



МЕДИЦИНСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ПЛОВДИВ
ФАКУЛТЕТ „Фармация“

ЦЕНТЪР ЗА ДИСТАНЦИОННО ОБУЧЕНИЕ

Лекция №14 *Медицинска физика*

Радиоактивност.

Основен количествен закон на радиоактивното разпадане на атомните ядра.

Активност и период на полуразпадане на радиоактивните субстанции.

Видове радиоактивно разпадане на атомните ядра.

Радиоактивни семейства.

проф. Константин Балашев, д.х.н.

Закон за радиоактивното разпадане

Разпадането на атомните ядра е спонтанен процес, който се реализира с определена вероятност. За всеки отделен радионуклид тази вероятност е точно определена и еднаква за всички негови атоми. Тя определя и скоростта на разпадане.

Законът за радиоактивното разпадане предсказва как броя неразпаднали се ядра в дадена радиоактивна субстанция намалява с времето.

За даден период от време в образец, съдържащ N атома от един радиоактивен елемент, всеки атом има същия шанс да се разпадне както и всеки друг. Тогава можем да очакваме двойно повече разпадания, ако количеството на атомите се удвои до $2N$ и три пъти повече, ако се утрои до $3N$. Това означава, че скоростта на разпадане, (т.е. скоростта, с която намалява броя N на радиоактивните атоми) е пропорционална на тяхната наличност във всеки един момент. Това символично може да се изрази така:

$$\Delta N(t)/\Delta t = -\lambda \cdot N(t).$$

Това е **основният количествен закон за радиоактивното разпадане**, изразен в *диференциална форма*. Той гласи, че скоростта на разпадане в даден момент $\Delta N(t)/\Delta t$ е пропорционална на броя налични в този момент, неразпаднали се все още ядра $N(t)$. Знакът минус показва, че броят на радиоактивните атоми намалява с времето - когато се разпаднат, те се превръщат в други, обикновено нерадиоактивни елементи.

Константата λ характеризира скоростта на процеса, частта от общия брой атоми, която се разпада за единица време. Константата на радиоактивното разпадане е различна за различните видове атоми, но една и съща за даден вид.

В резултат на радиоактивното разпадане могат да се променят атомната маса (**A**) и/или атомния номер (**Z**) на нуклида ${}^A\text{X}_Z$, при което той се превръща в **качествено нов** нуклид ${}^{A'}\text{Y}_{Z'}$:



Тъй като при тези процеси един елемент се превръща в друг (т.е. извършва се преместване от една клетка на периодичната система в друга), горните закономерности се наричат още "**законали за преместването**".

При радиоактивните разпадания новополученото дъщерно ядро често също е нестабилно и на свой ред отново се разпада, следващото новополучено - също и т.н. Така се получава поредица от радиоактивни елементи, получени последователно един от друг, която носи името **радиоактивно семейство**. В природата съществуват 3 такива семейства с "родоначалници": ${}^{238}\text{U}$ - (ураново), ${}^{232}\text{Th}$ - (ториево) и ${}^{235}\text{U}$ - (актино-ураново). Освен тях изкуствено получено е семейството на нептуния (${}^{237}\text{Np}$).

Активност на радиоактивната субстанция

$\Delta N/\Delta t$ (или еквивалентното му $\lambda \cdot N$) се нарича **активност** на радиоактивната субстанция. Активността представя броя радиоактивни разпадания за единица време. В системата SI единицата за активност е "разпад/секунда", но ѝ е дадено и специалното име Бекерел (Bq). Използува се и извънсистемната единица Кюри (Ci) ($1\text{Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$).

Активността често се използва и като индикатор за количеството радиоактивна субстанция по отношение на нейната способност за разпадане (т.е. по отношение на N , но не по отношение на масата ѝ m).

Например, може да се каже, че човешкото тяло нормално има активност около 10 000 Bq, или че съдържа 10 000 Bq естествени радионуклиди. Това означава, че то съдържа такова количество радионуклиди, което осъществява 10 000 разпада всяка секунда. Тази активност се обуславя главно от присъствието на ^{40}K (4 000 Bq) и ^{14}C (3 500 Bq), докато от ^{226}Ra е само около 1 Bq.

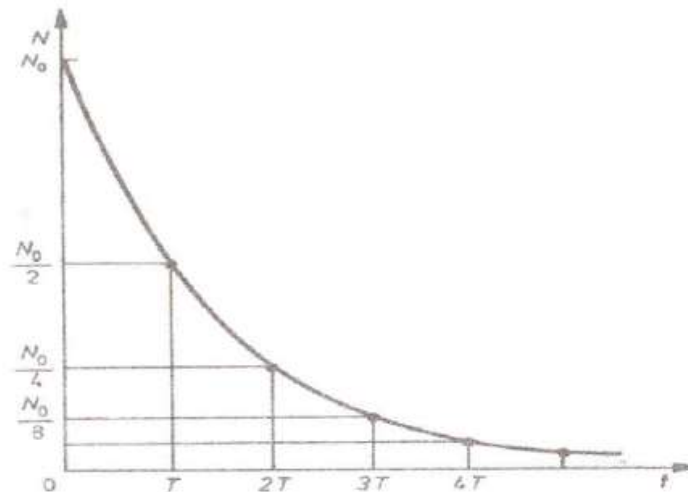
Специфична активност е активността на единица обем (или маса). В широкия смисъл на думата тя е аналог на радиоактивна концентрация (плътност). Измерителни единици са Bq/L или Bq/kg. Специфичната активност е полезна при смеси, в които радиоактивният материал присъства в малки количества. Например, масата на 1 mCi ^{131}I е само $8,1 \times 10^{-9}$ g, а на ^{24}Na - $1,13 \times 10^{-10}$ g. Работата с такива нищожно малки количества е практически невъзможна. Затова радиоактивните нуклиди се смесват с други, обикновено същите, но нерадиоактивни, които се използват като носещи компоненти.

Период на полуразпадане

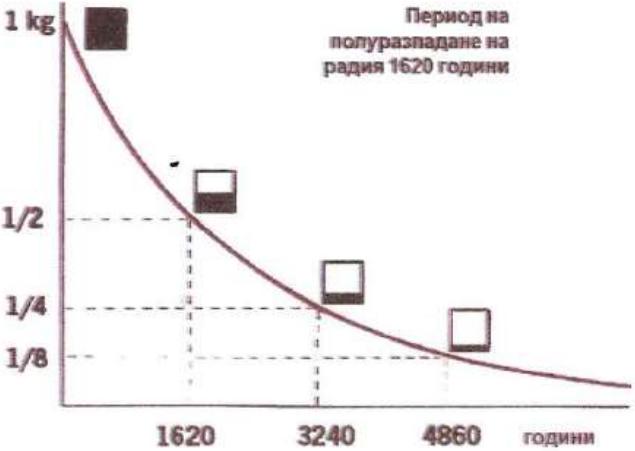
Освен в диференциална форма, количественият закон за радиоактивното разпадане може да се напише и в *интегрален* еквивалентен вид:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

N_0 и $N(t)$ представляват съответно броя неразпаднали се ядра в начален момент ($t=0$) и след време t . Очевидно, броят на неразпадналите се ядра намалява по експоненциален закон. $N(t) = 0$ при $t = \infty$, което означава, че радиоактивните нуклиди се разпадат напълно за безкрайно дълго време.



Вместо константата на радиоактивното разпадане λ , която характеризира скоростта на разпадане, често се използва друга еквивалентна величина - период на полуразпадане (или време на полуживот).



Период на полуразпадане ($T_{1/2}$) е интервалът от време, за което се разпадат половината от наличните в началото на процеса ядра. След време $T_{1/2}$ половината от изходния брой ядра N_0 остават непроменени. След втори такъв период броят на неразпадналите се ядра намалява още веднъж наполовина - остава една четвърт от началния брой $N_0/4$, ... и т.н.

Радиоактивният ^{60}Co , който широко се използва за радиотерапия, има период на полуразпадане 5,26 години. След такъв период образец, съдържал 8 g ^{60}Co , ще съдържа вече 4 g и ще излъчва половината от изходната радиация. След втори такъв период образецът ще съдържа само 2 g ^{60}Co . Нито обема, нито масата на изходния образец ще намалееят видимо, тъй като разпадайки се, нестабилните нуклиди на ^{60}Co се превръщат в стабилни ^{60}Ni , които остават заедно с още неразпадналите се кобалтови.

Съществува тясна връзка между константата на радиоактивно разпадане λ и периода на полуразпадане $T_{1/2}$. Интегрираната форма на закона може да бъде написана така: $N_0/2 = N_0 e^{-\lambda \cdot T_{1/2}}$, от което следва, че $T_{1/2} = 0,693/\lambda$, или че $T_{1/2}$ е обратно пропорционален на λ . Следователно $T_{1/2}$ също както и λ характеризира скоростта на разпадане и е специфичен за всеки отделен радионуклид.

Периодът на полуразпадане не се повлиява от обикновените физични и химични въздействия. Налягане, магнитно поле и нагряване не променят скоростта на разпад на радионуклида. Само много високи температури (от порядъка на 100 000 К) могат да предизвикат забележими промени.

Различните радионуклиди имат различен период на полуразпадане:

^{238}U (уран)	-	4 500 000 000 години,
^{235}U (уран)	-	700 000 000 години,
^{40}K (калий)	-	300 000 000 години,
^{222}Ra (радий)	-	1 600 години,
^{106}Ru (рутений)	-	1 година,
^{144}Ce (церий)	-	285 дни,
^{95}Zr (цирконий)	-	64 дни,
^{140}Ba (барий)	-	13 дни,
^{131}I (йод)	-	около 8 дни и т.н.

Физичен, биологичен и ефективен периоди на полуразпадане

Количеството радионуклид, въведено в организма, намалява не само поради физичните процеси на разпадане, но също и в резултат на биологично елиминиране, което е специфично за съответния химичен елемент. Този паралелен процес също има период на "полуразпадане" - биологичен. В резултат на това радионуклидното съдържание ефективно намалява по-бързо, отколкото може да се очаква ако се има пред вид само физичния период на полуразпадане. Това определя ефективния период на полуразпадане.

Физичният (T_{phys}), биологичният (T_{biol}) и ефективният (T_{eff}) периоди на полуразпадане са свързани с релацията:

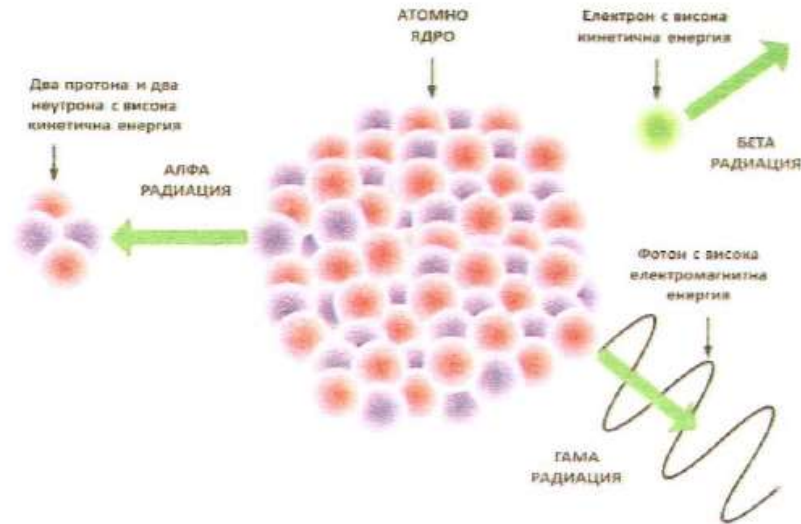
$$1/T_{\text{eff}} = 1/T_{\text{phys}} + 1/T_{\text{biol}}$$

Например, ^{131}I има време на физичен полуживот 8 дни, но когато се намира в щитовидната жлеза ефективният му полуживот е 7,5 дни. Може да се пресметне, че биологичният полуживот на йода е 120 дни. T_{biol} се пресмята от уравнението $1/T_{\text{eff}} = 1/T_{\text{phys}} + 1/T_{\text{biol}}$, тъй като T_{phys} и T_{eff} могат да бъдат измерени пряко. Биологичният полуживот на вкаран в организма нуклид не зависи от това дали той е стабилен или радиоактивен, защото изотопите имат еднакво поведение в биохимичните процеси.

След въвеждане в тялото някои радионуклиди могат да се натрупат избирателно в определени органи. Тези органи са *критични органи* като се имат пред вид опасните ефекти на йонизиращата радиация. Специално внимание трябва да се обръща на тяхната защита. Щитовидната жлеза например е критичен орган за ^{131}I ; бъбреците - за ^{51}Cr . Радионуклидът ^{24}Na се разпределя равномерно в екстрацелуларните флуиди и следователно за този изотоп няма критични органи, целият организъм може да се смята за критичен.

ВИДОВЕ РАДИОАКТИВНО РАЗПАДАНЕ

При радиоактивното разпадане от атомните ядра се отделя енергия, носена от частици и/или кванти електромагнитна радиация. В тези процеси се отделят основно алфа или бета частици, неутрони и гама фотони.



При всички енергията на разпадащия се нуклид намалява. При онези, при които се отделят и частици, се променят атомната маса (**A**) и/или атомния номер (**Z**). При алфа разпадането например атомната маса намалява с 4 единици, а атомният номер - с две. При бета разпадането ако се отделят електрони (бета-минус