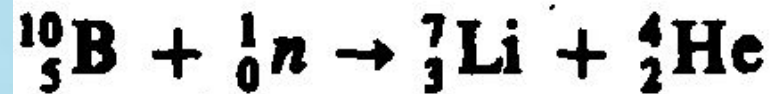
(n,γ) реакция нәтижесінде β<sup>-</sup>-ыдырауға ұшырайтын жасанды радиоактивті изотоптар пайда болады. Мысалы, келесі реакцияда



фосфордың радиоактивті изотопы алынады. Кейіннен ол β<sup>-</sup>-ыдырау кезінде тұрақты күкірт изотопына айналады:

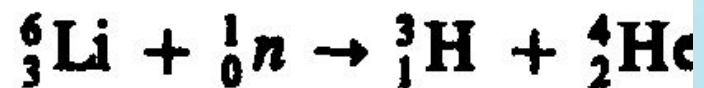


Баяу нейтрондар әсерінен жеңіл ядроларында нейтрондар қармау реакцияларында зарядталған бөлшектер (протондар мен  $\alpha$ -бөлшектер) шығарылады:



(нейтрондарды тіркеу үшін қолданылады)

немесе

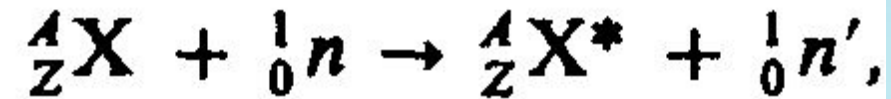


(тритийді алуға қолданылады)



(n,p) және (n, $\alpha$ ) реакциялары – зарядталған бөлшектер шығаруымен өтетін реакциялар – шапшаң нейтрондар әсерінен болады. Баяу нейтрондар жағдайында ядроның энергиясы потенциалдық тосқауылдан өтуге жеткіліксіз. Мұндай реакциялар радиациялық қармау реакциялары сияқты  $\beta^-$ -активті ядролардың пайда болуына әкеледі.

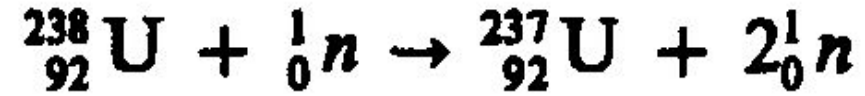
Ядроларда шапшаң нейтрондардың серпімсіз шашырауы байқалады:



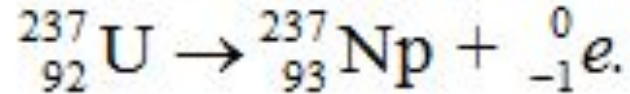
мұнда ядродан ұшып шыққан  $n'$  нейтронның энергиясы  $n$  нейтрон энергиясынан төмен болады, қоздырылған күйдегі  $X^*$  ядро негізге күйге  $\gamma$ -квант шығарып ауысады.



Нейтрондар энергиясы 10 МэВ-қа жеткенде ( $n, 2n$ ) типті реакциялар өтуде.



реакцияда пайда болатын  $\beta^-$ -активті уран изотопы келесі схема бойынша ыдырайды:



## Ядроның бөліну реакциясы

XX ғасырдың 40 жылдарында көптеген ғалымдардың (Э. Ферми (Италия), О. Хан, Ф. Штрассман (Германия), О. Фриш (Ұлыбритания), Л. Мейтнер (Австрия), Г.Н. Флеров, К.Н. Петржак (Ресей)) жұмыстарында уранды нейтрондармен атқылағанда Менделеев кестесінің ортасында орналасатын лантан мен барий пайда болатыны көрсетілген.

Ядролық реакциялардың жаңа түрі – ядроның бөліну реакциялары ашылды.

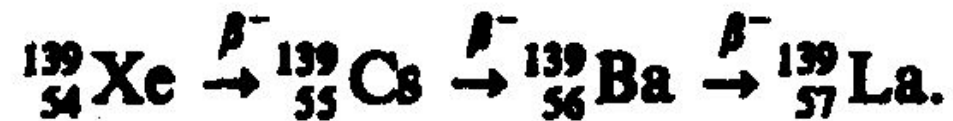
Нейтрондар мен басқа бөлшектер әсерінен яуыр ядроның массалары шамалас екі және одан көп жеңіл ядроға ыдырауы **ядроның бөліну реакциясы** деп аталады.

Ядро бөліну кезінде екі-үш **бөліну нейтрондары** деп аталатын екінші реттік нейтрондар шығарылады.

Ортаңғы ядроларда нейтрондар саны протондар санына шамалас ( $N/Z \approx 1$ ), ал ауыр ядроларда нейтрондар саны артық болады ( $N/Z \approx 1,6$ ). Пайда болатын жарықшақтарда нейтрондар көп болғандықтан, олар бөліну нейтрондарын шығарады.

Радиоактивті жарықшақтар  $\gamma$ -квант шығарып бірқатар  $\beta^-$ -түрленулерден өтеді.  $\beta^-$ -ыдырау кезінде нейтрон протонға айналады.  $\beta^-$ -ыдыраулар тізбегі нәтижесінде жарықшақта нейтрондар мен протондардың қатынасы тұрақты изотоптағындай шамаға жетеді.

Мысалы, 235-уран ядросы бөлінгенде пайда болатын Хе ядросы  $\beta^-$ -ыдыраудың үш акті нәтижесінде тұрақты лантан изотопына айналады:



235-уран бөлінгенде 3 нейтронда шығарылады:



Нейтрондардың көбісі  $t \leq 10^{-14}$  с уақыт ішінде шығарылады, ал аз бөлігін (0,7%) бөліну жарықшақтары біраз уақыттан кейін ( $0,05 \text{ с} \leq t \leq 60 \text{ с}$ ) шығарады. Біріншілері – **лездік нейтрондары** деп аталады, екіншілері – **кешігуші нейтрондар**.

Бөлінудің бір актіңде орташа алғанда 2,5 нейтрон шығарылады. Олардың энергия спектрі кең болып табылады:  $0 \div 7$  МэВ аралығында, бір нейтронға 2 МэВ энергия келеді.

Орташа массалы ядролардың меншікті байланыс энергиясы 8,7 МэВ құрайды, ал ауыр ядроларында – 7,6 МэВ. Сондықтан, ауыр ядро екі жарықшаққа бөлінгенде бір нуклонға 1,1 МэВ келетін энергия шығарылуы тиіс.

Бөліну актіңде шығарылатын энергия жарықшақтар (негізгі бөлігі), бөліну нейтрондар мен жарықшақтардың кейінгі ыдыраудың өнімдері арасында үлестіріледі.

Атом ядроларының бөліну теориясының (Н.Бор, Я.И.Френкель) негізінде ядроның тамшы моделі жатыр. Мұнда ядро электр зарядталған сығылмайтын сұйық тамшысы ретінде қарастырылады. Сұйық ядролық тығыздығына ие, кванттық механика заңдарына бағынады. Ядроға нейтрон түскенде сұйық бөлшектері тербеледі, нәтижесінде ядро үлкен энергияға ие болатын екі бөлігіне жарылады.

Ядролардың бөліну ықтималдылығы нейтрондардың энергиясымен анықталады. Жоғары энергиялы нейтрондар барлық ядролардың бөлінуіне әкеледі, ал бірнеше МэВ энергиясы бар нейтрондар – тек ауыр ядроларды ғана ( $A > 210$ ).

**Активтендіру энергиясы** дегеніміз бұл ядро бөліну реакциясын өткізуге қажетті минимал энергия.

1 МэВ активтендіру энергиясына ие нейтрондар 238-уран, 232-торий, 231-протактиний, 239-плутоний ядроларын бөлінуіне әкеледі.

Жылулық нейтрондардың қатысуымен 235-уран, 239-плутоний, 233-уран, 230-торий ядролары бөлінеді. Соңғы екі изотоп табиғатта кездеспейді. Олар жасанды түрде алынады.

232-торий ядросымен нейтронның радиациялық қармау ((n,γ) реакция) нәтижесінде 233-уран изотопы пайда болады:

