

Строеж на атома – модели на Ръдърфорд и Бор. Водороден атом

Строеж на атома – модели на Ръдърфорд и Бор

Съвременните представи за строежа на атома започват да се оформят едва в началото на ХХ в. след откриването на явлениято радиоактивност и опитите на английския физик Ъ. Ръдърфорд по разсейване на α -частици от различни вещества. Ръдърфорд установил, че атомите имат сложен вътрешен строеж: състоят се от положително ядро с малки размери, около което се движат отрицателни електрони. Като цяло атомът е електронеутрален, тъй като положителните и отрицателните заряди се компенсират взаимно. Тези резултати естествено поставили въпроса за вътрешния строеж на атома, както и за разположението на електричните заряди в рамките на неговия обем.

През 1911 г., изучавайки разсейването на α -частици (положително заредени частици) от различни вещества, Ръдърфорд открива, че целият положителен заряд и почти цялата маса на атомите е съсредоточена в ядро с размери от порядъка на 10^{-15} m (размерите на атомите са $\sim 10^{-10}$ m, т.е. около 10^5 пъти по-големи от тези на ядрата). Основавайки се на тези резултати, Ръдърфорд предложил т.нар. планетарен модел на атома. Според този модел атомът се състои от положително заредено тежко ядро, около което по затворени орбити се движат електроните, образувайки т.нар. електронна обвивка на атома. Зарядът на ядрото по големина е равен на общия заряд на всички електрони. Този модел обяснявал добре опитите по разсейването на α -частици от веществото и позволил да се определи зарядът на ядрото; било показано, че зарядът q на ядрото е равен на поредния номер Z на елемента в периодичната система на Менделеев, умножен по елементарния електричен заряд e : $q=Ze$.

Моделът на Ръдърфорд обаче се оказал свързан с редица затруднения. Съгласно законите на класическата електродинамика всеки електричен заряд, който се движи ускорително, трябва да излъчва електромагнитни вълни. В такъв случай електроните, движейки се около ядрото, непрекъснато ще излъчват електромагнитни вълни, вследствие на което енергията им постепенно ще намалява. В електричното поле на ядрото всеки електрон притежава потенциална енергия $U \sim Ze^2/r$, където r е радиусът на съответната орбита на движение на електрона. Очевидно с намаляване енергията на електрона ще намалява и радиусът на орбитата му, при което в определен момент той ще падне върху ядрото, т.е. атомът ще престане да съществува като устойчива система. С приближаването към ядрото периодът и честотата на електромагнитното излъчване също ще се изменят непрекъснато, поради което спектърът на излъчването ще бъде непрекъснат (в действителност излъчването на атомите има линеен (дискретен) спектър).

Противоречията в модела на Ръдърфорд били избегнати с предложения от датския физик Н. Бор през 1913 г. нов, квантов модел на атома, който се основава на следните три постулата:

- Атомът може да съществува само в определени стационарни състояния, всяко от които се характеризира с определена стойност на пълната енергия. На стационарните състояния съответстват определени стационарни кръгови орбити, по които се движат електроните. При движението си по тези орбити електроните не излъчват електромагнитни вълни.
- При преминаване на атома от едно стационарно състояние в друго се излъчва или поглъща фотон. Атомът излъчва фотон, ако се извършва преход на електрон от състояние с по-голяма енергия E_m към състояние с по-малка енергия E_n , или поглъща фотон като извършва преход от състояние с по-малка енергия към състояние с по-голяма енергия. Енергията на погълнатия или излъчен фотон е равна на разликата в енергиите на двете състояния – $E_\gamma = hf = |E_m - E_n|$.
- Моментът на импулса на електрона на стационарните орбити може да има само дискретни (квантувани) стойности – $L_n = mv_n r_n = n\hbar$; $n = 1, 2, 3, \dots$

Първият постулат на Бор дефинира стабилността на атомите. Вторият постулат е свързан с наблюдаваните дискретни атомни спектри и в съгласие с квантовата хипотеза на Планк за топлинното излъчване. Третият постулат на Бор не е свързан с нищо, наблюдавано до този момент. Той е продължение на идеята за квантуване на величините в микросвета. Неговият смисъл е изяснен 10 години по-късно, след като д-р Бройл изказва хипотезата за вълновия характер на микрочастиците. Оказва се, че третият постулат налага условието върху всяка възможна кръгова орбита на електрона да могат да се нанесат цяло число вълни на д-р Бройл:

$$2\pi r_n = n\lambda_n; \quad 2\pi r_n = n \frac{h}{mv_n} \Rightarrow mv_n r_n = n\hbar.$$

С други думи, електронът може да се намира само на такива орбити, чиято дължина е кратна на дължината на вълната на д-р Бройл за електрона със съответната скорост.

Водороден атом

Експериментите на Ръдърфорд довеждат и до откриването на протона – частица, която има положителен заряд, равен по големина на елементарния електричен заряд. Протоните изграждат ядрата на атомите (заедно с откритите по-късно неутрони). Теорията на Бор може да се приложи за най-простия атом – атома на водорода, който съдържа един протон и един електрон. Масата на протона е много по-голяма от масата на електрона, поради което можем да приемем, че електронът се движи около неподвижния протон, намиращ се в центъра на атома. За разлика от масите електричните заряди на протона и електрона са еднакви по големина, но противоположни по знак. Силата на взаимодействие между електрона и протона се определя от закона на Кулон. Тя представлява центростремителна сила, под действие на която електронът се движи със скорост v_n по съответната орбита с номер n , с радиус r_n :

$$(1) \frac{mv_n^2}{r_n} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_n^2}.$$

Съгласно третия постулат на Бор радиусът r_n на орбитата трябва да удовлетворява условието

$$(2) mv_n r_n = n\hbar.$$

От (1) и (2) можем да получим за радиуса на n -тата орбита:

$$(3) r_n = \frac{4\pi\hbar^2 \epsilon_0}{me^2} n^2$$

Ако заместим в (3) константите с техните стойности и положим $n=1$, ще определим радиуса на първата възможна орбита $r_1=0,53 \cdot 10^{-10}$ m. Получената стойност е в добро съответствие с това, което се определя от кинетичната теория на газовете.

Енергията на водородния атом се състои от потенциалната енергия на взаимодействие между ядрото (протона) и електрона и кинетичната енергия на движение на електрона със скорост v_n по съответната орбита с радиус r_n . Потенциалната енергия U_n може да се пресметне, като се използва връзката между работа и потенциална енергия, кинетичната T_n – като използваме (1) за да намерим скоростта v_n , а тяхната сума ще ни даде пълната енергия E_n на електрона, движещ се по орбитата с номер n :

$$U_n = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_n}$$

$$T_n = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r_n}$$

$$(4) E_n = T_n + U_n = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r_n}$$

и ако заместим (3) в (4) ще получим:

$$(5) E_n = -\frac{me^4}{8h^2\epsilon_0^2} \frac{1}{n^2}.$$

Тъй като протонът е неподвижен (няма кинетична енергия), пълната енергия на атома също се дава от (5). Виждаме, че тя е отрицателна и с увеличаване радиуса на орбитата, на която се намира електронът, енергията нараства. При $n \rightarrow \infty$ $E_n=0$, т.е. това е максималната енергия на водородния атом.

От формула (5) се вижда също, че енергията на атома зависи само от едно цяло число n ($E_n \sim \frac{1}{n^2}$), наречено главно квантово число. Различните стойности на n определят енергетичните нива на електрона в атома. Енергетичното ниво при $n=1$ се нарича основно енергетично състояние (нормално състояние). Енергетичните нива при $n>1$ се наричат възбудени енергетични състояния на атома. Във възбудените състояния атомът не съществува дълго. Обикновено той излъчва квант енергия, съгласно втория постулат на Бор, и преминава в по-ниско енергетично състояние, а по-късно, изпускайки още един или няколко кванта, се връща в основното състояние. Основното състояние е най-устойчивото, тъй като се характеризира с най-малката стойност на пълната енергия.