

Атомно ядро. Градивни частици. Химичен елемент - изотопи и изобари. Радиоактивност - видове радиоактивно разпадане

### АТОМНО ЯДРО

Атомното ядро е положително наелектризираната част на атома. Независимо от относително малките му размери, в сравнение с тези на атома, в него е съсредоточена почти цялата маса на атома.

Открити са много елементарни частици, произходът на които се търси в ядрото. Прието е обаче да се счита, че основните елементарни частици, от които е изградено то, са протоните и неутроните. Всички останали частици не са постоянни съставни части на ядрото, а се отделят при ядрените процеси, които протичат в тях. Представата за протонно-неутронният строеж на ядрата е въведена от Иваненко и Хайзенберг.

Протоните и неутроните се наричат още нуклеони.

Най-важните величини, които характеризират атомното ядро, са неговите *маса, размери, плътност и заряд*.

*Масата на ядрото* е приблизително равна на сумата от масите на протоните и на неутроните, които го изграждат. Тя всъщност е маса и на самия атом, тъй като масата на електроните е много по-малка в сравнение с масата на протоните и на неутроните и поради това малко се отразява на масата на атома.

Атомното ядро е с много малки *размери* – около 100 000 пъти по-малък от размера на атома. В обема на ядрото е съсредоточена почти цялата маса на атома и затова *плътността на ядрото* е много голяма – около 10

13

g/cm

3

.

Протоните са частици с маса, приблизително равна на масата на водородния атом и притежават единица положителен заряд  $+1$ . Броят на протоните в ядрото съвпада с *п* *оредния номер на елемента*

(  $Z$  ) и определя положителния му *ядрен заряд*

. Този заряд е равен на броя на електроните в електронната обвивка и затова атомът е електронеутрален. Атомите на различните химични елементи се различават по своя ядрен заряд.

Протонът е материална частица, чиято маса е приблизително равна на масата на един водороден атом. Той има положителен заряд, който е приет за единица  $(+1)$ . Протонът се означава със символа  $p$  или  $p^+$ .

Неутронът е материална частица, чиято маса също е равна на масата на водородния атом (респективно на протона). Той не носи електрически заряд, електронеутрален е, и се означава със символа  $n$ .

Броят на протоните се означава с  $Z$ , а броят на неутроните с  $N$ . Следователно, атомната маса  $A_M$  ще бъде равна на сбора от масите на протоните и масите на неутроните, които изграждат ядрото, т.е. тя е равна на общата маса на нуклоните.

$$A_M = Z \cdot m_{p^+} + N \cdot m_n$$

Сумата  $Z + N = A$ , се нарича масово число.

$Z$  е важна индивидуална характеристика на всеки химичен елемент. Нарича се още пореден номер или атомен номер, тъй като съвпада с поредния номер на елемента в

периодичната система.

Например:

N (азотът) има 7 p+ и респективно  $Z = 7$

O (кислородът) “ 8 p+ “  $Z = 8$

Na (натрият) “ 11 p+ “  $Z = 11$  и т.н.

В общия случай (особено при по-леките елементи)  $Z = N$ , така че ако се знае поредния номер на елемента  $Z$  и масовото число  $A$ , то може да се определи броя на неутроните  $N$ . При по-тежките химични елементи броят на неутроните е по-голям от броя на протоните.

### ХИМИЧЕН ЕЛЕМЕНТ

Химичният елемент представлява съвкупност от еднакви по вид атоми. Според съвременните представи за строежа на атома, видът на атомите се определя от броя на протоните в ядрото. Следователно, еднакви по вид атоми са тези, които имат еднакъв брой протони в ядрата си, от където:

Химичен елемент представлява съвкупност от атоми с еднакъв брой протони в ядрото.

Досега са известни 107 химични елемента, т.е. броят на протоните в техните ядра е от 1 до 107.

## ИЗОТОПИ

До създаването на съвременната теория за строежа на атома се е считало, че всеки химичен елемент се състои от един вид атоми. По-късно е установено, че почти всички химични елементи са изградени от няколко разновидности атоми. Отделните разновидности атоми на даден химичен елемент притежават равен брой протони в ядрото си, но се различават по броя на неутроните. Такива разновидности атоми на даден химичен елемент се наричат изотопи, а явлението - изотопия ("изо" - еднакъв, "топос" - място). Изотопите заемат едно и също място в периодичната система, поради това, че поредният номер  $Z$  е еднакъв. Следователно  $Z$  е основна характеристика на атомите, докато масовото число  $A = Z + N$  - не е основна характеристика.

$A$  -горен индекс,  $Z$  -долен индекс

${}_Z^A$  Хим.символ на елемента

Например:

${}_1^1\text{H}$  - протий

срещат се в природата

${}_1^2\text{H}$  - деутерий (D)

${}_1^3\text{H}$  - тритий (T)                      изкуствено получен

протон

неутрон

протий          деутерий          тритий

В атомните реактори се използва т.нар. “тежка вода”, която е съединение на кислорода с по-тежкия изотоп на водорода - деутерия и се означава със символа  $D_2O$ .

Ядрата на изотопите на химичните елементи по принцип са нетрайни и в повечето случаи се разпадат, като се получават други химични елементи или техни изотопи и  $\alpha$  - частици (т.нар.  $\alpha$  - разпадане) или  $\beta$  - лъчи (електрони) и антинеутрино  $\bar{\nu}$  - т.нар.  $\beta$  - разпадане.

Самото явление изотопия за първи път е било открито при изследване естественото радиоактивно разпадане на урана. В този случай като краен продукт се получава олово ( $Pb$ ) с атомна маса и атомно число = 206, докато оловото, получено от оловни руди има атомна маса 207.2.

Почти всички химически елементи, които се срещат в природата представляват смес от няколко изотопа. Съотношението между количествата на изотопите за даден елемент е постоянно, като обикновено в тази смес преобладава един от изотопите.

Например:

${}_8^{16}O$  - преобладава

${}_8^{17}\text{O}$  - 0.04%

${}_8^{18}\text{O}$  - 0.2%

Наличието на такива смеси се отразява на атомната маса и за повечето химични елементи тя не е цяло число.

Например:

${}_{17}^{35}\text{Cl}$  - 75%

${}_{17}^{37}\text{Cl}$  - 25%

$$0.75 \times 35 + 0.25 \times 37 = 35.5 = A_{M(\text{Cl})}$$

Химичните елементи се състоят от различен брой изотопи - 2, 3, 4 и т.н., а за някои този брой е още по-голям. Например Hg - има 7 изотопа, Sn (калай) - има 10 изотопа и др.

Интересно е да се отбележи, че масата на ядрата на отделните изотопи е винаги по-малка от масата на изграждащите ги протони и неутрони. Разликата

$$\Delta m = m_p Z + m_n N - m_{\text{exp}}$$

е известна като *дефект на масата*. Тя е мярка за енергията на връзката на нуклеоните в ядрото.

Енергиите на свързване на нуклеоните в ядрата могат да се съпоставят с масовото число на елемента. При елементи с номера от 40 до 60 се наблюдават максимуми. Елементите с големи номера имат почти постоянни стойности на енергията и нейното рязко намаление към леките ядра. Това разкрива принципни възможности за използване на енергията на ядрените реакции при превръщането на едни химични елементи в други. Най-голяма енергия ще се освобождава при превръщането на най-леките елементи в по-тежки. По-малка, но все пак значителна енергия се отделя при разпадането на по-тежките ядра. Всички тези процеси не протичат самоволно и не се е стигнало до превръщането на всички елементи в елементи с поредни номера между 40 и 60 поради значителните активиращи енергии, с които са свързани тези процеси, и поради общия енергетичен баланс на Вселената. Успешните опити да се използва енергията на атомните превръщания са довели до реализирането на разпадането на някои по-тежки ядра, което вече е в основата на съвременната ядрена техника.

Термоядрената реакция – превръщането на водород в хелий, е все още неовладяна, за да намери практично приложение.

Неизвестна е природата на силите, които свързват нуклеоните в ядрото. От гледна точка на класическата електростатика трябва да се очаква дори отблъскване на едноименно заредените протони. Счита се, че решението на въпроса трябва да се търси във взаимодействието между протоните и неутроните, в един непрекъснат преход на тези елементарни частици една в друга, в които вземат участие и други, отделящи се при определени условия елементарни частици. Най-общо за тези сили може да се твърди, че са сили на привличане, действащи на много малки разстояния –  $10^{-15}$  m, които много бързо намаляват с разстоянието. Те имат свойството да се насищат и всеки нуклеон взаимодейства само с най-близките си съседи.

Теорията на Иваненко, която днес е общо приета, разглежда протона и неутрона като две елементарни частици, или като две състояния на една и съща частица. Ето защо при известни условия те могат да се превръщат една в друга, „образувайки“ едновременно позитрон или електрон съгласно схемите:

Протон → неутрон + позитрон

Неутрон  $\rightarrow$  протон + електрон

Позитроните са частички, описани от Скобелцин през 1929 г. и окончателно открити през 1932 г. Те са с маса равна на масата на електрона, но с положителен товар. Често пъти се наричат *положителни електрони*. Докато електронът се означава с  $e^-$ , позитронът се означава с  $e^+$ . Пред вид взаимното им превръщане често пъти те се наричат „нуклон“.

Всъщност ядрото е сложна постройка от елементарни частици, за строежа на която няма единна теория. Докато за атома засега като цяло е възприет планетарния модел, за подреждането на нуклеоните в ядрото няма точна, общоприета представа.

Преобладава мнението, че ядрото също има слоеста структура. Известни са вече доста данни, които показват, че ядра, съдържащи определен брой протони или нуклеони, са стабилни и притежават по-особени стойности. Така се появяват магическите числа – 2, 8, 20, 28, 50, 80 и 126. Атомите на тези елементи най-често се срещат в известната ни част от Вселената. Извеждането им от основно състояние става най-трудно. Например  ${}_{82}^{208}\text{Pb}$

Са и

${}_{50}^{126}\text{Sn}$  се характеризират с голям брой стабилни изотопи, а оловото е краен продукт в естествените радиоактивни редове. Устойчивостта на тези системи напомня стабилността на инертните газове. Данни от радиоактивното разпадане и ядрените спектри показват, че ядрата не могат да притежават всевъзможни стойности на енергията, че и те могат да съществуват само в определени дискретни състояния, че и за ядрото има разрешени енергетични нива. И тук за тяхното описание се въвеждат квантови числа, аналогични на квантовите числа  $n, l, m$  за електроните. Този подход дава възможност да се обяснят малките магически числа, но неговото последователно прилагане към по-тежките ядра среща значителни затруднения. Безспорно е обаче, че по своето състояние в ядрата нуклеоните не трябва да се считат за равнозначни, че и тук, както при изграждане на електронната обвивка, съществуват разрешени състояния, има групи от енергетични нива, което дава отражение върху свойствата на ядрото като цяло. Според теоретичните пресмятания на основата на този слоест модел на ядрото особено стабилни трябва да са и ядра с теоретично предсказани магически числа 114, 164, 184 и т.н.



## ИЗКУСТВЕНИ ХИМИЧНИ ЕЛЕМЕНТИ

От познатите 107 химични елемента в природата се срещат около 92 (до урана U). Останалите, наречени трансуранови елементи, са получени по изкуствен начин чрез ядрени реакции. При последните се изменя броя на протоните и неутроните в ядрото, при което се получават атомите на друг химичен елемент. Изкуствено получените химични елементи са радиоактивни, лесно се разпадат и не се срещат в природата. За разлика от ядрените реакции, при химичните реакции не се променят ядрата на атомите, поради което при тези реакции не се извършва превръщане на един химичен елемент в друг.

Изобарите са атоми с еднакви масови числа, но с различен брой протони в атомните ядра.

, K, Ca

Изобарите са атоми на различни химични елементи, които имат различни химични и физични свойства.

Повечето химични елементи се срещат в природата като смес от изотопи с постоянен състав.

Например, изотопният състав на хлора, който се среща в природата, е 75% от  $^{35}_{17}\text{Cl}$  и 25% от  $^{37}_{17}\text{Cl}$ .

Изотопният състав на елементите се използва за изчисляване на относителната им атомна маса ( $A_r$ ).

Например, относителната атомна маса на хлора е:

$$A_r = 0.75 \cdot 35 + 0.25 \cdot 37 = 35.5.$$

### Радиоактивност

Устойчивостта на атомните ядра на елементите е различна. Ядрата на леките елементи (с масово число, по-малко от 50) са устойчиви.

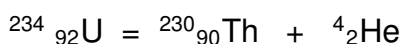
Първите ядрени реакции, наблюдавани от човека и протичащи самovolно в природата, са процесите на радиоактивно разпадане. През 1896 г. Анри Бекерел наблюдава радиоактивното разпадане на урана, а през 1898 г. Мария и Пиер Кюри откриват в урановите руди два нови химични елемента – полоний и радий, склонни към радиоактивно превръщане.

При тежките елементи се наблюдава склонност към самovolно разпадане на ядрата на някои от тях, съпроводено с отделяне на елементарни частици, хелиеви ядра и в някои случаи на електромагнитни лъчи. Този процес се нарича *радиоактивност*. При него се променя броя на протоните или на неутроните в атомните ядра и те се превръщат в ядра на други химични елементи или в ядра на други изотопи на същия елемент.

Ядрени превръщания могат да се предизвикат и по изкуствен начин (*изкуствена радиоактивност*) чрез взаимодействие на атомните ядра с елементарни частици или с ядра на други елементи.

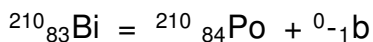
Съществуват различни видове радиоактивно разпадане. Например:

$\alpha$  - разпадане – то се съпровожда с отделяне на  $\alpha$  - частици.  $\alpha$  - частиците са хелиеви ядра  ${}^4_2\text{He}$ .



$\beta$  - разпадане - при това разпадане на атомното ядро се отделят  $\beta$ -частици ( ${}^0_{-1}\beta$ ), които са електрони.

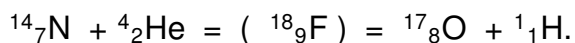
Получават се ядра на нови химични елементи, чийто пореден номер е с единица по-голям от изходния елемент.



Радиоактивното разпадане често се извършва с отделяне на  $\gamma$  - лъчи.



Пример за изкуствено ядрено превръщане е процесът, изразен с уравнението:



Важна характеристика на самovolно протичащите ядрени процеси е т. нар. *период на полуразпадане*

. Скоростта на радиоактивното разпадане протича по уравнение на реакции от първи порядък:

Където  $N$  е броят на радиоактивните атоми;  $k$  е скоростната константа на процеса. Решението на това диференциално уравнение води до

Времето, за което ще се разпадне половината от изходното вещество –  $\tau_{1/2}$ , се получава когато  $N = \frac{N_0}{2}$  или

Оказва се, че времето за полуразпадане е константа за даден вид ядра.

Например времето на полуразпадане на радона е 3,85 дни, на радия – 1620 години, а на урана – 4,5 милиарда години.

Елементите от края на периодичната система нямат стабилни изотопи. При тяхното радиоактивно разпадане се получават по-леки химични елементи, които в повечето случаи също притежават радиоактивни свойства и последователно се разпадат. Така се получават радиоактивните редове.

Крайният продукт на разпадането е стабилен изотоп на оловото.

Ядрените реакции се различават съществено от химичните реакции, които не са свързани с промени в ядрото и не водят до получаване на нов химичен елемент.

Друга съществена разлика е огромната енергия, която се отделя или поглъща при ядрените реакции. Тя се нарича атомна или ядрена енергия.

### ПРОИЗХОД НА ХИМИЧНИТЕ ЕЛЕМЕНТИ

Въпросът за произхода на химичните елементи възниква с възможностите за превръщане на елементите един в друг. По тежки елементи могат да се синтезират от по-леки, но това е свързано с разход на огромни количества енергия.

Интерес представлява синтезът на леки елементи от водород и хелий:

Процесът е свързан с отделяне на огромно количество енергия - 644 000 000 kJ/mol. Такъв процес протича на Слънцето и звездите.

Механизмът на процеса не е известен и се предлагат различни схеми, но процесът протича при много високи температури, които се реализират в условия на ядрен взрив. Редица изследователи са насочили усилията си за реализиране на процеса при управляеми условия и използване на енергията ѝ за мирни цели. По принцип проблема е решим и вероятно в бъдеще ще се реализира.

Според съвременните научни представи Вселената е възникнала след т. нар. голям взрив. Непосредствено след взрива веществото се е състояло от протони, неутрони, електрони и неутрино. След 2 часа почти цялата материя е била под формата на водород. След това тя се е групирала около отделни центрове и са възникнали звездите. На звездите започва образуването на химични елементи. В резултат на термоядрена реакция се получава хелий., температурите са от порядъка на милиони и милиарди градуси. Синтезират се и по-тежки ядра. Така че синтезирането на елементите става на звездите в резултат на различни процеси.

В земните недра няма условия за синтезиране на химични елементи. Основни ядрени процеси са радиоактивните разпадания.