

Атомның ядролық моделі

- Атомның құрылысы
- Резерфорд тәжірибелері
- Атомның ядролық (планетарлық) моделі
- Резерфорд формуласы
- Резерфорд формуласын тексеру
- Ядро зарядын анықтау
- Атомның планетарлық моделінің классикалық физика көріністерімен үйлеспеуі

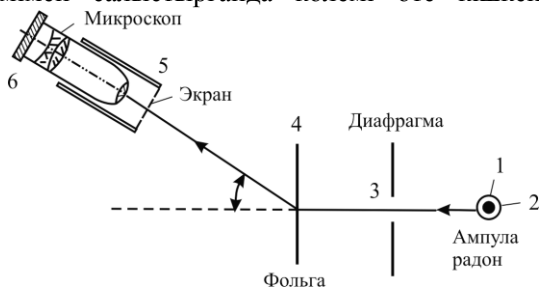
1. Денелердің бәрі атомдардан тұратындығы жақсы белгілі. Атомдардың мөлшерлерінің реттік шамасы 10^{-10} м, әр түрлі элементтер атомдарының массалары 10^{-27} кг-нан 10^{-25} кг-ға дейінгі аралықта болады. Атомның құрылысы жөніндегі нақты көріністер физикада заттың қасиеттері жайындағы деректердің жинақталуы бойынша дамыды.

XIX ғасырдың аяғында атомның құрамында теріс зарядталған бөлшектер-электрондардың бар екендігі тағайындалды. Электронның заряды ($e=1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл) және массасы ($m=9,1 \cdot 10^{-31}$ кг) өлшенді. Атом бүтіндей алғанда электрлік бейтарап, сондықтан оның құрамында электрондардың теріс зарядын теңгеретін оң зарядталған бөлшектер де болуы тиіс. Енді осыған байланысты атомдағы зарядталған бөлшектердің үлестіріліп орналасуы қандай деген сұрақ туады. Осы сұрақтың жауабын тәжірибе арқылы ағылшын физигі Э.Резерфорд (1911) тапты.

2. Э.Резерфорд атомның құрылысын α -бөлшектерді (заряды $q_\alpha = +2e$, массасы $m_\alpha = 6,64 \cdot 10^{-27}$ кг, жылдамдығы $v_\alpha \approx 10^7$ м/с) пайдаланып тәжірибе жасап зерттеген: жұқа алтын фольгадан өткен бөлшектердің қозғалыс бағыттарының өзгерісін бақылаған. Тәжірибе схемасы 1-суретте көрсетілген.

Тәжірибелерде α -бөлшектердің көпшілік басым бөлігі фольгадан өткенде бастапқы қозғалыс бағытын сақтаған немесе өте кішкене (3° -тан аспайтын) бұрыштарға ауытқыған. Бірақ кейбір α -бөлшектердің 90° -тан үлкен бұрыштарға, тіпті 180° -қа таяу бұрышқа бұрылғаны да байқалған. Осылай шұғыл ауытқуларды α -бөлшектің фольгадағы жолында жеке ауытқулардың

жинақталуымен түсіндіру мүмкін болмады. Тәжірибе нәтижелерін түсіндіру үшін Резерфорд атомның оң заряды түгелдей атомның толық көлемімен салыстырғанда көлемі өте кішкентай оның



1-сурет

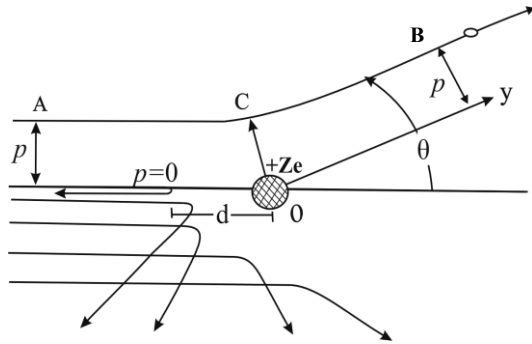
ядросында шоғырланған деп ұйғарды. Атомның қалған бөлігі теріс зарядталған электрондардың бұлты, бұлардың толық заряды ядроның оң зарядына тең. Осылай, 1911 жылы қазіргі заман физикасының дамуына зор роль атқарған **атомның ядролық моделі** пайда болды.

3. Резерфорд былай ұйғарды: атом өте кішкентай, бірақ ауыр, оң зарядталған ядродан (мұнда атом массасының 99,9% шоғырланған) және оны қайсыбір қашықтықта қоршаған электрондардан тұрады. Электрондар ядроны айналып қозғалуы тиіс болды (күнді айналатын планеталар сияқты), өйткені, егер олар тыныштықта болса, онда электрлік кулондық тарту әсерінен ядроға құлаған болар еді. Резерфордтың бағалауы бойынша ядро мөлшерінің реттік шамасы 10^{-15} - 10^{-14} м болуға тиіс. Ал атом мөлшерінің реттік шамасы 10^{-10} м. Бұдан электрондар ядродан шамамен 10^4 - 10^5 ядро диаметріндей қашықтықта болуға тиіс, яғни атомның басым бөлігі бос кеңістік болады.

Резерфорд тәжірибелерінде оң зарядталған ядро анықталғаннан кейін енді электрондар атомның қай жерінде болады, ал қалған кеңістік немен толтырылған деген сұраққа жауап беру керек болды. Резерфорд атомның құрылысы планеталар жүйесіне ұқсас деген жорамал ұсынды. Күннің айналасында үлкен қашықтықтарда планеталар қалай айналып жүретін болса, дәл солай, атомның ішінде электрондар ядроны айналып жүреді. Ядродан ең алыс электрон орбитасының радиусы-атомның радиусы

болады. Атом құрылысының осындай моделі **планетарлық** немесе **ядролық модель** деп аталады.

4. Резерфорд формуласы. Э.Резерфорд α -бөлшектердің заттан шашырау теориясын жасады. Ол шашыраған α -бөлшектердің θ бұрышының мәндері бойынша үлестірілуін бейнелейтін формула қорытып шығарды.



2-сурет

Э.Резерфордтың есептеуіне қарағанда α -бөлшекпен атом ядросы арасындағы кулондық электростатикалық тебу күші әсерінен α -бөлшек фокусында ядро орналасқан гипербола бойынша қозғалады (2-сурет). Сонда α -бөлшектің θ шашырау бұрышының шамасы оның бастапқы v жылдамдығына, M массасына, Ze зарядының мөлшеріне және α -бөлшектің ядроға ең жақын келетін r_0 қашықтығына, ядроның Ze зарядының мөлшеріне тәуелді болады. Бұл тәуелділік мына түрде жазылады

$$\operatorname{ctg} \frac{\theta}{2} = \frac{4\pi\epsilon_0 M v^2 p}{Ze^2} \quad (1)$$

Бұл формулаға қарағанда, неғұрлым p шамасы кіші болса, соғұрлым θ шашырау бұрышы үлкен болады, ал $p=0$ болғанда, ол 180° -қа жетеді.

Бірақ (1) формуланы тәжірибе жүзінде тексеру мүмкін емес, өйткені формулада белгісіз шама бар, ол өлшеуге келмейтін **нысаналық қашықтық p** . Бұл қиындықты жеке бөлшекті емес, α -бөлшек шоғының шашырауын қарастырып шешуге болады.

А нүктесіне зат қабыршағын (фольганы) орналастырайық. Бұған уақыт бірлігіне N бөлшек түсіп тұр дейік. $\theta, \theta+d\theta$ сфералық

белдеуге шашырайтын dN бөлшек санын анықтайық (3-сурет). Осы сфералық белдеуге сәйкес денелік бұрыш мынаған тең:

$$d\Omega = 2\pi \sin \theta d\theta. \quad (2)$$

$d\Omega$ денелік бұрышына әрбір шашыратқыш центр (атом ядросы) маңынан жүргізілген радиустары r және $r-dr$ қалыңдығы dr дөңгелек сақина ішінен ұшып өтетін бөлшектер шашырайды. Осындай дөңгелек сақина ауданы

$$S = 2\pi r dr. \quad (3)$$

Әрине, $d\Omega$ денелік бұрышқа шашыраған dN бөлшек саны S ауданына, фольганың 1см^2 бетіне келетін n шашыратушы ядро санына, 1с ішінде фольганың 1см^2 бетіне түсетін N бөлшек санына пропорционал, яғни dN мынаған тең

$$dN = 2\pi n N r dr \quad (4)$$

$d\sigma$ арқылы мына шаманы - бөлшектердің шашырауын сипаттайтын тиімді қиманы белгілейміз:

$$d\sigma = \frac{dN}{N} = 2\pi r dr. \quad (5)$$

$r dr$ шамасын анықтау үшін (1) теңдікті квадраттап және оны дифференциалдайық

$$r dr = \frac{1}{2} \left(\frac{Z_1 Z e^2}{4\pi\epsilon_0 M v^2} \right)^2 \frac{\text{ctg} \frac{\theta}{2} d\theta}{\sin^2 \frac{\theta}{2}}. \quad (6)$$

Осы (6) өрнекті және (2) өрнектен анықталған $d\Omega$ шамасын (5) формулаға қойғанда мына формула шығады:

$$d\sigma = \frac{dN}{N} = \frac{n}{4} \left(\frac{Z Z_1 e^2}{4\pi\epsilon_0 M v^2} \right)^2 \frac{d\Omega}{\sin^4 \frac{\theta}{2}} \quad (7)$$

5. Осы (7) формула Резерфорд формуласы деп аталады. (7) өрнектен мынаны көруге болады: егер атомның планетарлық моделі дұрыс болса және егер Кулон заңы $\sim 10^{-14}$ м аралыққа дейін орындалатын болса, онда dN шашыраған α -бөлшектердің саны шашырау бұрышы артқан сайын $(1/\sin\theta/2)$ және бөлшек энергиясы өскен сайын $(1/E^2)$ тез кемуі керек; екінші жағынан, α -бөлшектердің саны шашыратушы ядролар зарядының квадратына пропорционал өсуі керек. Резерфорд формуласының осы

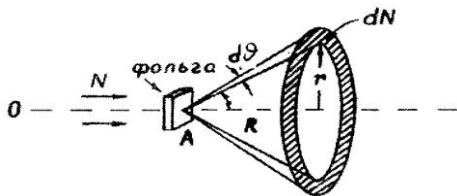
салдарының бәрі тәжірибе жүзінде тексерілген. Резерфорд формуласын тексеру үшін оны былай жазған қолайлы

$$dN \cdot \sin^4 \frac{\theta}{2} = N \cdot n \left(\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 Mv^2} \right) d\Omega. \quad (8)$$

Алдымен фольгадан өткенде dN шашыраған α -бөлшектер санының θ шашырау бұрышына тәуелділігі зерттеледі. Ол үшін тәжірибе жасалған кезде $2Ze^2/Mv^2$, $d\Omega$, n , N шамаларын өзгертпеуге болады. Ендеше, (8) өрнегіне сәйкес

$$dN \cdot \sin^4 \frac{\theta}{2} = \text{const} \quad (8a)$$

болады. Сонда θ шашырау бұрышының мәні өзгергенмен $dN \cdot \sin^4(\theta/2)$ шамасы өзгермеуге тиіс. Бұрыштық тәуелділікті тексеру мынаны көрсетті: θ 15° -тан 150° -қа дейін өзгергенде, яғни $\sin^4 \theta/2$ 25000 есе өзгергенде, $dN \cdot \sin^4 \theta/2$ шамасы тұрақты болып отырған (~10% дәлдікпен). Сөйтіп, Резерфорд формуласы дұрыс болып шықты.

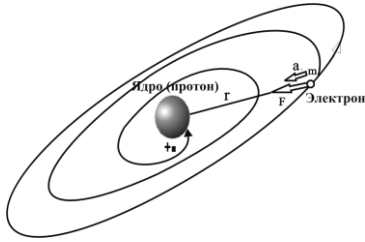


3-сурет

6. Ядро зарядын анықтау. Резерфорд формуласын ядро зарядын өлшеу үшін қолдануға болады. Ол үшін dN және N шамаларын өлшеу керек. Осыдан кейін (8) формуладағы басқа қалған шамаларды α -бөлшектердің алтын фольгадан шашырауы белгілі деп санауға болғандықтан, Z мәнін табуға болады.

7. Атомның планетарлық моделінің классикалық физика көріністерімен үйлеспейі. Ядро айналасында қозғалатын электрондардың центрге тартқыш үдеуі болатындықтан олар үздіксіз электромагниттік толқындар шығаруы тиіс. Сәуле шығарудан энергияның шығынға ұшырап, азақы нәтижесінде электрондар орбитасының радиусы үздіксіз кішірейе беруге тиіс, ең соңында ядроға құлауға тиіс, яғни классикалық физика тұрғысынан планетарлық модель түріндегі атом жалпы өмір сүре алмайды (4-сурет).

Классикалық физика тұрғысынан атом шығаратын сәуле жиілігі электрондардың айналу жиілігімен дәл келуге тиіс және осы негізгі жиілікке еселі жиіліктер де құрамында болуға тиіс.



4-сурет

Сәуле спектрінің осындай сипаты атомдық спектрлерде байқалатын заңдылықтарға толық қарама-қайшы келеді.

Сонымен, бір жағынан Резерфорд тәжірибелері атомның планетарлық моделін растайды. Екінші жағынан тағайындалған бірқатар эксперименттік деректер мен заңдылықтарды атомның

планетарлық моделіне сүйеніп және классикалық физика көріністерін пайдаланып түсіндіру мүмкін болмайды.

Сұрақтар

1. α -бөлшектердің фольгадан шашырауын зерттеуге арналған тәжірибелерді Резерфорд қандай мақсатпен қойды?

2. α -бөлшек қандай бөлшек? Неліктен бөлшектердің көпшілігі фольгадан ауытқымай өтеді? Неліктен бөлшектердің кейбіреуі қозғалыс бағытын кері өзгертеді? Осы нәтижелердің негізінде металл атомының құрылысына қатысты қандай қорытынды жасалады?

3. Атомның ядролық моделіне алып келген Резерфорд тәжірибелерін сипаттап беріңіз. Атом ядросының радиусын қалай бағалауға болады? Ол неге тең? Атомның радиусы неге тең?

4. Неліктен Резерфорд ұсынған атом моделі классикалық физика көріністерімен келіспейді?

5. α -бөлшектердің зат бөлшектері атомдарынан шашырауы бойынша Резерфорд тәжірибелерінің идеясы қандай? Схемасы қандай?

6. Резерфорд тәжірибелерінде неліктен нысана ретінде алтын атомдары таңдалып алынған?

7. Резерфорд тәжірибелері нені көрсетті? Бұлардың нәтижелері Томсон ұсынған атом моделіне сай келді ме?

8. Тәжірибе нәтижелерін түсіндіру үшін Резерфорд атомның қандай моделін ұсынды?

9. Атомның планетарлық моделінің қандай кемістіктері бар?