

CURS 12

ELEMENTE DE FIZICA NUCLEARA, RADIATII NUCLEARE

I. Fisiunea si fuziunea nucleara

I.1.1 Fisiunea nucleara

Nucleele grele au tendinta de a elimina o parte din nucleoni, transformandu-se in nuclee mai stabile cu energie de legatura pe nucleon mai mica.

Procesele prin care nucleele grele isi maresc energia de legatura pe nucleon sunt dezintegrarea α si fisiunea nucleara.

In procesul de dezintegrare α nucleele grele expulzeaza un nucleu de ${}^4_2\text{He}$ iar nucleele care emit particule α formeaza lanturi de nuclee a caror masa scade cu cate 4 u.a.m (unitati atomice de masa) pana cand se ajunge la un nucleu stabil de masa mult mai mica.

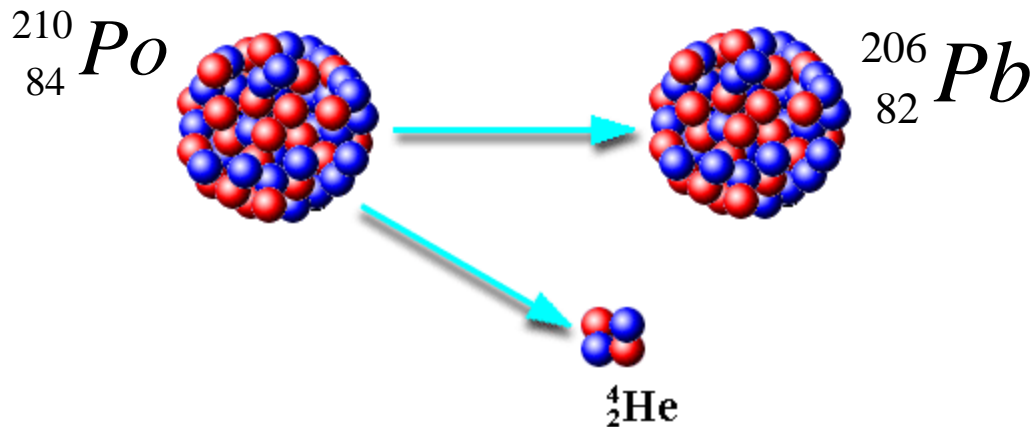
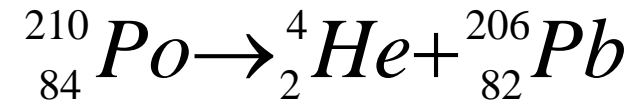


Fig.1 Dezintegrarea α a nucleului de ${}^{210}_{84}\text{Po}$



Bilantul energetic al procesului de dezintegrare α in cazul nucleului de ${}^{210}_{84}\text{Po}$:

$$\Delta W = (M_{{}^4_2\text{He}} + M_{{}^{206}_{82}\text{Pb}} - M_{{}^{210}_{84}\text{Po}}) \cdot c^2 \quad (1)$$

$$\Delta W = (205.97446 + 4.002604 - 209.98287) \cdot 931 \text{ eV} \\ = -5.4 \text{ eV}$$

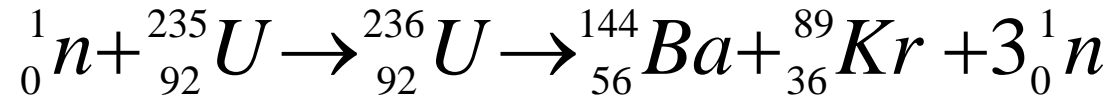
Bilantul fiind negativ \Rightarrow nucleul de Po este instabil in raport cu dezintegrarea α .

Obs.: energia rezultata in urma dezintegrarii α este preluata de particulele rezultate sub forma de energie cinetica.

I.1.2 Fisiunea stimulata

Fisiunea nucleara stimulata a fost descoperita de catre O. Hahn si F. Strassman in 1939.

Reactia este produsa de captura unui neutron lent de catre nucleul de uraniu ${}_{92}^{235}\text{U}$



Nucleele de ${}_{56}^{144}\text{Ba}$ si respectiv ${}_{36}^{89}\text{Kr}$ sunt instabile datorita surplusului de neutroni, transformandu-se prin dezintegrari succesive.

Reactia este exoenergetica, degajandu-se ≈ 200 MeVdin care cea mai mare parte este preluata de catre elementele de fisiune.

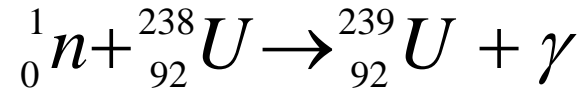
Datorita cantitatii mare de energie degajata aceasta reactie este foarte importanta din punct de vedere energetic. Pentru ca aceasta reactie sa se autointretina se impune ca neutronii realizati in timpul reactiei sa fie incetiniti si utilizati in noi reactii de fisiune (probabilitatea de captura a neutronilor de catre nucleele de uraniu este cu atat mai mare cu cat viteza acestora este mai mica).

Reactia in lant: neutronii de reactie sunt incetiniti cu un mediu moderator format din nuclee usoare care preiau prin ciocnire o parte din energia cinetica a neutronilor de fisiune. Ca moderatori se utilizeaza apa, apa grea, grafitul sau beriliul.

Otto Hahn (1879-1968) fizician si chimist german, laureat al Premiului Nobel, pioner in domeniul radioactivitatii si radiochimiei (parintele chimiei nucleare).

Fredrich Wilhelm Strassman (1902-1980) chimist german.

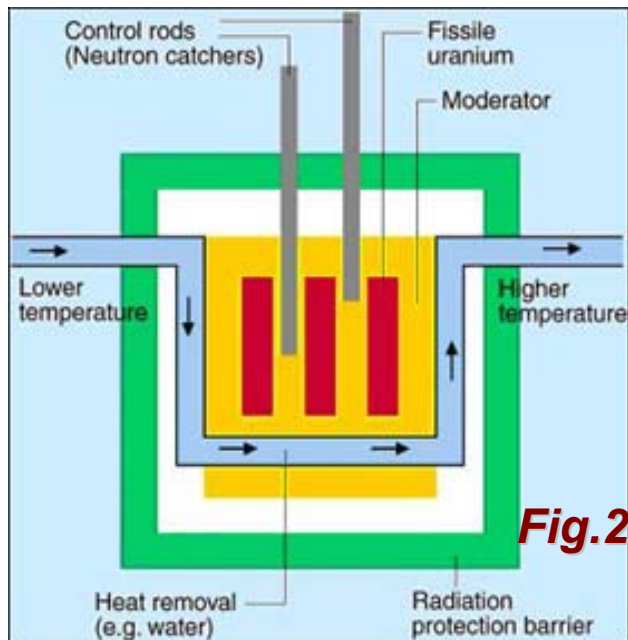
O alta conditie pentru intretinerea reactiei este ca neutronii sa nu se piarda prin alte procese. Cel mai important proces de pierdere este captura neutronilor de catre nucleeele de catre nucleeele de $^{238}_{92}\text{U}$.



Neutronii pot fi captati si de nucleeele moderatorului. Datorita proceselor prin care se pierd neutroni, intretinerea reactiei in lant se poate face doar daca masa combustibilului de uraniu este suficient de mare (mai mare decat o valoare critica numita masa critica).

Reactorul nuclear

Este un sistem controlat in care se produce fisiune stimulata iar energia produsa este folosita la ridicarea temperaturii unui agent termic. Prin racirea agentului termic se poate obtine lucru mecanic sau se poate face transfer de caldura.



- Materialul fisionabil este uraniul natural imbogatit cu $^{235}_{92}\text{U}$ pentru a mari probabilitatea proceselor de fisiune.
- Moderatorul este format din apa, apa grea sau grafit.
- Fluidul de racire este folosit pentru racirea zonei active a reactorului care se incalzeste foarte mult datorita reactiilor exoenergetice de fisiune.
- Barele de control sunt confectionate din materiale care absorb cu probabilitate mare neutronii (B, Cd). Barele pot fi introduse in zona activa pentru a controla reactia in lant.
- Un strat de material reflectator inconjoara reactorul pentru a readuce neutronii in procesul de fisiune.
- Pentru a reduce scaparile de radiatii g din interiorul reactorului, acesta este inconjurat cu un strat gros de beton.

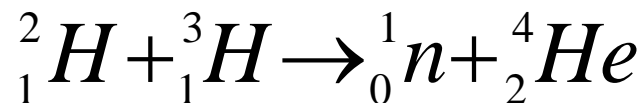
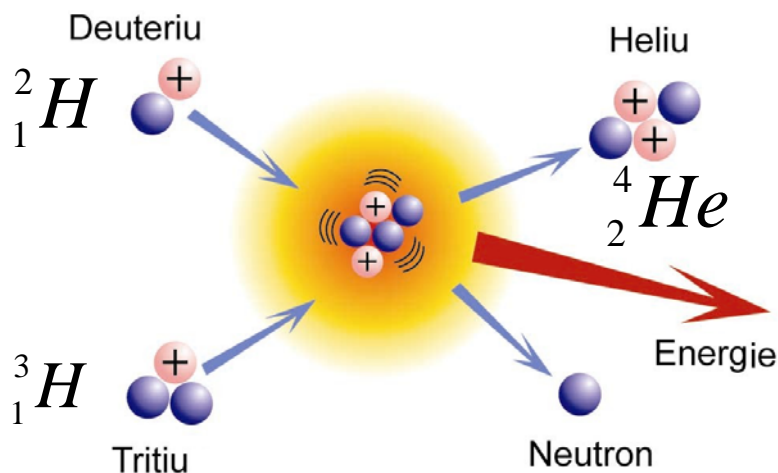
I.2 Fuziunea nucleara

Fuziunea nucleara reprezinta procesul de unire a doua nuclee usoare pentru a forma un nucleu mai greu.

Observatie:

- *Procesul de fuziune nucleara nu se realizeaza in mod spontan in conditii naturale din cauza fortelor electrostatice de respingere mari dintre nucleele incarcate cu sarcina electrica pozitiva.*
- *Procesele de fuziune nucleara au loc la temperaturi foarte inalte si sunt sursa energiei solare.*

Exemplu: fuziunea dintre nucleele de deuteriu si tritiu (bomba cu hidrogen)



Bilantul energetic in procesul de fuziune:

$$\Delta W = (m_{{}^1_0\text{n}} + m_{{}^4_2\text{He}} - m_{{}^2_1\text{H}} - m_{{}^3_1\text{H}}) \cdot c^2 \quad (2)$$

$$\Delta W = (4.002604 + 1.008665 - 2.014102 - 3.016049) \cdot 931 = -17.58 \text{ MeV}$$

Fig.3 Fuziunea nucleara dintre nucleele de deuteriu si tritiu

Obs.: neutronul si nucleul de He vor prelua energia rezultata in urma reactiei de fuziune sub forma de energie cinetica.

II. Radiatii nucleare

Radiatiile nucleare sunt formate din particule nucleare (protoni, neutroni, e^- , e^+ , γ , nuclee atomice (ex. deuteriu, heliu)) emise de nucleele instabile.

Radiatiile nucleare se obtin prin accelerarea particulelor nucleare sau din dezintegrarea nucleelor radioactive.

Radioactivitatea este definita ca fiind procesul spontan de dezintegrare a unui nucleu instabil si emisia de radiatii nucleare.

Stabilitatea unui nucleu este data de numarul de nucleoni din care este alcatuit si raportul dintre numarul de protoni si neutroni.

Pentru nucleele usoare un numar aproximativ egal de protoni si neutroni este necesar pentru stabilitatea acestora.

Pentru nucleele grele raportul dintre numarul de neutroni si protoni creste iar nucleele se indeparteaza de starea de echilibru. In aceasta situatie, in nucleele grele se vor produce modificari care vor tinde sa aduca nucleul intr-o stare mai stabila. Stabilizarea nucleelor grele se poate face prin unul din cele trei moduri de dezintegrare radioactive.

II.1 Moduri de dezintegrare radioactiva

II.1.1 Dezintegrarea α

Dezintegrarea α are loc cu emisia de particule α (4_2He).

Un nucleu poate fi stabil in raport cu emisia unei particule α daca energia de legatura a particulei α in nucleu este pozitiva ($W_{leg}^\alpha > 0$) sau instabil daca $W_{leg}^\alpha < 0$.

Consideram un proces de dezintegrare radioactiva α in care nucleul N emite o particula α si in urma dezintegrarii rezulta nucleul X :



Energia de legatura a particulei α in nucleul N este:

$$W_{leg}^\alpha = W_\alpha + W_X - W_N \quad (4)$$

Nucleul este instabil in raport cu dezintegrarea α daca $W_{leg}^\alpha < 0$!!! sau:

$$\mathbf{W_N > W_\alpha + W_X} \quad (5)$$

Dezintegrarea α este specifica nucleelor grele ($Z > 82$) si care nu o configuratie stabila a numarului de protoni si neutroni. Aceste nuclee grele vor tinde spre o configuratie stabila prin emisia unei particule α sau printr-o serie de emisii de particule α .

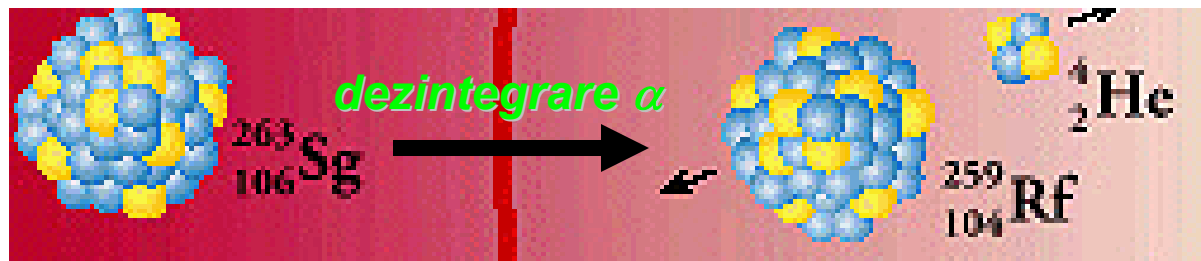


Fig.4 Dezintegrarea α a nucleului de seaborgiu (seabrgium)

Seaborgiu este un element sintetic. Rutherfordiu este tot un element sintetic si radioactiv.

II.1.2 Dezintegrarea β

Experimental se constata ca unele nuclee pot emite spontan electroni sau pozitroni. Radiatia electronica se numeste radiatie β iar radiatia pozitronica se numeste radiatie β^+ .

Dezintegrarea β^- :

Daca raportul dintre numarul de neutroni si respectiv numarul de protoni este prea mare, un neutron din nucleu se va “transforma” in proton iar nucleul va elibera un electron:



Dezintegrarea β^+ :

Daca raportul dintre numarul de neutroni si protoni este prea mic, nucleul va emite un pozitron (e^+) in urma transformarii unui proton intr-un neutron. Radiatia formata din pozitroni poarta denumirea de radiatie β^+ .

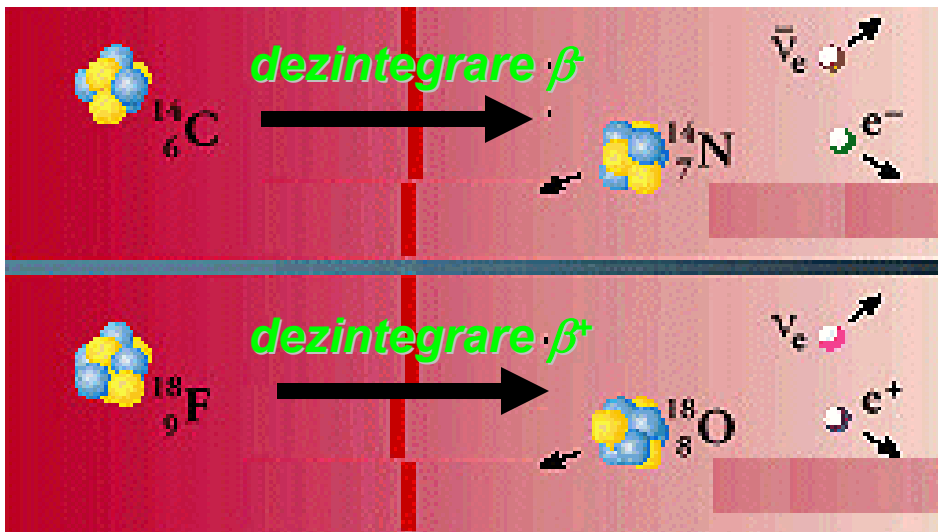


Fig.5 Dezintegrarea β^- si β^+

Particulele ν si $\bar{\nu}$ poarta denumirea de neutrino si respectiv antineutrino.

Neutrino sunt particule cu masa de repaus nula, sunt neutre din punct de vedere electric si se pot deplasa cu viteze apropiate de viteza luminii. Ele pot traversa foarte facil substanta (materia obisnuita) si sunt extrem de dificil de detectat.

II.1.3 Captura de electroni

In acest proces un electron este captat de un nucleu iar in urma acestei capturi un proton se va transforma intr-un neutron. Acest proces este specific nucleelor cu un numar mare de protoni si din punct de vedere al stabilitatii nucleului, procesul este similar cu cel de emiterie de radiatii β^+ .

II.1.4 Emisia de radiatii γ

Radiatiile γ sunt radiatii electromagnetice de frecventa inalta (energie mare). Este emisa de nucleeele aflate intr-o stare metastabila si care trec in starea fundamentala prin emisia unui foton γ .

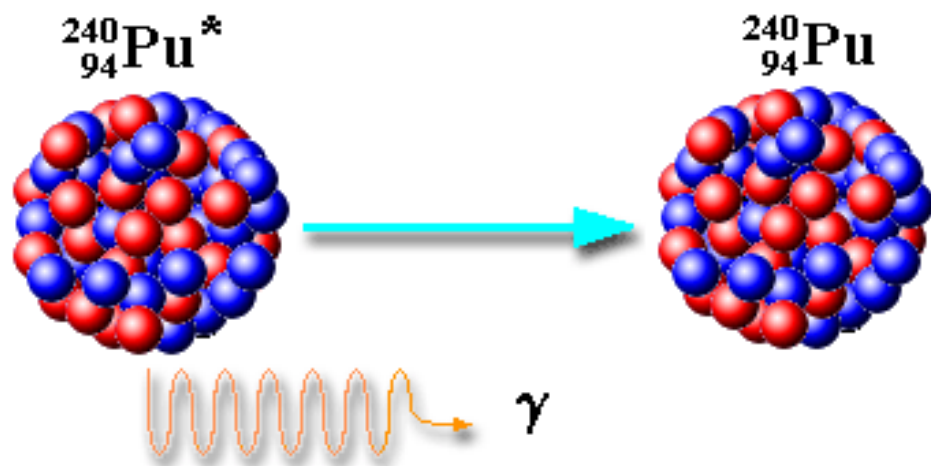


Fig.6 Dezintegrarea γ

Dezintegrarea γ poate apare in urma unei dezintegrari α sau β sau in exploziile nucleare. Radiatiile γ sunt forma cea mai energetica a radiatiilor electromagnetice.

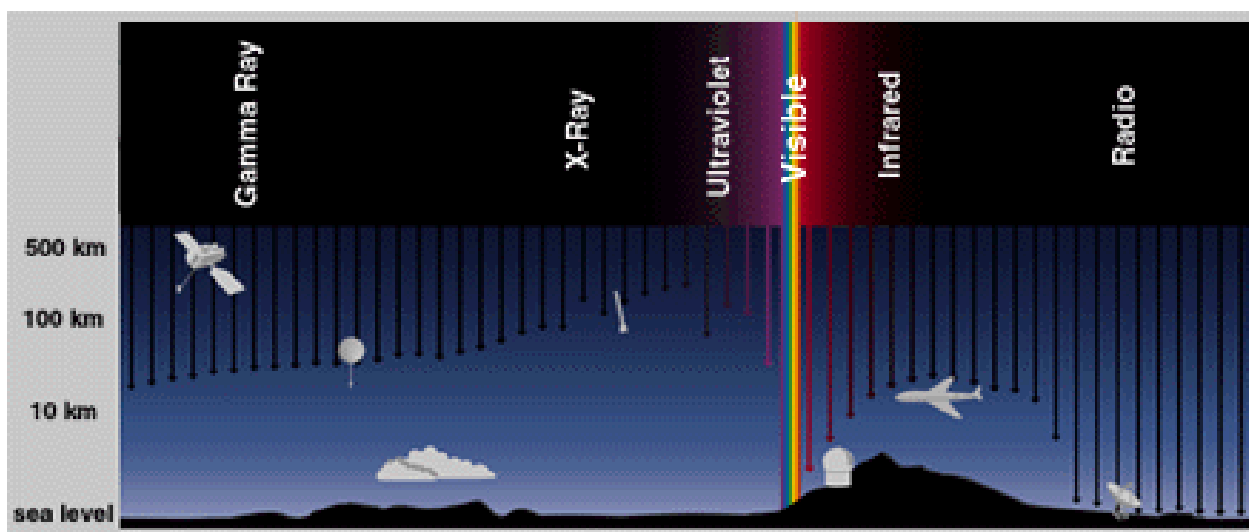


Fig.7 Adancimea de penetrare a atmosferei terestre de catre radiatiile electromagnetice

II.2 Legea dezintegrării radioactive

Orice sistem cuantic aflat într-o stare excitată (metastabilă) se va dezexcita, tinzând spre o stare stabilă de energie mai mică.

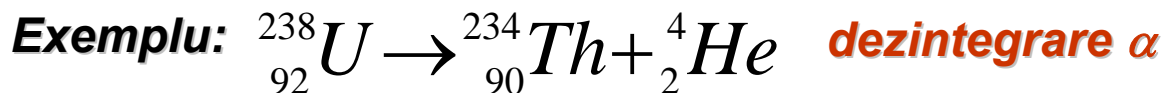
Legea dezintegrării radioactive prezice cum se modifică în timp numărul de nuclee radioactive dintr-o substanță radioactivă dată.

Radioactivitatea se produce sub trei forme α , β și γ .

Dezintegrarea radioactivă reprezintă un proces spontan de eliberare de energie sub formă de particule radioactive și/sau de radiații electromagnetice (γ).

Cele trei moduri de dezintegrare radioactivă respectă legile clasice de conservare: conservarea energiei, conservarea impulsului, conservarea momentului cinetic, conservarea sarcinii electrice, conservarea numărului de nucleoni și conservarea numărului de leptoni (electroni, pozitroni, neutrino și antineutrino).

Considerăm un proces de dezintegrare radioactivă:



presupunem:

- **Substanta radioactiva se compune dintr-un numar foarte mare de nuclee radioactive.**
- **Nucleele radioactive nu se dezintegreaza simultan.**
- **Nucleele radioactive se dezintegreaza intr-o anumita perioada de timp.**
- **Nu se poate prezice momentul de la care un nucleu se va dezintegra.**
- **In procesul de dezintegrare radioactiva, nucleele radioactive se dezintegreaza la intamplare.**

Legea dezintegrarii radioactivea fost stabilita de catre E. Rutherford si F. Soddy (1903).

- **Au observat ca viteza de denintegrare a unei substante radioactive (dN/dt) este proportionala cu cu cantitatea initiala de substanta radioactiva ($N(t)$).**

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda * N(t) \quad (8)$$

- **Constanta λ se numeste constanta a dezintegrarii radioactive (constantă radioactiva) a substantei X si este egala cu probabilitatea de dezintegrare in unitatea de timp.**
- **Constanta de dezintegrare este independenta de timp si este specifica tipului de nuclee care se dezintegreaza.**

Obs.:

➤ **O functie a carei viteza de variatie este proportionala cu valoarea initiala ($t=0$) este o functie exponentiala !!**

• **Solutia ecuatiei 8 (obtinuta prin integrarea acesteia) este:**

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (9)$$

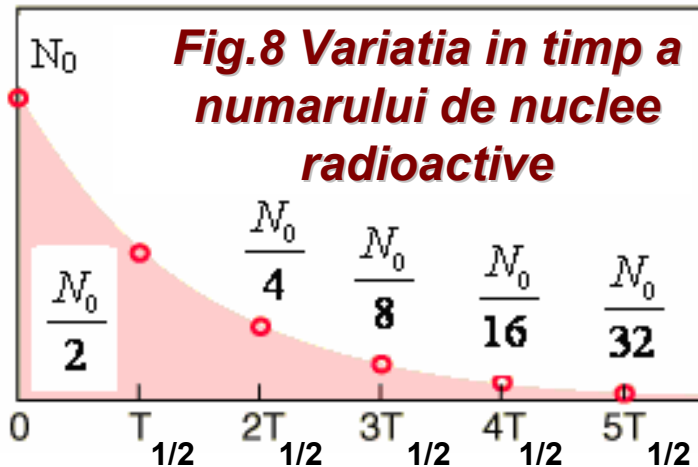
unde:

- N_0 reprezinta numarul initial de nuclee radioactive ;
 - λ reprezinta constanta radioactiva a elementelor din care este alcatuita substanta radioactiva.
- **Intervalul de timp necesar pentru a reduce la jumatate numarul initial de atomi radioactivi N_0 se numeste timp de injumatatire ($T_{1/2}$).**

$$N(T_{1/2}) = \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \quad (10)$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} \quad (11)$$

$$\lambda = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}} = \frac{0.693}{T_{1/2}} \quad (12)$$



Fiecare element radioactiv are un timp de injumatatire specific

timpul (exprimat ca si un multiplu de T1/2)

Elementul	Timpul de injumatatire	Elementul	Timpul de injumatatire
Bismut-212	60.5 minute	Fosfor-24	14.3 zile
Carbon-14	5730 ani	Poloniu-215	0,0018 secunde
Clor-36	400.000 ani	Radiu-226	1600 ani
Cobalt-60	5.26 ani	Sodiu-24	15 ore
Iod-131	8.07 zile	Uraniu-238	4.5 miliarde ani

Obs.:

- **Timpul de injumatatire variaza de la cateva fractiuni de secunda la miliarde de anu.**
- **Timpul de injumatatire este masura a stabilitatii unui nucleu.**
- **Nici o procedura chimica sau fizica nu poate modifica viteza de dezintegrare a unei substante radioactive.**

Activitatea medie

- **Numim activitatea ca fiind numarul de dezintegrari pe secunda a unui esantion radioactiv X compus dintr-un numar N de nuclee radioactive.**
- **Activitatea medie se exprima in SI becquerel (Bq) (s⁻¹). O alta unitate de masura a activitatii medii este Curie (Ci) (1Ci=3.7*10¹⁰ s⁻¹)**

$$A(t) = \frac{n}{\Delta t} = -\frac{\delta N}{\delta t} \quad (13)$$

$$A = N_0 \lambda e^{-\lambda t} \quad (14)$$

$$A = N(t) \frac{\ln(2)}{\lambda} \quad (15)$$

Antoine Henri Becquerel (1852-1908)
fizician francez, laureat al Premiului
Nobel pentru Fizica (1903), descoperitor
al radioactivitatii alaturi de Marie si
Pierre Curie.

II.2.1 Datarea cu ajutorul carbonului radioactiv

- *Datarea cu carbon este o metoda de datare radiometrica care utilizeaza izotopul natural de carbon ^{14}C pentru determinarea varstei materialelor care contin carbon (organismelor care au murit si care in timpul vietii au consumat CO_2).*
- *Carbonul are doi izotopi stabili ^{12}C si ^{13}C . De asemenea exista si izotopul instabil ^{14}C al carbonului, acesta avand un timp mediu de viata de 5730 de ani.*



Fig. 9 Producerea izotopilor de carbon (^{14}C)

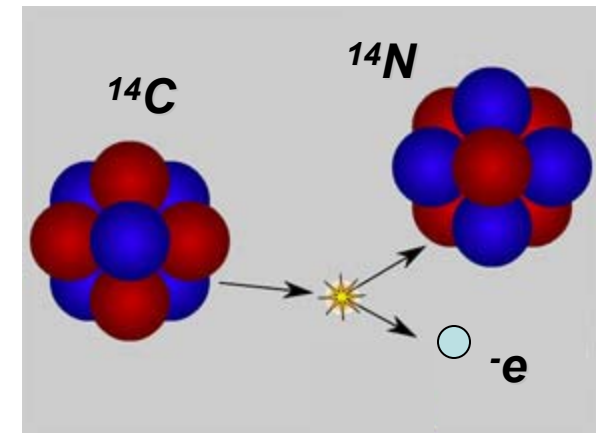


Fig. 10 Dezintegrarea izotopilor ^{14}C

- *Izotopul ^{14}C se combina cu oxigenul atmosferic formand CO_2 . Organismele vii care fac schimb de CO_2 cu atmosfera vor inmagazina si o mica cantitate de ^{14}C .*

□ Cand un organism moare nu vor mai exista schimburile de CO_2 intre acel organism si mediul exterior. Raportul dintre numarul de izotopi de carbon ^{14}C si numarul izotopi stabili ^{12}C se va diminua in timp datorita dezintegrarii izotopilor ^{14}C .

□ Raportul dintre numarul de izotopi de carbon ^{14}C si respectiv ^{12}C pentru moleculele (ce contin carbon) de la suprafata pamantului este de 1.3×10^{-12} iar aceasta valoare se presupune ca a ramas constanta cel putin de la crearea atmosferei

$$\frac{^{14}_6\text{C}}{^{12}_6\text{C}} \approx 1.3 \times 10^{-12}$$

□ Cunoscand nivelul de activitate al unui esantion de materie organica, putem determina continutul de ^{14}C existent in acel esantion. Cunoscand raportul initial intre cantitatea de ^{14}C si ^{12}C , se va putea determina varsta esantionului respectiv.

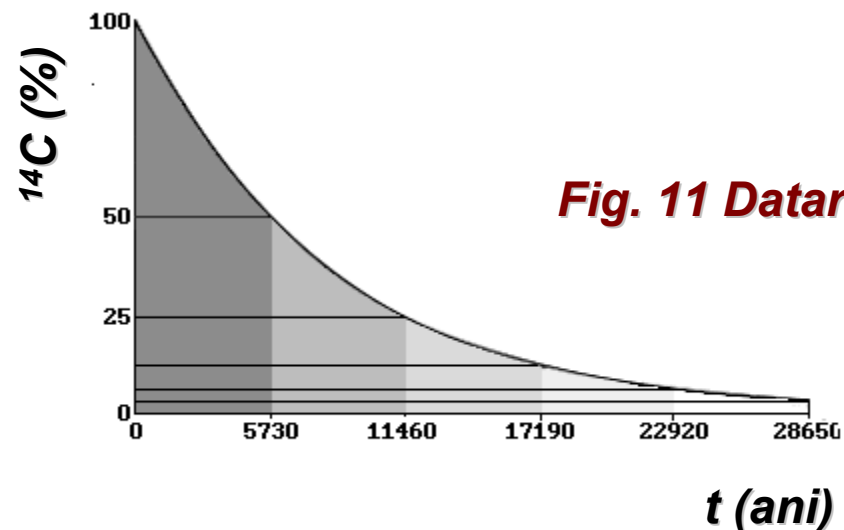


Fig. 11 Datarea cu ^{14}C

II.3 Interactiunea radiatiilor nucleare cu substanta

Radiatiile nucleare interactioneaza cu atomii substantei pe care o strabat, producand o serie de efecte.

Radiatiile nucleare se impart in doua categori in functie de sarcina electrica a particulelor care le formeaza:

- radiatii formate din particule incarcate cu sarcina electrica (protoni, particule α , fragmente de fisiune, electroni, pozitroni),***
- radiatii formate din particule neutre (fotoni γ si neutroni).***

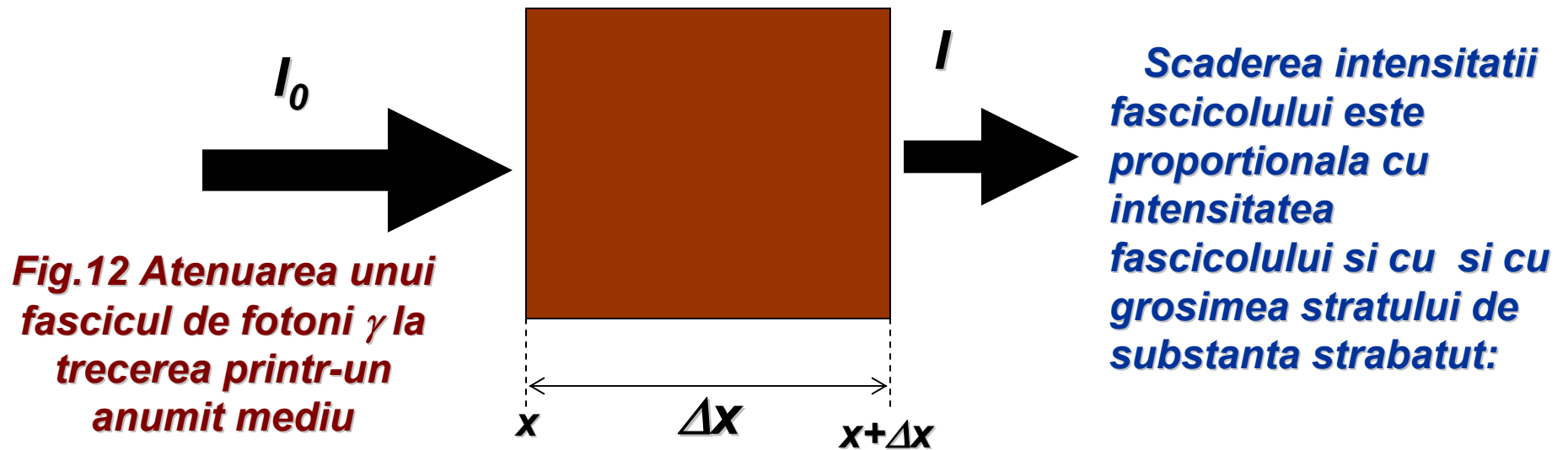
II.3.1 Interactiunea radiatiilor nucleare formate din particule incarcate cu sarcina electrica cu substanta

La trecerea printr-un anumit mediu (substanta), radiatiile formate din particule incarcate cu sarcina interactioneaza cu atomii si moleculele din care este alcatuit mediul respectiv producand ionizari sau excitari ale acestora. In procesele de excitare sau ionizare, particulele care formeaza radiatia nucleara transfera o parte din energia lor cinetica mediului pe care-l strabat. Drumul mediu strabatut de o particula incarcata cu sarcina electrica se numeste parcurs liniar. Marimea parcursului liniar depinde de natura mediului si de sarcina electrica a particulei.

II.3.2 Interactiunea radiatiilor nucleare formate din particule neutre cu substanta

Trecerea fotonilor X sau γ prin substanta este insotita de doua efecte: efect fotoelectric si efect Compton.

Legea de atenuare a fotonilor γ



$$\Delta I = -\mu \cdot I(0) \cdot \Delta x \quad (16)$$

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (17)$$

μ =coeficient de atenuare liniara a fotonilor γ .

Coeficientul de atenuare liniara depinde de natura substantei strabatute de fotonii γ .

Interactiunea neutronilor cu substanta

Neutronii pot interactiona cu nucleele din mediul pe care-l strabat, provocand reactii nucleare.

Neutronul fiind neutru din punct de vedere electric, patrunderea sa in nucleu nu este impiedicata de fortele de respingere electrostatica iar probabilitatea de a produce reactii nucleare este foarte mare.

La trecerea unui fascicul de neutroni printr-un mediu acestia sunt absorbiti de substanta mediului respectiv, lege de atenuare fiind similara celei pentru fotonii γ .

Materialele care au o probabilitate mare de captura a neutronilor sunt $^{10}_5 B$ si $^{113}_{38} Cd$. Aceste materiale sunt folosite pentru ecranarea neutronilor.

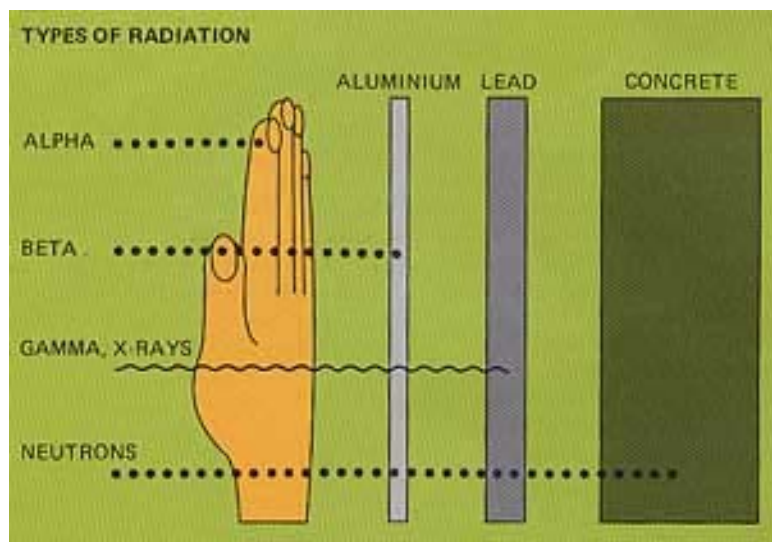


Fig.13 Atenuarea radiatiilor nucleare

II.3.3 Detectori de radiatii

Detectorul de radiatii nucleare este un sistem care pune in evidenta particule nucleare, permite numararea si determinarea unor caracteristici ale acestora (energia sau masa particulelor).

Componentele principale ale unui detector de radiatii nucleare sunt:

Corpul de detectie care consta dintr-un anumit mediu in care radiatia produce un efect specific. Efectul este dat interactiunea particulelor nucleare cu substanta detectorului (particulele incarcate cu sarcina electrica produc ionizari sau scintilatii, fotonii γ produc electroni prin efect fotoelectric sau efect Compton iar electronii produc la randul lor ionizari prin ciocnirile cu atomii mediului din care provin, neutronii produc reactii nucleare din care rezulta particule incarcate electric care la randul lor vor produce ionizari)

Sistemul de inregistrare a efectului produs de particula. Spre exemplu, in cazul in care particula nucleara produce ionizari, ionii vor fi colectati de un sistem de electrozi intre care se aplica o diferenta de potential, rezultand un curent electric care este amplificat si inregistrat.

Clasificarea detectorilor de radiatii nucleare:

- 1. Detectori care se bazeaza pe fenomenul de ionizare (camera de ionizare si detectorul Geiger-Müller).**
- 2. Detectori cu scintilatii (se bazeaza pe aparitia scintilatiilor in substanta detectorului la trecerea particulelor incarcate electric).**
- 3. Detectori care se bazeaza pe formarea de perechi electron gol in cristale semiconductoare.**
- 4. Detectori care se bazeaza pe efectul fotochimic al radiatiilor (emulsia nucleara asemanatoare cu emulsia fotografica este sensibila la radiatiile nucleare).**

Detectorul Geiger-Müller

Contorul este format dintr-un condensator cilindric închis într-un tub de sticlă. Anodul este un fir subțire coaxial cu cilindrul catodic. Electrozii sunt legați la o sursă de tensiune (cc $\sim 10^2$ V). Datorită configurației condensatorului intensitatea câmpului electric în apropierea anodului este foarte mare. La trecerea unei particule încărcate se produc perechi electron-ion în gazul din cilindru. Electronii produși sunt accelerați puternic înspre anod și produc alte ionizări, rezultând într-o avalanșă de electroni. În circuit apare un curent de descarcare de scurtă durată care va permite numărarea particulelor nucleare care traversează contorul.

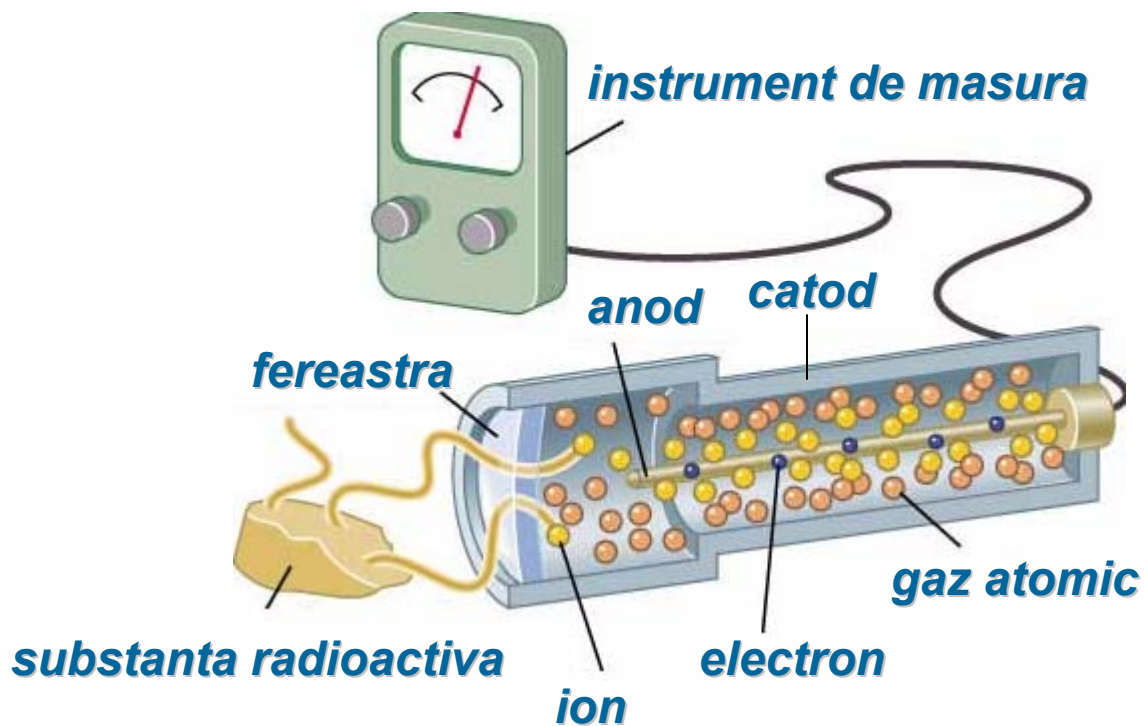


Fig. 14 Contorul Geiger-Müller

Hans Geiger (1882-1945)
fizician german inventator al
contorului de radiatii bazat
pe fenomenul de ionizare și
al nucleului atomic (exp.
Mardsen-Geiger).

Walter Müller (1905-1979)
fizician german cunoscut
mai mult pentru
imbunatatirile contorului
inventant de către Hans
Geiger.

II.4 Efectele biologice ale radiatiilor si protectia impotriva lor

Interacțiunea radiatiilor nucleare cu sistemele materiale conduc la excitarea și ionizarea atomilor și moleculelor în urma absorbției energiei radiatiilor de către substanța traversată.

Radiațiile încărcate electric (α , β , ^1_0P) produc ionizarea directă, pe când radiatiile ^1_0n , X , γ , produc ionizare indirectă prin electroni Compton, fotoelectroni, nuclee de recul. Interacțiunile de bază ale radiatiilor ionizante cu țesutul viu sunt aceleași ca și în oricare altă substanță, rolul important jucându-l fenomenul de ionizare și excitare a moleculelor din celule urmat de disocierea acestora. Întreaga energie cedată substanței de către radiație este disipată în final sub formă de căldură.

Unitatea de bază a țesutului viu este celula. Fiecare celulă are un nucleu, centrul ei de control.

De o importanță cu totul particulară este compusul numit acid dezoxiribonucleic ADN în nucleul celulei. ADN-ul controlează structura și funcționarea celulei. Radiația afectează celula, în mod indirect ADN-ul.

Radiația poate acționa în două moduri: o moleculă de ADN se poate ioniza, rezultând o modificare chimică directă sau molecula poate fi modificată indirect prin intermediul unui radical liber din lichidul celulei.

În unele cazuri modificarea chimică poate sta la baza unui efect biologic dăunător, datorat fie unui defect puternic localizat, fie unui defect global al cromozomului, așa cum se poate observa la microscop.

Ambele feluri de defecte au fost implicate în tarele genetice și în dezvoltarea cancerului.

Radiațiile care pătrund în organism sunt mai mult sau mai puțin absorbite. În cazul țesuturilor vii, interacțiunea radiațiilor cu acestea produce aceleași fenomene. Ionii produși în urma ionizării reacționează chimic cu acizii nucleici din nucleeele celulelor vii dând naștere unor produși toxici. Țesuturile cele mai sensibile sunt organele hematopaltice, mucoasele, organele interne, țesuturile musculare, țesuturile osoase, țesutul nervos.

Iradierea în doze bine determinate poate avea efecte pozitive (în radioterapie, distrugerea celulelor tumorale).

Iradierea necontrolată poate duce la accidente acute imediate și accidente cronice.

Mecanismele absorbției radiațiilor variază în funcție de natura acestora. În cazul radiației α , acestea sunt complet absorbite de organismele vegetale și animale pe o adâncime de 0,1 mm iar radionuclizii nu sunt periculoși. Radiațiile α pot pătrunde în organism circa 1 cm, iar radionuclizii care le produc sunt periculoși pentru țesuturile superficiale. Radiațiile X, γ și neutronii trec prin organe umane iar radionuclizii care le produc sunt periculoși.

Boala de iradiere poartă numele de boala actinică.

În locurile în care apar doze de radiații mai mari decât cele maxime admise, se impune luarea unor măsuri de protecție prin ecranarea surselor radioactive. Împotriva fluxului de radiații γ se utilizează ecrane din material cu Z mare (Pb), împotriva fluxului de radiații α se utilizează ecrane din material cu Z mic (Al) iar împotriva fluxului de radiații 1_0n se folosește ca moderator apa grea și grafitul iar ca absorbant cadmiul și borul.

II.5 Mărimi și unități dozimetrice

Pentru a caracteriza efectele produse la iradierea diferitelor materiale inclusiv a corpurilor vii, este necesar să studiem schimbările de proprietăți (mecanice, termice, electrice, magnetice etc.) ce au loc în urma iradierii, precizând efectele acestora.

Efectele produse depind de mai mulți factori: natura, energia și distribuția radiațiilor și natura, forma de agregare, combinația chimică și structura corpului iradiat.

Efectele biologice ale radiațiilor depind de cantitatea de energie absorbită de la aceste radiații de către materia vie.

1) Mărimea care a fost introdusă pentru a caracteriza energia absorbită de unitatea de masă este doza energetică absorbită (D).

D reprezintă raportul dintre energia absorbită și masa substanței care a absorbit această cantitate de energie.

$$D = \frac{\Delta W}{\Delta m} \quad (18)$$

$$[D]_{SI} = \frac{[W]_{SI}}{[m]_{SI}} = \frac{J}{kg} = Gy \quad (Gray)$$

Louis Harold Gray (1905-1965) fizician englez care a avut contribuții importante legate de efectele biologice ale radiațiilor, fondator al radiobiologiei

1 Gy este doza care transferă unei mase omogene de 1 kg o energie de 1 J.

Altă unitate de măsură este rad (roentgen de doză absorbită).

$$1\text{rad} = 100 \frac{\text{erg}}{\text{g}} = \frac{10^2 \cdot 10^{-7} \text{ J}}{10^{-3} \text{ kg}} = \frac{1}{10^2} \text{ J / kg} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

1 rad reprezintă cantitatea de radiație care cedează într-un kg de substanță energia de 10^{-2} J.

Doza absorbită în unitatea de timp se numește doză debit.

$$d = \frac{D}{\Delta t} = \frac{\Delta W}{\Delta m \cdot \Delta t} \qquad [d] = \frac{\text{rad}}{h} \qquad (19)$$
$$[d]_{SI} = \frac{\text{Gy}}{s}$$

Transferând aceluiași material o cantitate egală de energie, dar de la diferite radiații, acțiunea acestora este diferită. De exemplu, radiația α este mai eficace decât β .

Pentru a aprecia efectele iradierii s-a introdus ca mărime caracteristică interacțiunii radiație – substanță, doza de ionizare (termenul a fost introdus mai întâi în radioterapie, ca echivalent pentru „doza de medicamente administrată”).

Doza de ioni reprezintă sarcina electrică produsă prin ionizare și reprezintă raportul dintre sarcina electrică Q a ionilor produși de radiațiile nucleare într-un volum de aer și masa m a acelu volum.

$$D = \frac{Q}{m} \quad (20)$$

Debitul dozei de ioni este dat de relația:

$$d = \frac{D}{t} \quad (21) \quad [D]_{SI} = 1R \quad (\text{Rontgen})$$

1 R reprezintă doza de radiație X sau γ care produce în condiții normale o sarcină $1/3 \cdot 10^{-9}$ C într-un volum de aer uscat și este echivalent cu doza energetică de 1,293 Gy.

Doza biologică (B)

Pentru a putea compara diferite radiații cu aceeași energie, după efectele lor, s-a introdus factorul de eficacitate biologică relativă η .

Doza biologică se folosește pentru organismele vii:

$$B = \text{doza energetică} \cdot \eta \quad (22)$$

Eficacitatea biologică relativă reprezintă raportul dintre energia absorbită de țesut la iradierea cu o radiație dată și energia absorbită de țesut la o iradiere cu o radiație standard pentru a produce efecte biologice identice.

Doza biologică B este doza de energie preluată de la radiația incidentă care produce, în condiții identice, aceleași efecte biologice ca și doza de 1 Gy a radiațiilor standard (X, γ la 200 keV).

Unitatea de măsură este:

$$[B] = 1 \text{ rem (roentgen echivalent men)}$$

$$[B]_{SI} = 1 \text{ Sievert} = 100 \text{ rem}$$

Pentru radiații X, γ , β , factorul de eficacitate biologică relativă este $\eta = 1$, pentru neutroni termici $\eta = 10$, iar pentru neutroni rapizi $\eta = 2,5$.

Debitul dozei biologice este:

$$b = \frac{B}{t} \quad [b] = \frac{1 \text{ rem}}{h} \quad (23)$$
$$[b]_{S.I.} = \frac{1 \text{ Si}}{1 \text{ s}}$$

Rolf Maximilian Sievert (1896-1966) fizician suedez, a avut contribuții importante în domeniul fizicii medicale studiind efectele biologice ale radiațiilor.

Limita anuală de încorporare, LAI, este activitatea minimă, exprimată în becquereli, rezultată de la un radionuclid încorporat timp de un an, de către omul de referință definit de CIPR (ICPR International Commission of Radiological Protection), încorporare care antrenează fie o valoare a echivalentului dozei angajat de 50 mSv, fie o valoare a echivalentului dozei angajat de 150 mSv pentru cristalin, sau de 500 mSv pentru celelalte organe sau țesuturi.

Intrebari test grila

1) Bifati enunturile corecte:

- Nucleele atomice contin un numar egal de protoni si neutroni.
- ✓ Stabilitatea unui nucleu este determinata de valoarea energiei de lagatura al acestuia.
- Modelul picatura de lichid explica stabilitatea mare a nucleelor formate din grupari de 2 protoni si 2 neutroni.
- ✓ Modelul in paturi presupune existenta unor nivele energetice nucleare care pot fi ocupate de cel mult doi nucleoni identici si cu spinul paralel.
- ✓ Principiul de excluziune al lui Pauli este valabil si in cazul nucleelor atomice.

2) Bifati enunturile corecte:

- ✓ Procesul de fisiune nucleara este specific nucleelor grele care au tendinta de a se transforma in nuclee mai usoare cu o energie de legatura mai mare.
- ✓ Procesul de fisiune nucleara este un proces spontan, exoenergetic.
- Fuziunea nucleara este un proces spontan.
- Fuziunea nucleara este un proces endoenergetic.
- ✓ Fuziunea nucleara este specifica nucleelor usoare.

3) Bifati enunturile corecte:

- ✓ Dezintegrarea radioactiva este un proces spontan exoenergetic.
- ✓ Radioactivitatea se produce sub trei forme α , β si γ .
- Conservarea energiei, conservarea impulsului, conservarea momentului cinetic sunt specifice doar proceselor de dezintegrare radiactiva.
- ✓ Conservarea sarcinii electrice, conservarea numarului de nucleoni si conservarea numarului de leptoni sunt specifice proceselor de dezintegrare radioactiva.
- In procesul de dezintegrare radioactiva nucleele se dezintegreaza simultan.

4) Ce sunt radiatiile α ?

- Electroni,
- Protoni,
- ✓ Nuclee de heliu.
- Pozitroni.

5) Ce semnificație are timpul mediu de viață?

- ✓ Jumatate din timpul necesar ca radioactivitatea substanței sa dispară.
- Timpul necesar ca radioactivitatea substanței să crească cu jumatate din valoarea inițială.
- ✓ Timpul necesar ca radioactivitatea substanței sa se reduca la jumatate.
- ✓ Timpul in care numarul de nuclee radioactive se reduce la jumatate din valoarea initiala.
- Jumatate din timpul necesar pentru reducerea radiactivitatii probei la jumatate.

6) Cu cat se modifică numărul atomic și numărul de masa al unui atom cand acesta emite o particula α ?

- Numarul atomic crește cu 2 si numarul de masa crește cu 4.
- Numarul atomic descrește cu 2 si numarul de masa crește cu 4.
- Numarul atomic crește cu 2 si numarul de masa descrește cu 4.
- Numarul atomic descrește cu 2 si numarul de masa cu 4.
- Numarul atomic descrește cu 4 si numarul de masa cu 2.

7) Bifați enunțurile corecte:

- Valoarea energiei de legătură per nucleon caracterizează stabilitatea nucleelor atomice.
- Nucleele cele mai stabile sunt nucleele cu numărul de masă cuprins între 40 și 140.
- Forțele nucleare au un caracter de saturație.
- Volumul nucleului este proporțional cu numărul de protoni din nucleu.
- Forțele nucleare acționează doar între particulele nucleare încărcate cu sarcină electrică.

8) Bifați enunțurile corecte:

- In procesele de dezintegrare alfa si de fisiune nucleară, nucleele grele își măresc energia de legătura per nucleon.
- In cazul în care pot avea loc, dezintegrarea alfa si fisiunea nucleară sunt procese spontane.
- Fuziunea nucleară este specifică nucleelor ușoare.
- Fuziunea nucleară nu necesită un aport energetic inițial.
- Procesul de fuziune nucleară este un proces endoenergetic nuclear.