

Fig. 14a. Impuls scurt de unde de frecvență radio perpendiculare pe câmpul magnetic (aplicate din exteriorul corpului omenesc).

direcția câmpului principal, protonii își pierd orientarea și alinierea și revin la poziția lor inițială de echilibru, trecând printr-o fază de tangaj, care constă dintr-o mișcare de rotație asemănătoare mișcării unui titirez, în timpul căreia emit un semnal de rezonanță ce este recepționat de niște bobine detectoare. Amplitudinea semnalului recepționat este proporțională cu numărul de nuclee de H^1 din probă (fig. 14). Protonii de H^1 care se văd mai bine sunt cei legați de apă și grăsimi. Aceste două medii dense în protoni apar albe; osul care conține numai 15% apă apare negru ca și plămânul. Fluidele, având protonii în mișcare, produc semnale foarte slabe.

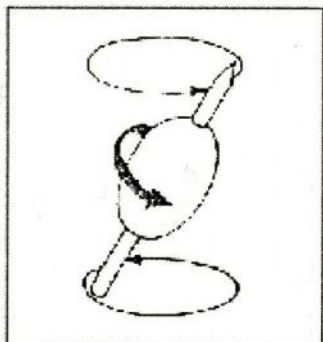
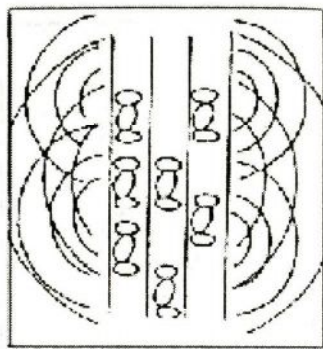


Fig. 14b. Semnalul sub formă de unde poate fi înregistrat de către bobinele receptoare.

Semnalele și imaginea sunt recepționate pe ecranul unui oscilograf catodic. Programarea datelor de tratament ale informației, a operațiilor în computer și reconstrucția imaginii se face ca și în computertomografie, utilizând aceiași algoritmi. Informații suplimentare sunt obținute prin determinarea timpului de relaxare care caracterizează transferul de energie între nuclee și mediul înconjurător și a timpului de relaxare spin-spin care determină schimbul de energie între nuclee. Aceste informații prezintă o imagine anato-tomografică a nucleelor de H^1 în organul respectiv care mai conține și date funcționale. Contrastul imaginii, pe scara de gri cu peste 250 de nuanțe între cele două extreme alb și negru, depinde de intensitatea spinului respectiv al rezonanței și este proporțional cu numărul protonilor liberi excitați din volumul studiat, în particular, cu conținutul în H_2O .

Scopul studiului RMN este explorarea la om a atomului de H^1 din celule fără intervenție chirurgicală, fără biopsie și fără raze X. Imaginile pot fi obținute în: a) magnetoscopie (pe ecran) sau magnetografie (înregistrate pe disc, bandă magnetică); b) spectrul de frecvență nucleară (traduce natura chimică a atomului explorat); c) parametrul – timpul de relaxare care permite aprecierea de mare finețe morfologică și funcțională (timp de relaxare mărit în procese oncologice).

FIZICA NUCLEARĂ

Radioactivitatea

În ultimii ani ai secolului al XIX-lea s-au făcut două mari descoperiri, care au permis să se arunce o privire în interiorul atomului și să se rezolve o serie de probleme referitoare la structura lui: au fost descoperite razele X și fenomenul radioactivității. În 1895, Roentgen, observând luminescența unei serii de substanțe sub acțiunea unui flux de electroni rapizi (razele catodice), a descoperit că în locul unde electronii cad pe substanță ia naștere o nouă formă de radiație. Curând, după descoperirea făcută de Roentgen, fizicianul francez Becquerel,

studiind fosforescența sărurilor de uraniu a descoperit, în 1896, fenomenul r a d i o a c t i v i t ă ț i i. Cristalele mineralelor care conțin săruri de uraniu, fiind aplicate pe o placă fotografică și iluminate în prealabil cu lumină vizibilă, dădeau urme pe placă în punctele unde se găseau sărurile de uraniu.

La 27 februarie 1896, Becquerel a fost nevoit să-și întrerupă experimentele pentru câteva zile. În acest timp o bucată de mineral neiradiat s-a aflat pe o placă fotografică într-o cameră întunecoasă. După dezvoltarea plăcii fotografice s-a obținut un rezultat imprevizibil: placa s-a înnegrit exact la fel în punctele unde existau săruri de uraniu. Experimentele ulterioare au arătat că această capacitate a sărurilor de uraniu de a înnegri placa fotografică nu scade cu timpul și nu este legată nicidecum de iradierea în prealabil a mineralului. Era clar că însăși sarea de uraniu este sursa unor raze invizibile care se emit spontan și înnegresc placa fotografică.

După un timp Mary Sklodowska-Curie, cercetând diferite substanțe, a descoperit că compușii toriului, ca și ai uraniului, emit spontan anumite raze invizibile care înnegresc placa fotografică. Această proprietate a atomilor de a emite spontan, fără influență din afară, raze invizibile care acționează asupra plăcii fotografice, a fost numită r a d i o a c t i v i t a t e, iar atomii respectivi – r a d i o a c t i v i.

Continuând experimentele sale, Mary Sklodowska-Curie a descoperit un fenomen ciudat: unele săruri de uraniu produceau o înnegrire mai accentuată a plăcii fotografice decât sărurile pure ale uraniului sau uraniul pur. Ea a presupus că aceste minerale conțin un adaos neînsemnat dintr-un element necunoscut, care are o radioactivitate mult mai mare decât uraniul. Mary Sklodowska-Curie, împreună cu soțul său, Pierre Curie, s-au ocupat de izolarea acestui element din minereurile naturale de uraniu. Efectuând o muncă foarte grea, ei au obținut niște combinații de bismut și bariu care aveau o radiație foarte intensă. Elementul radioactiv conținut în compușii bismutului a fost numit p o l o n i u, iar elementul conținut în compușii bariului a fost numit r a d i u. Aceste două elemente, care erau de

natură chimică diferită, nu au fost separate sub formă pură și existența lor era dovedită numai de radiația lor.

Pentru demonstrarea definitivă a existenței poloniului și radiului era necesar ca ele să fie separate în cantitățile necesare pentru stabilirea proprietăților lor fizice și chimice. Prelucrând tone de minereu de uraniu, Mary Sklodowska-Curie a separat 0,5 g de clorură de radiu. Din sarea de radiu ea a obținut radiu pur, un metal moale, alb-argintiu, asemănător bariului prin proprietățile sale. Cercetările au arătat că intensitatea radiației emise de radiu este de milioane de ori mai mare decât cea a uraniului.

Natura radiațiilor radioactive

Cercetările au arătat că radiația radioactivă este complexă. Dacă preparatul de radiu este închis într-o cutie de plumb ce are o deschizătură și această cutie este așezată între două plăci încărcate cu sarcini de semn contrar (fig. 15), radiația care iese prin deschizătură se împarte în trei fascicule: radiațiile deviate către placa pozitivă s-au numit particule β , radiațiile deviate către placa negativă s-au numit particule α , iar razele care nu suferă nici o deviație s-au numit raze γ . Prin urmare, particulele α poartă sarcină pozitivă, particulele β – sarcină negativă, iar razele γ nu poartă sarcină electrică.

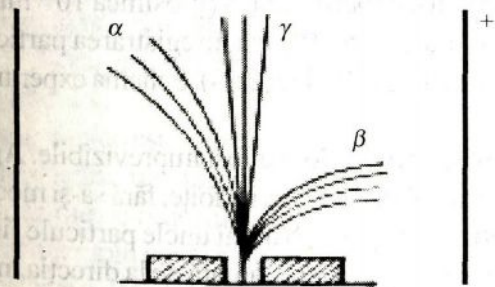


Fig. 15. Schema experimentului de scindare a radiațiilor substanțelor radioactive într-un câmp magnetic.

Tabelul 1

Caracteristicile radiațiilor ionizante

Caracteristici \ Raze	α	β	γ
Sarcina	++	-	0
Masa	4	$1/1840 H^1$	0
Viteza de propagare	20 000 km/s	270 000 km/s	300 000 km/s
Parcursul în aer	20 cm	20 m	100 m
Parcursul în substanță (puterea de penetrare)	0,5 mm	0,5 cm	0,5 m
Densitatea de ionizare	10 000 p/i/mm	10 p/i/mm	1/p/i/mm

Structura atomului

Studiul fenomenelor radioactivității a adus la mai multă claritate în cunoașterea structurii atomului.

În 1904, Thomson a propus primul model de atom; el concepea atomul ca o sferă încărcată pozitiv, în interiorul căreia sunt dispuși în mod simetric electronii. Acest model static de atom nu corespundea însă realității. Experimentele lui Rutherford, efectuate în 1911, au distrus modelul lui Thomson și au servit ca bază pentru crearea modelului nuclear al atomului.

Rutherford a avut scopul să explice modul de distribuție a sarcinilor în atom. Pentru aceasta, el a studiat trecerea unui fascicul de particule α prin foițe foarte subțiri (grosimea 10^{-3} mm) fabricate din diferite substanțe solide. Pentru înregistrarea particulelor α s-a utilizat un ecran de sulfură de zinc (ZnS). Schema experimentului este dată în fig. 16.

Rezultatele experimentelor au fost imprevizibile. Aproape toate particulele α treceau liber prin diferite foițe, fără să-și modifice practic energia și direcția de mișcare. Numai unele particule (în medie 1 la 500 000) sufereau o deviație pronunțată de la direcția inițială; unele dintre ele începeau, după interacțiunea cu foița, să se miște în sens invers și dădeau scintilații pe ecranul situat înaintea foiței.

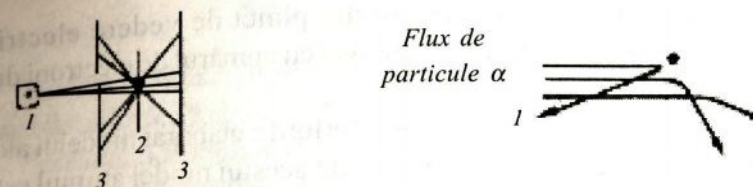


Fig. 16. Schema experimentului lui Rutherford: 1 – sursă de particule α ; 2 – foiețe; 3 – ecrane de ZnS.

În baza acestor date experimentale s-au tras o serie de concluzii foarte importante.

1. Întrucât majoritatea particulelor α treceau prin foiețe fără a-și schimba, practic, energia și direcția de mișcare, rezultă că ele treceau printr-un spațiu fără particule. De aici rezultă că particulele materiale din foiețe se află la distanțe foarte mari una de alta și ocupă în atom doar un volum neînsemnat.

2. Faptul că unele particule α sufereau o deviație pronunțată în urma interacțiunii lor cu foiețe, și că o parte a lor își modificau sensul de mișcare, mișcându-se înapoi, dovedea că ele au fost deviate de partea încărcată pozitiv a atomului, care are o masă relativ mare.

3. Întrucât numărul de particule α care au suferit o deviație pronunțată este relativ mic (1:500 000), rezultă că partea încărcată pozitiv a atomului ocupă un volum neînsemnat.

Partea încărcată pozitiv a atomului, care ocupă un volum neînsemnat și reprezintă aproape toată masa lui, a fost numit nucleu.

Calculul arătat că dimensiunile nucleelor diferitor atomi sunt de ordinul 10^{-13} cm, adică sunt de 100 000 de ori mai mici decât dimensiunile atomilor.

Deoarece în nucleu este concentrată aproape toată masa atomilor ce au dimensiuni neînsemnate, densitatea nucleelor este extraordinar de mare – o mărime de ordinul 10^{15} g/cm³.

Următorul exemplu poate să ne dea o imagine a micimii dimensiunilor nucleelor și a densității lor enorme. Volumul tuturor nucleelor conținute în 1 m³ de apă reprezintă a milioana parte dintr-un milimetru cub, deși greutatea lor este de aproximativ o tonă.

Întrucât atomul este neutru din punct de vedere electric rezultă că numărul atomic (Z) este egal cu numărul de electroni din atom (N).

În urma acestor constatări, Rutherford a elaborat modelul atomic similar sistemului solar. Conform acestui model atomul este compus din două elemente principale: un nucleu central cu sarcină pozitivă și periferia alcătuită dintr-un anumit număr de electroni situați la distanțe mari de "sâmburele" central.

Electronii se mișcă cu viteze foarte mari în jurul nucleului atomic pe orbite circulare. Aceste viteze mari sunt necesare, deoarece, electronii, având sarcini de sens opus, ar putea fi atrași de nucleu.

Concepția lui Rutherford a fost perfecționată în 1913 de către N. Bohr, care a aplicat pentru modelul atomic, concluziile teoriei cuantice ale lui Planck-Einstein.

Distribuția electronilor pe circumferințe a fost înlocuită cu gruparea lor pe nivele energetice. Fiecărui nivel îi aparține un anumit număr de electroni care îl umple sau îl saturează. Electronii unuia și aceluiași nivel se caracterizează printr-o rezervă de energie aproape identică. Deci, ei se găsesc aproximativ pe același nivel energetic. Întregul înveliș electronic al atomului se descompune în nivele energetice, notate prin literele K, L, M...

Electronii fiecărui nivel următor se găsesc pe un nivel energetic mai superior decât electronii din nivelul precedent.

Când un atom primește o anumită cantitate de energie, această energie este captată de un electron orbital, astfel el nu mai poate rămâne pe orbita respectivă, ci se deplasează pe orbita cu energie mai mare, deci cu un număr cuantic mai mare. Așa stare de instabilitate se numește stare de excitație a atomului, care se termină cu reîntoarcerea electronului pe orbita inițială. Trecerea unui electron de pe orbita exterioară pe alta interioară este însoțită de emisia unei cuante de lumină.

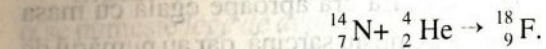
Structura nucleului

Studiul radioactivității a arătat că nucleele nu sunt particule imuabile, simple, ci au o structură complexă.

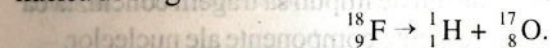
Folosind particulele α ca proiectile, Rutherford a realizat, în 1919, dezintegrarea artificială a nucleului atomului de azot. Aceasta a fost prima reacție nucleară. Când particula α este captată de nucleul de azot, acesta din urmă emite un nucleu de hidrogen ${}^1_1\text{H}$, și se transformă în nucleu de oxigen ${}^{17}_8\text{O}$.

Cercetările ulterioare au arătat că reacția nucleară se petrece în două faze.

a) Mai întâi particula α pătrunde în nucleul de azot, ceea ce duce la formarea unui nucleu intermediar nestabil de fluor:



b) Acest nucleu intermediar, compus, se descompune aproape instantaneu, emițând un nucleu de hidrogen și transformându-se într-un nucleu de oxigen:



Dezintegrarea nucleelor și alte procese elementare pot fi observate cu ajutorul camerei Wilson sau a plăcilor fotografice – se pot vedea urmele diferitelor particule încărcate.

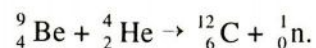
Ulterior s-au descoperit reacții nucleare analoge pentru o serie de alte elemente (F, Și, S, K etc.). Toate aceste reacții sunt însoțite de emiteria nucleelor de hidrogen. De aici s-a tras concluzia că nucleele de hidrogen intră în componența nucleelor mai complicate. Nucleul de hidrogen, fiind cel mai simplu, a fost numit proton. Astfel s-a emis ipoteza că protonii sunt elemente componente ale tuturor nucleelor.

Este ușor de înțeles că toate nucleele nu pot fi compuse numai din protoni, întrucât în acest caz ele ar avea numere atomice egale cu numerele lor de masă A .

Studiile experimentale precum și considerentele teoretice au arătat că în nucleu nu pot exista electroni. Cercetările ulterioare

făcute asupra transformărilor artificiale ale nucleelor sub acțiunea particulelor α , au adus la descoperirea unei noi particule – neutronul.

În anul 1930, Irene Joliot-Curie și Frederic Joliot-Curie au descoperit că la bombardarea beriliului cu particule α ia naștere o radiație extraordinar de penetrantă, care nu era deviată de câmpurile electrice și magnetice:



Aceste raze “berilice” treceau printr-un strat de plumb de câțiva metri grosime.

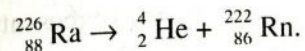
În 1932, Chadwick, studiind interacțiunea acestei radiații cu nuclele de mase diferite, a arătat că ea reprezintă un flux de particule neutre și a măsurat masa acestor particule. Ea era aproape egală cu masa protonului. Astfel de particule, care nu au sarcină, dar au numărul de masă 1, au fost numite – n e u t r o n i, cu notația ${}^1_0\text{n}$.

Toate reacțiile nucleare care au loc cu emisie de neutroni, precum și reacțiile produse de neutroni ne impun să tragem concluzia că neutronii, ca și protonii, sunt elemente componente ale nucleelor.

Nucleele atomilor sunt extraordinar de stabile. Pentru a produce dezagregarea nucleelor trebuie să se cheltuiască o energie foarte mare. Aceasta arată că între protonii și neutronii din nucleu acționează forțe de atracție reciprocă foarte mari. Experimentele arată că aceste forțe acționează numai la distanțe foarte mici, comparabile cu dimensiunile particulelor nucleare, adică între protoni sau între neutroni, cât și între protoni și neutroni. Ele se deosebesc după natura lor de forțele electrice și se numesc forțe nucleare. Forțele de interacțiune dintre neutroni și protoni sunt mai mari decât forțele de interacțiune între particulele nucleare de același fel (protoni și protoni, neutroni și neutroni) și de aceea, dintre nucleele ușoare cele mai stabile sunt acele nuclece care conțin cel mai mare număr de perechi de protoni și neutroni, adică un număr aproape egal de protoni și neutroni. Dacă nucleele conțin prea mulți protoni sau neutroni, ele nu sunt stabile și se dezintegrează.

Dezintegrarea radioactivă naturală a nucleelor

Dacă radiul este închis ermetic într-un vas peste un timp se formează două substanțe gazoase: heliul și o nouă substanță radioactivă numită emanație de radiu sau radon. Această transformare poate fi notată în modul următor:

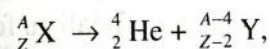


Astfel s-a dovedit că radiul se transformă în mod spontan și neîntrerupt în radon și heliu.

Atomii de uraniu, toriu, poloniu emit, de asemenea, particule și se transformă în alte nuclece.

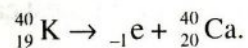
Legea după care se modifică nucleele radioactive prin dezintegrarea α se numește *lege de deplasare*.

La dezintegrarea α , din nucleul primar se formează un nou nucleu cu numărul de masă cu 4 unități mai mic și numărul atomic cu 2 unități mai mic decât al nucleului primar. Dezintegrarea α se scrie în mod simbolic în felul următor:

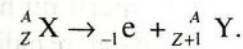


unde X indică nucleul inițial, Y – nucleul format, A – numărul de masă, iar Z – numărul atomic.

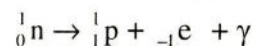
În afară de nucleele α -active, adică nucleele care emit particule α , mai există nuclece β -radioactive care emit particule β . Și în acest caz, nucleele inițiale se transformă în nuclece ale altor elemente:



La dezintegrarea β se formează, de asemenea, un nucleu nou, cu același număr de masă, dar cu numărul atomic cu o unitate mai mare decât al nucleului inițial. Dezintegrarea se scrie în mod simbolic în felul următor:



Numărul atomic se mărește cu o unitate din cauza că:



un neutron al nucleului inițial se transformă în proton emanând un electron.

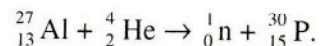
Dacă, ca rezultat al unei dezintegrări β se formează un nucleu excitat, adică un nucleu cu energie în exces, atunci acest nucleu, ca și atomul, trece într-o stare normală, emițând energia de excitare sub formă de fotoni. Acești fotoni emiși de nucleele excitate se numesc cuante γ , iar un flux de astfel de cuante se numește radiație γ .

Două nuclee care au aceleași sarcină Z și masă A , și care se găsesc în stare energetică excitată mai mult de 10^{-9} secunde, se numesc *izomeri*.

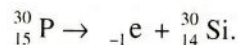
În 1934, Frederic Joliot-Curie și Irene Joliot-Curie au făcut o descoperire foarte importantă: ei au obținut pentru prima oară pe cale artificială izotopi radioactivi ai elementelor, care se întâlnesc în natură sub formă de izotopi stabili. Astfel de izotopi s-au numit *izotopi radioactivi artificiali*.

Primii izotopi radioactivi artificiali au fost obținuți prin bombardarea elementelor bor, magneziu, aluminiu cu particule α . La bombardarea aluminiului se emit neutroni și se obține un izotop care emite pozitroni. În 1932, Anderson, studiind radiația cosmică, a descoperit o nouă particulă elementară, având masa egală cu masa electronului, dar cu sarcina de semn opus. Această particulă a primit numele de *pozitron*.

Reacția nucleară care are loc în acest caz se poate nota în felul următor:

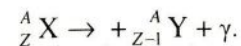


Izotopul ${}_{15}^{30}\text{P}$ este nestabil și dezintegrează, emițând un pozitron:



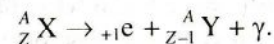
Soții Joliot-Curie au descoperit nu numai radioactivitatea artificială, ci și un nou fel de dezintegrare radioactivă – dezintegrarea

pozitronică – care nu se întâlnește la elementele radioactive naturale. La dezintegrarea pozitronică, din nucleul primar se formează un alt nucleu, cu același număr de masă, dar cu numărul atomic cu o unitate mai mic decât al nucleului primar. Dezintegrarea pozitronică se notează simbolic în felul următor:



În acest caz, ca și în cazul altor feluri de dezintegrare, nucleul format poate să se găsească în stare excitată și să radieze energia în exces sub formă de cuante γ .

Există încă un fel de transformare a nucleelor, așa-numita *captare – K*. În acest proces nucleul captează un electron de pe unul din învelișurile electronice ale atomilor, cel mai des de pe învelișul K , și se transformă într-un alt nucleu, cu același număr de masă, dar cu numărul atomic cu o unitate mai mic. O astfel de transformare se poate nota simbolic:



Deoarece prin captarea K se înlătură electroni de pe învelișurile atomilor, acest proces este însoțit totdeauna de radiația Roentgen caracteristică.

Principiile de bază și metodele diagnosticului clinic cu radionuclizi

Uriașele progrese pe care tehnica modernă le-a obținut în ceea ce privește folosirea în scopuri pașnice a energiei nucleare se manifestă din plin prin aplicarea în biologie și în medicină a metodelor de studiu și explorare a proceselor metabolice cu ajutorul izotopilor radioactivi. Primii pași în această direcție au fost făcuți de biologul rus London (1904), chimistul ungar Hevesi (1913) și medicul englez Hamilton (1939).

Metodele investigațiilor cu radionuclizi se bazează pe proprietățile

chimice și biologice ale elementelor radioactive de a se acumula selectiv, în unele țesuturi, precum și pe proprietățile lor fizice de a emana raze ionizante în mediul ambiant. Acest fapt ne oferă posibilitatea de a urmări circulația elementelor radioactive nu numai în mediul înconjurător, ci și în obiectele biologice, cu ajutorul dispozitivelor speciale de înregistrare a acestor raze.

Metode de obținere a preparatelor radiofarmaceutice

Elementul de bază al fiecărui preparat radiofarmaceutic (PRF) îl reprezintă un radionuclid. Prin termenul *nuclid* se subînțelege un grup de nuclee cu o structură determinată. Nuclizii se deosebesc unul de altul prin greutatea atomică și numărul de ordine sau sarcină.

În prezent, majoritatea radionuclizilor folosiți în diagnosticul clinic se obțin pe cale artificială, și anume, în reactorul nuclear ciclotron și în generatorul-radionuclid.

În reactorul nuclear radionuclizii pot fi obținuți pe două căi. Prima cale constă în bombardarea nucleelor atomilor stabili cu neutroni. În funcție de scop pot fi folosiți neutroni lenți sau rapizi.

A doua cale, care e folosită mai des, prevede obținerea radionuclizilor în urma reacției de finisare a nucleului de ^{235}U sau ^{239}Pu sub acțiunea neutronilor. În așa fel pot fi obținute următoarele elemente: ^{137}Cr , ^{90}Sr , ^{131}I , ^{132}I , ^{133}Xe .

În ciclotron radionuclizii se obțin în urma bombardării nucleelor atomilor stabili cu particule încărcate (protoni, deutroni, ioni ș.a.).

Generatoarele sunt folosite ca sursă secundară de obținere a radionuclizilor cu o viață de scurtă durată cum sunt: ^{132}I ($T_{1/2} = 2,4$ ore); $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ($T_{1/2} = 6$ ore); $^{113\text{m}}\text{In}$ ($T_{1/2} = 1,74$ ore).

Drept exemplu ne poate servi generatorul de obținere a radionuclidului metastabil $^{99\text{m}}\text{Tc}$.

Elementele principale ale fiecărui generator sunt învelișul de protecție din plumb, coloana de schimb ionic și sistemul de comunicare.

În coloana de schimb ionic se găsește sarea insolubilă de molibden - 99, care în urma dezintegrării nucleului (prin captarea de electroni) se transformă în tehneciu - $^{99\text{m}}\text{Tc}$, mai exact se obțin ioni de pertecnetat

(TcO_4). Ionii de pertecnetat pot participa în reacțiile de schimb cu ionii de clor din clorura de natriu. Această proprietate a ionilor de pertecnetat se află la baza dobândirii lor din generator. La trecerea soluției saline de clorură de natriu prin coloana de schimb ionic în eluant se obține sarea solubilă a pertecnetatului de natriu Na^+ ($^{99\text{m}}\text{TcO}_4$). Periodic procedura se poate repeta. Având în vedere că perioada fizică de înjumătățire a molibdenului e de 6 zile, generatorul poate produce pertecnetat timp de 3 săptămâni.

Unele caracteristici ale preparatelor radiofarmaceutice

Deși se cunosc peste 1100 de izotopi radioactivi (radionuclizi) numai câțiva intră în componența trasorilor radioactivi folosiți în medicină, printre acestea numărându-se ^{197}Hg , ^{203}Hg , ^{131}I , ^{125}I , ^{75}Se , ^{198}Au , ^{32}P , ^{67}Ga , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (metastabil), $^{113\text{m}}\text{In}$, ^{133}Xe . În ultimii ani, pentru trasorii radioactivi ce stau la baza medicinei nucleare s-a adoptat denumirea de preparate radiofarmaceutice (PRF). Preparatele radiofarmaceutice pot fi definite ca fiind substanțe ce conțin izotopi radioactivi și sunt folosite drept agenți de diagnosticare sau agenți terapeutici, fără a exercita acțiunea farmacologică propriu-zisă.

Izotopii radioactivi în procesul de dezintegrare radioactivă pot fi caracterizați de natura și energia radiațiilor emise și de timpul de înjumătățire. În medicina nucleară se utilizează radionuclizii ce emit radiațiile β și γ . Deoarece radiațiile β au o penetrabilitate limitată, ele se folosesc cu succes mai mult în terapie (cu scop diagnostic se întrebunțează numai ^{32}P pentru a diferenția tumorile maligne), în timp ce radiațiile γ , radiații cu penetrabilitate mare, sunt cele mai adecvate în scintigrafie, studiul funcțiilor dinamice și altele.

O constantă caracteristică fiecărui izotop radioactiv este perioada de înjumătățire ($T_{1/2}$ fiz.) ce reprezintă timpul în care radioactivitatea izotopului scade la jumătate față de valoarea inițială. În investigațiile în vivo este important cunoașterea perioadei de înjumătățire biologică, ($T_{1/2}$ bio.) definită ca timpul în care activitatea

trasorului în organism scade la jumătate față de valoarea inițială. Timpul biologic de înjumătățire depinde de acumularea, distribuția, metabolismul și eliminarea PRF.

În scopul stabilirii diagnosticului, alegerea izotopilor radioactivi se efectuează în funcție de următoarele considerente: energia radiației γ emise trebuie să fie adecvată echipamentului de detecție sau măsurare. În general, sunt utilizate energii γ de 150–200 kV. Pe de altă parte, doza de radiații administrată pacientului trebuie să fie cât mai redusă. Este de asemenea de dorit ca, la sfârșitul investigației, doza de radiații datorită radioactivității reziduale din organism să scadă foarte mult. În acest scop sunt folosiți cu succes izotopi radioactivi cu viață scurtă, care au și avantajul că permit efectuarea de teste seriate la intervale scurte de timp.

S-a constatat că o serie de radionuclizi prezintă o afinitate selectivă pentru un organ particular (de exemplu, iodul pentru tiroidă). Uneori pentru investigare este suficient să se administreze pacientului nuclidul sub forma radioelementului, în timp ce în alte cazuri se utilizează tropismul unei molecule particulare pentru a concentra radionuclidul în organul studiat.

Molecule marcate se obțin prin substituția unui atom stabil din moleculă atât cu izotopul radioactiv corespunzător, cât și cu izotopi radioactivi ce aparțin altei grupe chimice. Folosirea unui izotop pentru substituirea altor izotopi ai aceluiași element este posibilă datorită faptului că toți nuclizii aceluiași element au proprietăți chimice identice. Un exemplu de substituție cu o altă grupă de izotopi îl constituie înlocuirea sulfurii inactiv dintr-o serie de molecule naturale, ca metionina, prin seleniu radioactiv.

Introducerea în medicina nucleară a radioizotopilor cu viață scurtă a necesitat elaborarea unei noi tehnici de marcarea rapidă a moleculelor. Această tehnică este bazată pe reacția ce are loc în timpul investigației dintre materialele prime, obținute în generatoare speciale, și reactivii prezentați sub formă de truse, kituri.

Produsele radiofarmaceutice, pentru a fi utilizate cu succes trebuie să satisfacă o serie de condiții:

– să fie pure, adică să nu conțină alți izotopi radioactivi sau radionuclidul într-o altă formă chimică;

– să prezinte stabilitate, deci izotopul radioactiv să rămână fixat în moleculă pentru a se putea urmări circulația sau acumularea sa în organism;

– izotopul radioactiv, cu care este marcat PRF, să fie ușor identificabil prin detectarea radiațiilor pe care le emite.

Cantitatea de trasor sau de compus marcat administrată trebuie să fie minimă, pentru a evita efecte biologice sau de iradiere nedorite.

De asemenea, se cere ca radiofarmaceuticul să fie eliminat rapid și complet după terminarea testului reducându-se astfel doza de iradiere a pacientului.

Radiofarmaceuticele tipice pentru diagnostic sunt prezentate în tabelul nr. 2.

Unitatea de medicină nucleară

Toate lucrările cu PRF necesită condiții speciale. Încăperile, unde se efectuează aceste lucrări, sunt înzestrate cu aparate și dispozitive speciale pentru protecția personalului și a pacienților de razele ionizante, precum și pentru a preîntâmpina poluarea cu izotopi radioactivi a mediului înconjurător.

Unitatea de medicină nucleară sau laboratorul cu radionuclizi constă din:

- camera de păstrare a PRF – depozit;
- camera de pregătire și preambulare a PRF;
- camera de obținere a radionuclizilor cu viață scurtă din generator;
- camera de spălat instrumentele poluate de PRF;
- sala de proceduri;
- cabinet – radiometrie;
- cabinet – gamatopografie;
- cabinet pentru diagnosticul in vitro;

Tabelul 2

PRF folosite în studiile in vivo ale proceselor anatomice și fiziologice

<i>Organul sau procesul studiat</i>	<i>Radiofarmaceuticul</i>
<i>Sângele și lichidul interstițial</i> – Volumul celulelor roșii și timpul lor de viață – Volumul plasmatic	^{51}Cr Albumina ^{131}I ; Albumina $^{99\text{m}}\text{Tc}$
<i>Studii de perfuzie sanguină</i>	Albumina $^{99\text{m}}\text{Tc}$; Transferin $^{113\text{m}}\text{In}$, ^{133}Xe -gaz
<i>Anatomia și fiziologia osoasă</i>	Polifosfați și fosfați marcați cu $^{99\text{m}}\text{Tc}$
<i>Creierul și lichidul cefalorahidian</i> – Scintigrafia creierului – Cisternografia	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ DTRA – $^{99\text{m}}\text{Tc}$
<i>Anatomia și fiziologia ficatului</i> – Activitatea reticuloendotelială – Excreția biliară	Coloizi ai $^{99\text{m}}\text{Tc}$, $^{113\text{m}}\text{In}$, ^{198}Au Roz bengal cu ^{131}I ; Mezida $^{99\text{m}}\text{Tc}$; Hida $^{99\text{m}}\text{Tc}$
<i>Anatomia și fiziologia pulmonului</i> – Perfuzie sanguină regională – Ventilație regională	Macroagregate cu ^{131}I ; $^{113\text{m}}\text{In}$; $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ^{133}Xe -gaz
<i>Anatomia și fiziologia rinichiului</i> <i>Funcția și scintigrafia tiroidei</i>	Iodohipuran cu ^{131}I și ^{123}I Pentateh – $^{99\text{m}}\text{Tc}$; DTRA – $^{99\text{m}}\text{Tc}$ Promeran ^{197}Hg Iodură cu ^{131}I ; $^{99\text{m}}\text{Tc}$

– filtru sanitar pentru personalul laboratorului, înzestrat cu duș și dispozitive de înregistrare a nivelului de poluare a tegumentelor, îmbrăcămintei și încălțămintei cu substanțe radioactive.

Bazele tehnice

Ionizarea și excitarea atomilor sau moleculelor mediului ambiant sunt fenomenele fizice care stau la baza metodelor de înregistrare a nuclizilor radioactivi.

În funcție de mediul în care se produce ionizarea sau excitarea, dispozitivele de detecție sunt de trei tipuri: detectoare solide, lichide și cu gaze.

Dispozitivele de detecție cu gaze (camera de ionizare și contoarele Geiger-Muller), utilizate mai ales în dozimetrie, în prezent

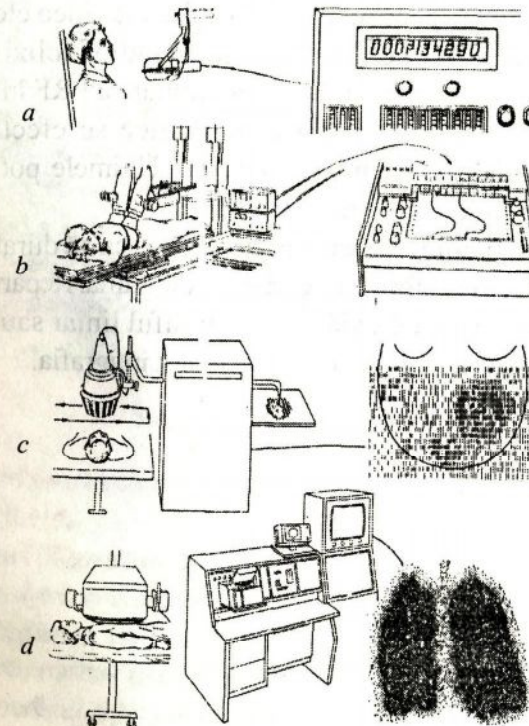


Fig. 17. Metode specifice de înregistrare în diagnosticul radionuclid: *a* – în formă de cifre – gamahronometria; *b* – în formă de curbe – gamahronografia; *c* – gamatopografia: în striuri (scanograma); *d* – în formă de scintilații (scintigrafia).

au aplicabilitate redusă, deoarece în medicina nucleară acest tip de detectoare a fost înlocuit cu detectoare cu cristal de scintilație și cu lichid de scintilație.

Detectorul cu cristal de scintilație este utilizat pentru detecția energiei fotonice. Componentele de bază ale acestui detector sunt: cristalul scintilator, tubul fotomultiplicator și sistemul de amplificare și prelucrare a impulsului.

Pentru înregistrarea semnalului există mai multe posibilități. Dacă se efectuează studii cantitative impulsurile vor fi înregistrate de un contor, iar dacă se întreprind studii de distribuție spațială înregistrările se fac pe film, hârtie foto, bandă video etc. (fig. 17).

Metoda de bază a diagnosticului cu radionuclizi este radiometria. Determinarea nivelului de acumulare a PRF în organe sau conținutul traserului în probele biologice se efectuează prin intermediul radiometriei în formă de cifre. Ultimele pot avea valori absolute (impulsuri/min) sau relative (%).

Procesele fiziologice, cu o perioadă de scurtă durată sunt examinate radiometric în formă de curbe – radiografia. Repartiția spațială a PRF în organe e analizată cu scintigraful liniar sau camera de scintilație numită respectiv scanografia și scintigrafia.

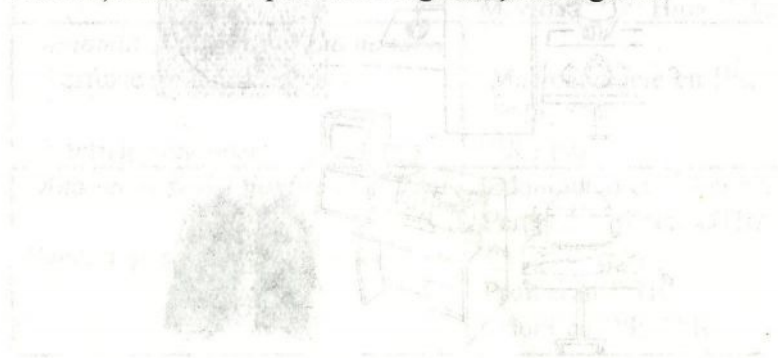


Fig. 17. Schema de principiu a scintigrafiei liniare. 1 - pacientul; 2 - colimator; 3 - cristal scintilator; 4 - tub fotomultiplicator; 5 - sistem de prelucrare a impulsului.