

Радиоактивност. Закон за радиоактивния разпад. α -, β -, и γ -разпад – особености и условия за протичане

Радиоактивност. Закон за радиоактивния разпад

Радиоактивността представлява спонтанно превръщане на ядрата на даден химичен елемент в ядра на друг елемент. Наблюдава се при всички по-тежки елементи, разположени в края на периодичната система на Менделеев и за някои изотопи на по-леки елементи като $^{14}_6\text{C}$ и $^{40}_{19}\text{K}$ (*естествена радиоактивност*), но може да се предизвика по изкуствен път практически за всички елементи при облъчване на ядрата им с високоенергетични лъчения (*изкуствена радиоактивност*). Тъй като е процес, свързан с ядрата на атомите, радиоактивността не се изменя, ако даден атом участва в различни химични съединения.

Естествената радиоактивност е открита през 1896 г. от френския учен А. Бекерел. Той установил, че урановата руда спонтанно (при отсъствие на външни въздействия) изпуска лъчи, които подобно на рентгеновите имат голяма проникваща способност, йонизират въздуха, действат на фотографска плака, предизвикват сцинтилации при попадане върху редица вещества. В резултат на дълги изследвания съпрузите Пиер и Мария Кюри показали, че в урановата руда се съдържат два нови химични елемента – полоний и радий, които излъчват същите лъчи много по-силно от урана. По-късно било установено, че всички елементи с атомен номер, по-голям от 83, притежават такива свойства. Тези елементи били наречени *радиоактивни*.

За характеризиране на явлениято радиоактивност се въвежда величината *период на полуразпадане* $T_{1/2}$ – времето, за което началното количество атоми от даден елемент намалява наполовина вследствие на разпадане. За някои елементи това време е части от секундата, а за други – милиарди години. Установено е, че разпадането на ядрата е статистически процес и има вероятностен характер, както всички процеси в микросвета. Това означава, че не е възможно да се определи в кой момент едно или друго ядро ще излъчи α -, β - или γ -лъчи. Възможно е обаче да се пресметне вероятността дадено ядро да се разпадне за определен интервал от време.

Нека с dN означим броя на ядрата от даден радиоактивен елемент, които се разпадат за малкия интервал от време dt . Естествено е, че колкото повече са ядрата N на елемента и колкото по-голям е интервалът от време, толкова повече ядра ще се разпаднат, т.е.

$$(1) \quad dN = -\lambda N dt,$$

където λ е положителен коефициент на пропорционалност, наречен *константа на разпадане*. Знакът минус показва, че с течение на времето броят на ядрата намалява вследствие на разпадането ($dN < 0$). От (1) можем да определим λ :

$$(2) \quad \lambda = -\frac{dN}{N dt}.$$

Константата на разпадане има размерност s^{-1} и определя относителния брой на ядрата, разпадащи се за 1 s, т.е. характеризира скоростта на радиоактивното разпадане. Тя не зависи от началния брой на ядрата, нито от външни условия като налягане, температура и др., а зависи само от свойствата на разпадащите се ядра. (Изразът (2) определя всъщност вероятността за разпадане на дадено ядро за единица време.)

От (1) може да се определи още една важна характеристика на даден радиоактивен изотоп – неговата активност:

$$(3) \quad A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N.$$

Както се вижда от (3) активността определя колко ядра се разпадат за единица време. Мерната ѝ единица е бекерел [Bq]. От (3) е видно също, че активността на даден изотоп намалява с времето, тъй като намалява броят N на неразпадналите се в дадения момент ядра.

Чрез интегриране на формулата (1) се получава законът за радиоактивното разпадане:

$$(4) \quad N_t = N_0 e^{-\lambda t},$$

където N_0 е броят на ядрата в произволно избран начален момент $t = 0$, а N_t – броят на неразпадналите се ядра след време t . От горния израз следва, че с течение на времето първоначалният брой на ядрата експоненциално намалява. Можем да определим и периода на полуразпадане $T_{1/2}$ на съответния изотоп. Той е характеристика на самия изотоп и не зависи от това, какво е било първоначалното количество ядра. Действително, ако в (4) положим $N_t = N_0/2$ при $t = T_{1/2}$, ще установим, че $T_{1/2}$ зависи само от вероятността за разпадане λ :

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}; \quad T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}.$$

Свободният неутрон също е радиоактивен. Установено е, че той спонтанно се превръща в протон. Както показват опитите, неговият период на полуразпадане е $\approx 12 \text{ min}$. Той може да е стабилен само когато се намира в състава на ядрото.

α -, β -, и γ -разпад – особености и условия за протичане

Лъчението от радиоактивните вещества съдържа три компоненти – α -лъчи (α -частици), β -лъчи (β -частици) и γ -лъчи (γ -кванти):

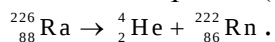
- α -Лъчите се отклоняват от електрично и магнитно поле. Те представляват поток от ядра на ${}^4_2\text{He}$ (α -частици), които имат положителен електричен заряд $2e$ и сравнително голяма маса $\sim 4u$. Характеризират се със силно йонизиращо действие и малка проникваща способност.

- β -Лъчите представляват поток от бързи електрони (β -частици). Те също се отклоняват от електрично и магнитно поле, но имат отрицателен електричен заряд $-e$ и се отличават с по-голяма проникваща способност. Поради по-малката маса имат и по-слабо йонизиращо действие.

- γ -Лъчите са електронеутрални и не се отклоняват от електрични и магнитни полета. Характеризират се с много голяма проникваща способност и са подобни на рентгеновите лъчи, но имат по-малка дължина на вълната ($10^{-10} \div 10^{-13} \text{ m}$). Представляват електромагнитни вълни, които поради малката дължина на вълната проявяват силно изразени корпускулярни свойства (поток от фотони).

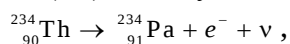
Радиоактивността, която е свързана с излъчване на α - или β -частици, се нарича съответно α - или β -разпадане.

При α -разпадането от ядрото на даден елемент се излъчва α -частица. Тъй като тя има заряд $2e$ и масово число 4, новополученото вследствие на разпадането ядро ще има електричен заряд с две единици по-малък, а масово число – с 4 единици по-малко от това на изходния елемент. Например при α -разпадане на радий (Ra) се получава радон (Rn):



Процесът на α -разпадане е чисто квантово-механичен процес и се извършва чрез тунелен ефект, тъй като енергията на α -частицата не е достатъчна за да преодолее потенциалната бариера и да напусне ядрото. Той няма обяснение в класическата физика. Затова α -разпадането е статистически (вероятностен) процес.

Ако протича β -разпадане, зарядът на полученото ядро се увеличава с 1, а масата му практически не се променя, тъй като масата на електрона е много по-малка от тази на протона. Новополученият елемент ще се намира с един номер надясно от изходния в периодичната система. Например при β -разпадане на торий (Th) се получава протактиний (Pa):



където ν е антинейтрино – частица, която е открита значително по-късно.

Установено е, че съществуват още два вида β -разпадане – позитронно β -разпадане, при което се отделя позитрон и електронно захващане, при който ядрото захваща един от атомните електрони. При тези видове β -разпадане зарядът на полученото ядро намалява с 1. Оказва се също така, че β -разпадането дори не е процес на разпадане на самото ядро, а на един нуклон (протон или неутрон) вътре в него.

Гама-излъчването е свързано с преход на ядрата от едно енергетично състояние в друго. Обикновено то съпътства α - и β -разпадането. Ако вследствие на α - или β -разпадане дадено ядро се окаже във възбудено състояние, то преминава в основно състояние чрез излъчване на γ -кванти с голяма енергия.