

РАДИОБИОЛОГИЯ

ТЕМА 10

Радиоактивност – естествена и изкуствена

Радиоактивността представлява способността на атомните ядра на нестабилни изотопи на химичните елементи да се превръщат спонтанно в ядра на други хим.ел., при което се излъчва енергия под формата на електромагнитно лъчение или частица.

Естествената (спонтанна) радиоактивност се получава при взаимодействията на космическото лъчение със земната атмосфера или просто произволен разпад на ядрата на елементи, съществуващи в природата.

Изкуствената радиация се получава в резултат на човешка дейност – при ядрени реакции. Като това може да се направи например при облъчване на даден елемент с α частици.

Строеж и устойчивост на ядрото

Физичните и химичните свойства на елементите зависят от структурата на техните атоми. Те са изградени от протони (p), неутрони (n), които се намират в ядрото (нуклони), и електрони (e), които заобикалят и неутрализират ядрото на разстояния до m. В границите на атома съществуват сили на привличане между електроните и протоните от ядрото, електроните се отблъскват помежду си и имат спин, поради което се разполагат в атомни орбитали. Всички химични елементи, освен водородният атом притежават неутрони. Трите вида частици, изграждащи атома са изградени от още по-малки частици – кварки и глюони. Освен протоните и неутроните, които „живеят дълго”, има и голям брой „краткоживущи” нуклеони, които възникват внезапно по време на ядрените реакции.

Броят на протоните е равен на атомния номер на съответния хим. елемент (Z). Сумата от протоните (Z) + неутроните = масово число (A). - обща формула на атомите на всеки хим.елемент.

Масата на ядрото . AE – енергия на връзката, обуславя задържането на протоните и неутроните в границите на ядрото. Атомното ядро е стабилно при енергия на връзката $>$ от 0, при 82 излъчват частица, която представлява ядро на He със заряд $2+$ и масово число 4 - . Ядрото намалява атомния си номер с 2 единици и масовото си число с 4 единици ($Z \rightarrow Z-2$; $A \rightarrow A-4$).

Много често обаче, радиоактивните елементи, претърпявайки α -разпад, излъчват частици с различна енергия. Това води до образуването на възбудени ядра, които преминавайки в основното си състояние, излъчват γ -квант (гама-квант).

α -частиците и γ -квантите притежават точно определена енергия. Сумата от енергиите на α -частицата и излъчвания с нея γ -квант съответства на енергията, получавана при съответния тип ядрена реакция.

1. Бета – разпад – промяна на елемента. Дължи се на наличието на „слаби” ядрени сили, които позволяват превръщането на неутрони в протони и обратното.

- разпад – при радиоактивни изотопи с излишък на неутрони, при което неутрон се превръща в протон

Масовото число не се променя, а атомният номер нараства с 1 единица ($A \rightarrow A$; $Z \rightarrow Z+1$).
Пр.:

От ядрото излизат β -частица (има свойства на движещ се e^-) и анти-неутрино. Енергията, отделена при ядреното превръщане се разпределя между двете нововъзникнали частици всеки път по различен начин. Възможно е новополученото ядро да е все още във възбудено състояние и да излъчи γ -квант при прехода в

нормално енергетично състояние.

- разпад – при някои изкуствени изотопи, притежаващи излишък от протони, при което от ядрото се излъчва позитрон (частица с маса равна на масата на е-, но с положителен заряд). Заедно с него се образува и неутрино:

Масовото число не се променя, а атомният номер намалява с 1 единица ($A \rightarrow A; Z \rightarrow Z - 1$).
Пр.:

- електронно захващане - в някои случаи при излишък на протони в ядрата. При него $1e^-$ най-често от най-вътрешната К-обвивка се захваща. То протича, когато енергията на ядрото не е достатъчна за излъчване на позитрон. ($A \rightarrow A; Z \rightarrow Z - 1$) В резултат на К-захвата в електронната обвивка на атома се получава вакантно място, което се заема от един от външните орбитални електрона. Преходът се придружава с характеристично рентгеново лъчение на образувания дъщерен атом.

1. Гама-разпад – при изомерен преход - преминаване на изомерно ядро (ядра с еднакъв бр. p и n , но с различна стабилност) от възбудено енергетично ниво в основно, се излъчва излишната енергия под форма на γ -квант. Той не повлиява нито A , нито Z . Гама – лъчението се характеризира като отделен тип разпад само при изомерния преход, но не и когато то съпровожда други типове разпад. Излъчените γ -кванти могат да взаимодействат с e^- и да го избият от атома – вътрешна конверсия на γ -лъчението.

Корпускулни и електромагнитни лъчения – характеристика и сравнение

При радиоактивния разпад от ядрата на се излъчват корпускулни и електромагнитни лъчения. Характерни за тях са ядреният им произход и високите енергии, които притежават. Съществени различия между двата вида лъчения се изразяват в наличието на маса и на електричен заряд (+ или -).

Взаимодействие на йонизиращите лъчения с в-вото

Всички видове йонизиращи лъчения се характеризират с високите енергии, които носят техните частици или кванти. При преминаването им през някакво в-во, те взаимодействат с молекулите му, като им предават известно количество от енергията си. В зависимост от количеството пренесена енергия и от разпределението ѝ се получават възбудени, йонизирани и свръхвъзбудени молекули.

- възбудени – количеството на пренесената в/у даден орбитален електрон енергия е по-малка от енергията на свързване на този електрон с атомното ядро. Електронът преминава на по-високо енергетично ниво, което е изключително нетрайно. След няколко десетки наносекунди възбудената молекула преминава в своето нормално енергетично състояние, като излъчва погълнатата при взаимодействието енергия под формата на квант с определена дължина на вълната.

- йонизация – енергията, погълната от орбиталния е- > E на свързването му с атомното ядро → откъсва се и възникват 2 йона (отрицателен – избития е- и положителен – остатък от молекулата). Избития е- притежава различно количество E.

- свръхвъзбуждане – атакуваната молекула поглъща E, надвишаваща E на свързване на който и да е орбитален е- с ядрото, която се разпределя м/у 2 или повече е-. По нататък има 2 варианта. При първия преразпределението на E може да доведе до локализацията ѝ в/у 1 единствен е-, който напуска структурата на атома – извършва се автойонизация. Другият вариант е при преразпределението на E на свръхвъзбуждане тя да се локализира в двойка електрони, формиращи химичната връзка. Тогава тя се разкъсва (дисоциация на връзката) и възникват два свободни радикала.

И трите типа взаимодействия протичат паралелно, така че при облъчване с йонизиращи лъчение се реализира всяко от тях, макар и в различна степен и в зависимост от различни фактори.

Действие на заредени частици

Електрически заредените частици представляват потоци от йони или субатомни частици, движещи се с високи скорости и притежаващи огромни количества енергия. Към тях се отнасят α и β -частиците, протоните и ускорените йони на тежки метали.

Преносът на енергия от заредените частици върху атома може да се осъществи по два начина чрез:

- фронтален удар - вероятността за протичане на фронтален удар е много ниска , тъй като при него е необходимо да се реализира пряко попадение на заредената частица в орбиталния електрон, при което той придобива много високи енергии.
- плъзгащ се удар - частицата въздейства върху орбиталния електрон чрез своето електрично поле от значително разстояние. От това разстояние зависи количеството енергия, което се предава на орбиталния електрон, а оттам и на възникването на едно или друго възбудено състояние или йонизация.

Поради обстоятелството, че валентните е- се намират най-далеч от атомното ядро и техните енергии на свързване са най-малки, предвид екраниращото действие на по-вътрешни е-, то активирането на валентните е- е преобладаващият ефект от преминаването на заредена частица през облъчвания обект.

Изводи

1. Полето на заредената частица осигурява временно взаимодействие с всеки атом, покрай който премине на достатъчно близко разстояние;
2. Взаимодействието е толкова по-продължително, колкото по-бавно се движи частицата;
3. Частиците, имащи няколко заряда осъществяват по-силно взаимодействие от еднорядните;

4. Масата на заредените йонизиращи частици не влияе върху количеството пренесена върху атома енергия.

При ниски скорости на частицата, обаче не се реализира безкрайно голям пренос на енергията. Със забавянето на частицата нейният заряд се променя. Например при забавяне на α -частицата се увеличава вероятността от захващане на електрон от нея. При това тя продължава своя път като частица с единичен заряд (e^- , не e^+). При достатъчно ниски скорости e^- е в състояние да захване още 1 e^- и да се превърне в хелиев атом. При достатъчно ниски скорости на частицата диференциалната загуба на енергията се понижава и клони към 0.

Взаимодействие на α -частиците с в-вото

α -частиците се придвижват праволинейно, като пробегът им във веществото е много малък (поради голямата им маса и заряд). Дължината на пробега им е почти еднакъв (излъчват се от ядрото с дискретни енергии). Йонизациите са разположени нагъсто една до друга или дори се припокриват. Във въздуха α -частиците могат да изминат само няколко сантиметра преди да отдадат напълно енергията си на молекулите на газовете. В тъканни или водни среди пробегът им не надминава няколко десетки μm .

Взаимодействие на β -частиците с в-вото

β -частиците са с много по-малка маса в сравнение с α -частиците, за това се движат с много по-висока скорост и могат да загубят до половината от енергията си при обикновен сблъсък с друг e^- . Това обуславя много малък брой йонизации на единица пробег. В зависимост от максималната E , във въздух пробегът може да достигне 5м; в алуминий рядко повече от няколко мм. Високо енергетичните β -частици могат да проникнат в близост до ядрото на абсорбиращия атом и да се подложат на процес на ускоряване-забавяне вследствие на което възниква т. н. спиращо (рентгеново-лъчение) покриващо целия спектър от енергии и дължини на вълната.

В края на своя пробег на β -частицата се присъединява към електрофилен атом или молекула. Във въздух това например ще доведе до увеличаването на H_2O^+ . Позитронът взаимодейства с най-близкия електрон и се анигилира, при което се получава:

($\times 0.21 \text{ MeV}$).

Взаимодействие на електромагнитните йонизиращи лъчения с веществото

Когато енергията на квантите е от порядъка на 10 KeV или по-малко преобладава взаимодействие от типа фотоелектричен ефект.

При E на квантите при енергии по-високи от 100 KeV протича взаимодействие с ефект на Комптон.

Енергията на избития е- е голяма и по неговата траектория се реализира поредица от взаимодействия с атомите и се образуват голям брой възбудени молекули и йони.

Ако разсеяният квант носи все още голяма E, по-вероятно е той да взаимодейства отново по типа Комптов ефект, избивайки нов е- и генерирайки нов разсеян квант.

Когато енергията на квантите на електромагнитното лъчение надхвърли определена стойност се осъществява трети тип взаимодействие – образуване на двойка електрон - позитрон.

При взаимодействие на електромагнитните йонизиращи лъчения, по който и да е било от трите разгледани типа, първичната йонизация е пренебрежимо малка в сравнение с общия брой възбуждания и йонизации, възникващи в резултат на действието на избитите при първичния акт е- върху молекулите на облъчваното в-во. За това рентгеновото и гама лъчението се отнасят към косвено йонизиращите лъчения.

Взаимодействие на неутроните с в-вото

Неутронно лъчение – поток от елементарни частици с нулев заряд. Поради отсъствието на електричен заряд неутроните не взаимодействат с електричните полета на атомите и молекулите и имат голяма проникваща способност. Предизвикват възбуждане и йонизация в резултат на взаимодействие на нивото на ядрата на атомите на в-вото, през което преминават. В зависимост от енергията, която носят неутроните се разделят условно на:

- бързи неутрони – осъществяват еластични взаимодействия. Движещият се с огромна скорост неутрон попада в/у ядрото на даден атом, при което кинетичната енергия на неутрона се разпределя м/у него и удареното ядро. Енергията, която може да придобие ядрото зависи от масата на самото атакувано ядро и от ъгъла м/у посоките на движение на неутрона и на ускореното ядро. При еластично разсейване най-голямо количество E може да получи водородното ядро.

- междинни неутрони – нееластично взаимодействие. Част от енергията на неутрона се предава на атакуваното ядро като кинетична E , а друга част предизвиква възбуждане на ядрото. Ускореното ядро е източник на поредица от възбуждания и йонизации на молекулите на облъченото в-во, а преходът от възбудено към нормално енергетично с-ние на ядрото се придружава от излъчване на E на възбуждане под формата на 1 или няколко γ -кванти, които предизвикват нови възбуждания и йонизации.

- бавни неутрони – поглъщане (радиационен захват) на неутроните от ядрата. Образуват се силно възбудени ядра, които преминават в стабилно с-ние чрез излъчване на γ -квант, протон или α -частица. В биологичните обекти най-голямо значение имат реакциите на радиационен захват на бавните неутрони от водорода и азота.

При облъчване на дадена жива с-ма с поток от неутрони първо се реализира еластично взаимодействие, при което енергията на неутрона се понижава. След няколко еластични взаимодействия енергията на неутроните се понижава дотолкова, че вече извършват само взаимодействия от втори тип – нееластично разсейване, често понижават E си дотолкова, че биват поглъщани от ядрата. В резултат се получават ускорени ядра, ускорени протони и γ лъчение. Крайният ефект се осъществява косвено – косвено йонизиращо лъчение.

Понятие за погълнатата доза, единици

Йонизиращите лъчения оказват толкова по-силно влияние върху клетките, колкото по-висок е техния митотичен индекс и колкото по-малко е оформена тяхната морфологична и функционална диференциация. Радиобиологията се занимава с

изучаването на закономерностите и механизмите на действие на йонизиращите лъчения върху живите системи. Създадени са голям брой схеми за действието на радиацията. Схема 7 например е разделена на няколко етапа:

1. Физичен етап – през него се извършва пренос на Е от йонизираните частици или кванти върху молекулите, изграждащи облъчвания обект. Действието на лъчението върху биомакромолекулите е пряко, а поглъщането на Е на „малките“ молекули, намиращи се в обкръжение на макромолекулите е непряко. В резултат на това се получават възбудени и йонизирани молекули.

2. Физикохимичен етап – възбудените и йонизираните молекули претърпяват преустройства, които водят при макромолекулите до първични увреждания, а при малките молекули до образуване на дифундиращи свободни радикали. Възбудените или йонизираните малки молекули могат да взаимодействат с нативните биомакромолекули, при което възникват първични увреждания.

3. Химичния етап – първичните увреждания в биомакромолекулите чрез вътремолекулен пренос на Е и атакуване на слаби хим. връзки водят до получаване на биомакрорадикали.

Получените различни видове радикали могат да взаимодействат помежду си и да ес получат стабилни молекулни продукти, нехарактерни за живите системи, или такива, които са токсични за тях.

1. Биологичен етап – за разлика от др. етапи, които протичат за по-малко от секунда, този етап може да продължи от няколко секунди до много години. Характеризира се с промени в метаболизма, изменения в наследствените структури. Поява на пролиферативни промени – ускорено стареене, възникване на катаракти и др., вкл. образуване на тумори. Дегенеративни промени – остра лъчева болест, вкл. смърт на клетките.

При облъчването на даден обект влияние оказва само онази част от лъчистата енергия, която се поглъща от обекта, отразената и преминалата лъчиста енергия не влияе върху неговото състояние.

Количеството погълната лъчиста енергия от 1g маса на облъчения обект се нарича погълната доза:

Дозата, погълната за единица време се нарича мощност на дозата:

В системата SI единицата за погълната доза е Грей (Gy)= . Използва се и извънсистемната единица rad.

Филогенетична чувствителност

Между различните организми съществуват големи различия по отношение на тяхната чувствителност спрямо действието на йонизиращите лъчения.

Оценките при сравняване на радиочувствителността на два вида организми се прави въз основа на техните полулетални дози (D_{50}). Те представляват дозата, при която от облъчените с нея организми умират 50%, а половината остават живи. За бозайниците се тази доза се определя до тридесетия ден след лъчевото въздействие (D_{50}). С усложняване на устройството на организмите непрекъснато се стеснява интервалът на D_{50} , повишава се тяхната чувствителност.

Онтогенетична чувствителност

Тъканна радиочувствителност

Най-висока при тъкани с висок митотичен индекс и сравнително ниска диференциация –

- кръвотворни тъкани и органи -- червен костен мозък, лимфни възли, слезка,
- епител на тънките черва,
- полови жлези,
- жлези с вътрешна секреция,
- слюнчени и потни жлези,
- слизести ципи

По-слаба радиочувствителност

- черен дроб,
- бели дробове,
- бъбреци

По-резистентни

- мускулна
- хрущялна
- костна

При нервната тъкан се наблюдава парадокс, тъй като митотичният ѝ индекс е практически равен на нула, но променя функционалната си активност при ниски дози (30-40rad), което води до нарушение на поведенческите реакции, условни рефлексии и др.