

11-ДӘРІС



Асқарұлы Қыдыр
PhD., қауымдастырылған профессор

Атом ядросы

Атом ядросының құрамы және заряды.

Ядроның зарядтық және массалық саны. Ядро радиусы

а-бөлшектерінің шашырауы бойынша жүргізілген Резерфорд тәжірибелері атомның бұлдыр құрылымды болатынын көрсетеді, яғни атом кеңістігі (атом радиусы шамамен 10^{-10} м шамасында) затпен қамтылмаған болып табылады. Атомның центрінде ядро орналасқан (ядро радиусы 10^{-15} - 10^{-14} м), мұнда масса және атомның барлық оң заряды жинақталған. Ядроның айналасында тұйық орбитамен электрондар қозғалады. Атом ядросының заряды оның негізгі сипаттамаларының бірі болып табылады. Кез-келген элементтің атом ядросы зарядының шамасы электрон зарядын e Менделеев кестесіндегі элементтің реттік нөміріне z көбейткендегі шамаға тең болады, яғни

$$q = e \cdot Z$$

Әртүрлі элементтер атомдарының ядролары әртүрлі зарядтарға ие болады. Кез-келген бүтін атом бейтарап болады, яғни оң зарядталған ядроның айналасында, жалпы заряды абсолют шамасы бойынша ядроның оң зарядына тең болатын Z электрондар айналып жүреді.

Әрқайсысы бір-бірінен алшақ тұрған екі елдегі Д.Д. Иваненко мен В. Гейзенберг ядроның протонды-нейтронды атомдық моделін құрды. Бұл модель бойынша кез-келген атом ядросы p протондар мен n нейтрондардан құралады. p протон – оң зарядталған элементар бөлшек, оның заряды шамасы жағынан электрон зарядының шамасына тең ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл), протонның тыныштық массасы электрон массасынан 1836 есе үлкен, яғни $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27}$ кг $\approx 1836 m_e$ тең, мұндағы m_e – электронның тыныштық массасы. n нейтрон – бейтарап элементар бөлшек, оның тыныштық массасы $m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27}$ кг $\approx 1839 m_e$, яғни ол протонның тыныштық массасына өте жақын шама. Протондар мен нейтрондарды біріктіріп, оларды басқа бөлшектерден ажырату үшін *нуклондар* деп атайды. Ядроның символдық белгіленуі:

$${}^A_Z X,$$

мұндағы X – химиялық элементтің символы, A – ядродағы нуклондар саны (немесе химиялық элементтің атомдық массасы), Z – ядродағы протондар саны (немесе химиялық элементтің реттік нөмірі).

Ядродағы нуклондар саны A ядродағы протондар саны Z мен нейтрондар санының N қосындысына тең:

$$A = Z + N$$

Протондар саны Z зарядтық сан деп аталады. Ол Менделеев элементтерінің периодтық жүйесіндегі химиялық элементтің реттік нөміріне сәйкес келеді. Атомдағы электрондар саны ядродағы протондар санына тең. Қазіргі кезде 107 элементтер белгілі болып отыр, олардың зарядтар саны $Z=1$ -ден $Z=107$ -ге дейін санға тең. Берілген химиялық элементтің барлық атомдарының ядросы бірдей оң заряд, сондықтан олар протондардың Z санымен бірдей санды құрайды. Бір элементтің атомдық ядроларына кіретін нейтрондардың саны $N = A - Z$ әртүрлі болуы мүмкін.

Изотоптар деп протондар саны Z бірдей, ал нейтрондар саны N әртүрлі болатын атомдық ядроларды айтады. Бір элементтің изотоптары бірдей химиялық сипаттамаларға ие болады, бірақ массалары жағынан әртүрлі болады. Мәселен, сутегінде үш изотоп бар: протий - 1_1H ; дейтерий - 2_1H ; тритий - 3_1H . Уранның ${}^{234}_{92}U$, ${}^{235}_{92}U$, ${}^{238}_{92}U$ изотоптарында 92-ге тең бірдей протондар саны, ал нейтрондар саны әртүрлі болады.

Изобарлар деп нуклондар саны A бірдей, ал протондар саны Z әртүрлі болатын ядроларды айтады. Изобарлар мысалына ${}^{10}_4\text{Be}$, ${}^{10}_5\text{B}$, ${}^{10}_6\text{C}$ келтіруге болады.

Ядролар және элементар бөлшектер масса мен зарядтан басқа тағы да спин деп аталатын өте маңызды сипаттамамен анықталады (spin – ағылшын тілінде «шыр айналу» деген мағынаны береді. Спин деп бөлшектің меншікті импульс моментін айтады. Спин бөлшектің қозғалыс күйлеріне тәуелді емес. Бөлшек

спині кванттық теория бойынша Планк тұрақтысының $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ ($0, 1, 2, \dots$) бүтін

сандарына немесе $\left(\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \dots\right)$ жартылай сандарына тең болуы мүмкін.

Протондар, нейтрондар және электрондар $\left(\frac{\hbar}{2}, \frac{3\hbar}{2}, \dots\right)$ жартылай спиндерге ие.

Бөлшектердің мұндай (жартылай спиндерге ие бөлшектер) түрлері фермиондар деп аталады, ал бүтін спинге тең бөлшектер бозондар деп аталады.

Ядроның радиусы мен тығыздығы

Атом ядроларының пішіні сфералық күйге жақын келеді. Ядроның радиусы келесі эмпирикалық өрнекпен анықталады:

$$R = R_0 A^{\frac{1}{3}}, \quad (13.1)$$

мұндағы $R_0 = (1,3 \div 17) \cdot 10^{-15} \text{ м}$, A – нуклондар саны.

Бұл өрнектен ядро көлемі ($V = \frac{4}{3} \pi R^3$) нуклондар санына пропорционал болады. Ал бұл – барлық ядролар, олардың мөлшеріне қарамай бірдей тығыздыққа ие болады дегенді білдіреді. Ядро тығыздығын есептейік

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{A \cdot m_p}{\frac{4}{3} \pi R^3} = \frac{A \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}}{\frac{4}{3} \pi \cdot A \cdot (1,3 \cdot 10^{-15})^3 \text{ м}^3} \approx 1,8 \cdot 10^{17} \text{ кг/м}^3.$$

Ядро тығыздығы өте үлкен шама болып табылады. Материалдығына қарай радиусы 200 м болатын шар, жер шарының массасын берген болар еді.

Ядролық күштер

1. Протондардың өзара тебу күшіне қарамастан, протондар мен нейтрондар атом ядросының ішінде ядролық күштер деп аталатын ерекше күштерге ие болады.
2. Ядролық күштерге шамасы және сипаты бойынша бірдей, әрбір қос нуклон арасында әсер етіледі (екі протон арасында не екі нейтрон арасында немесе протон мен нейтрон арасында, яғни оларға зарядты тәуелсіздік қасиетіне тән).
3. Олар электромагниттік күштерден 100 еседей артық, сондықтан да ядро ішіндегі аттас зарядталған протондарды ұстап тұруға олардың қабілеті бар.
4. Ядролық күштер өте жақын қашықтықта әсер етеді (мысалы, 10^{-15} м шамасында), яғни қысқа қашықтықта әсер етуші күштер болып табылады. Ядролық күштер ықпалы тиетін аймақ, атом ядросының “мөлшері” деп аталады. Ядролық күштермен салыстырғандағы гравитациялық күштер қашықтыққа қарай $1/r^2$ заңы бойынша) едәуір баяуырақ кемиді. Сондықтан, ядродан $r > 10 \cdot 10^{-15}$ м қашықтықта ядролық күштер 0 -ге дейін өте тез кемиді де, протондар ядродан өте күшті тебіледі. Ядролық күштер өте күшті өзара әсер етуші күштер түріне жатады.
5. Ядродағы әрбір нуклон тек оларға жақын орналасқан нуклондардың шекті санымен ғана өзара әсерлесе алады. Сондықтан, ядродағы нуклондардың меншікті байланыс энергиясы, нуклондар санының артуы кезінде, шамамен тұрақты болып қалады (әрине, бұл жеңіл ядроларға қатысты емес). Осымен байланысты, ядролық күштерге қанығу қасиеті тән.
6. Ядролық күштердің шамасы өзара әсер етуші нуклондардың спиндерінің өзара бағдарлануына тәуелді. Тек параллель спиндер жағдайында ғана нейтрон мен протон дейтрон ядросын құра алады. Егер де оларда спиндер антипараллель болса, онда ядроны құрау үшін ядролық өзара әсер ету күшінің интенсивтігі жеткіліксіз.
7. Ядролық өзара әсер ету процесінде протон мен нейтрон өздерінің электр зарядтарымен алмаса алады, өзара әсерлесуден кейін нейтрон протонға, ал протон нейтронға ауыса алады. Яғни, ядролық күштер алмасу сипатта бола алады.

Ядро моделі

Ядро модельдерінің ішінен *тамшылы және қабықшалы* екі түрін қарастырайық. Бұл модель бойынша ядро – зарядталған сығылмайтын аса жоғары тығыздықтағы ядролық сұйықтан тұратын сфералық тамшы болып табылады. Тамшылы модель – сұйық тамшысындағы молекула табиғаты мен ядродағы нуклондардың табиғатының ұқсастығындағы байланыстылыққа негізделген. Ядродағы протондар мен нуклондар арасындағы өзара күштер қысқа қашықтықта әсер етеді, оларға қанығу қасиеті тән. Сыртқы шарттар өзгермеген кезде сұйықтағы тамшы тұрақты тығыздықты қабылдайды. Сонымен бірге, ядро да тұрақты тығыздыққа ие болады, ядродағы нуклондар санына тәуелсіз. Ядроның көлемі де және сұйық тамшысының көлемі де, бөлшектер санына пропорционал болады. Тамшы моделі бойынша, ядро – сығылмайтын сұйықтың электрлік зарядталған тамшысы, кванттық механика заңдарына бағынады. Бұл модель бір қатар ядролық құбылыстарды (ядролық реакция механизмін, ядролық бөліну реакциясын және т.б.) түсіндіруге мүмкіндік берді.

Қабықшалы модель бойынша ядродағы нуклондар дискретті энергиялық деңгейлер бойынша орналасқан, деңгейлер (қабықшалар) Паули принципі бойынша толтырылады. Ядроның тұрақтылығын – модель, деңгейлерді толтыру сипатымен байланыстырады. Егер де қабықшалар толық түрде толтырылған болса, онда ядро өте орнықты деп есептеледі. Одан әрі, шындығында ядроның ерекше орнықты (магикалық) болатындығы дәлелденді. Қабықшалы модель көмегімен ядроның магнит моменті мен спині, атом ядросының әртүрлі орнықтылығы, олардың қасиеттерінің периодты өзгерістерін түсіндіруге мүмкіндік берді. Әсіресе, қабықшалы модель жеңіл және орташа ядроларды сипаттаумен қатар, қозбайтын (негізгі) күйдегі ядроны жақсы түсіндіре алады.

Байланыс энергиясы. Масса ақауы

Бұдан әрі атом ядроларының қасиеттерін тәжірбие жүзінде алуға сипаттамалары үшін ядроның басқа жаңа модельдері ұсынылды. Атом ядросының негізгі сипаттамаларының ішінен әртүрлі алмасуларға қатысты олардың бірқалыпты тұрақтылығын алуға болады. Атом ядроларының орнықтылығы – ядродағы нуклондардың ядролық күштермен байланыстылығынан болады. Ядродағы байланысқан нуклондардың энергетикалық күші еркін күйде тұрған бұл бөлшектердің күйлерінен бөлек болады. Ядро энергиясы ядроны құрайтын еркін нуклондардың энергиясынан едәуір аз болады. Бұл бөлшектердің әрбірін ядродан қашықтату үшін энергия жұмсау қажет. Бұл атом ядросын еркін протондар мен нейтрондардан құрау негізінде энергия жұмсалады деген сөз.

Ядроның байланыс энергиясы деп ядроны нуклондарға ажырату үшін қажет болатын энергияны айтады. Байланыс энергиясы ядроның беріктігін анықтайтын сипаттамалардың бірі болып табылады

$$E_{\dot{\alpha}} = [Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\dot{\gamma}}] \tilde{\hbar}^2, \quad (13.2)$$

мұндағы $m_p, m_n, m_{\dot{\gamma}}$ - протонның, нейтронның және ядроның сәйкес массалары.

Байланыс энергиясы – ядроны құраушы нуклондарға бөлуді қамтамасыз ету үшін қажет болатын ең минимал энергия мөлшері. Масса ақауы Δm деп мына шаманы айтады:

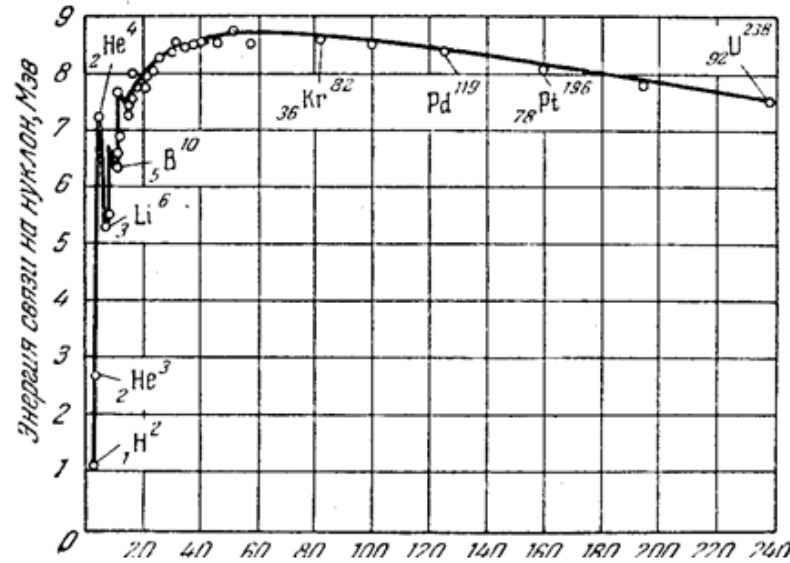
$$\Delta m = [Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\dot{\gamma}}]. \quad (13.3)$$

яғни, дербес протондар мен нейтрондардан ядроны құрған кезде барлық нуклондар Δm массаға азаяды. Атом ядросына кірген бөлшектер көп болған сайын, оның толық байланыс энергиясы соншалықты артады. Бірақ, ядро орнықтылығының объективті сипаттамасы ретінде толық байланыс энергиясы емес, бір бөлшекке келетін байланыс энергиясын ескереді. Бұл шама *меншікті байланыс энергиясы* деп аталады:

$$\varepsilon = \frac{E_b}{A}. \quad (13.4)$$

Бұл – ядроның орнықтылығын тек, оның еркін бөлшектерге толық ажыратылуына қатысты емес, сонымен бірге ядроны оған кіретін барлық нуклондардың өзгеруіне қатысты алмасуына байланыстылығын сипаттайды. Барлық ядролар үшін шамамен орташа байланыс энергиясы 8 МэВ. Бұл, ядродан бір нуклонды шығару үшін шамамен 8 МэВ энергия жұмсау қажет деген сөз. Керісінше, ядроның бір нуклонды қармап қалуы үшін бұл энергия босатылады, ядрода артық энергия пайда болып қозған күйге көшеді. 13.1-суретте ядролардың меншікті байланыс энергиясының нуклондар санына тәуелділігінің тәжірибеден алынған нүктелері көрсетілген.

Ядрода нуклондар тартылыс күштері әсерінен ұсталады, тартылыс күштері протондардың тебетін нуклондық күштерінен артық болу керек.



13.1-сурет. Меншікті байланыс энергиясының ϵ нуклондар санына A тәуелділігі.

13.1-суреттен ядродағы нуклондар санының артуына байланысты меншікті байланыс энергиясы бастапқыда артады, содан кейін $A > 80$ аймағында A-ның артуына байланысты біртіндеп кемиді. Жеңіл және ауыр ядроның орнықтылығы аз болады. Массалық саны 80-ге жақындағанда ядролық тұрақтылық артады.

Радиоактивті сәулелену (сәуле шығару) және оның түрлері

Табиғатта кездесетін бірқатар атомдық ядролар (радий, уран, торий және т.б.) өз бетінше α -бөлшектерін, электрондарды және γ -кванттарын шығару мүмкіншіліктері бар екендігі қазіргі кезде белгілі болды. Мұндай ядролар радиоактивті, ал құбылыстың өзі табиғи радиоактивтілік деп аталады.

Элементтердің радиоактивті қасиеттері олардың ядроларының құрылымы арқылы білінеді, өйткені радиоактивті ыдырау процесіне әсер етуі көлем, температура өзгеруіне, не химиялық қосылыс түріндегі агрегатты күйлердің өзгеруіне әсер етпейді. Одан әрі көптеген жасанды радиоактивті ядролар алынды. Табиғи және жасанды радиоактивтілік бір ғана радиоактивті алмасу заңына бағынады.

Жоғарыда айтылғандай, ядроның өздігінен ыдырауы кезінде α , β , γ сәулелері шығарылады. Қысқаша осы сәулелерді сипатталық. α сәулелері – гелий атом ядросының (${}^4_2\text{He}$) ағыны; β сәулелері – жылдам электрондар ағыны; γ сәулелері – қысқа толқынды электромагнитті сәулелену ($\lambda < 10^{-10}$ м) болып табылады. γ сәулелерінің α және β сәулелерінен айырмашылығы, ол не электр өрісінде, не магнит өрісінде ауытқымайды.

Бақылау сұрақтары:

1. Кванттық санның үлкен мәндерінде түбі жазық, қабырғалары шексіз биік потенциалдық шұңқыр ішіндегі электронның энергиялық деңгейлері квазиүздіксіз болатындығын көрсетіңіз.
2. Қандай құбылыс туннелдік эффект деп аталады?

Назарларыңызға рахмет!