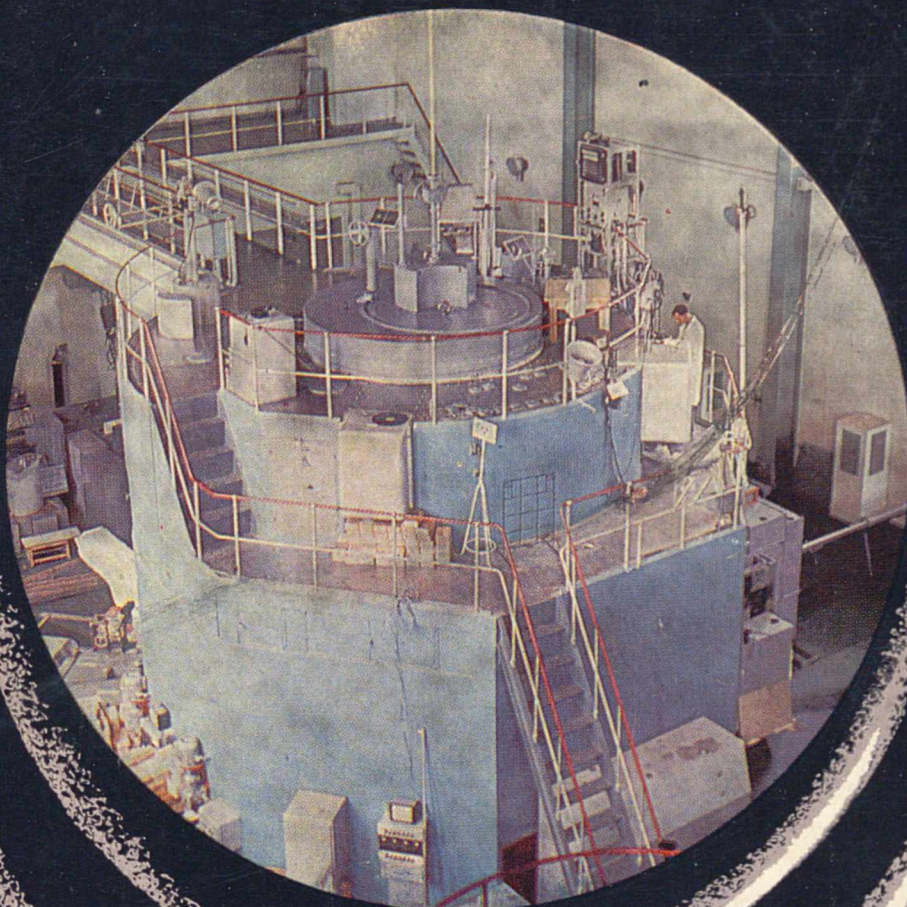


INSTITUTUL DE FIZICĂ ATOMICĂ AL ACADEMIEI R.P.R.



**TEHNICA NUCLEARĂ
ÎN SPRIJINUL PRODUCȚIEI**

TEHNICA NUCLEARĂ ÎN SPRIJINUL PRODUCȚIEI

UNELE REALIZĂRI ALE INSTITUTULUI
DE FIZICĂ ATOMICĂ AL ACADEMIEI R.P.R.

EDITURA ACADEMIEI REPUBLICII POPULARE ROMÎNE

1963

Volumul apare sub îngrijirea acad. prof.
HORIA HULUBEI, *prof.* FLORIN CIORĂSCU, *ing.*
PAUL DRĂGHICESCU, *ing.* LICINIU-IOAN CIPLEA,
chim. TIBERIU BRAUN, *ing.* IULIAN LEIBOVICI.

P R E F A Ț Ă

Această lucrare elaborată de specialiști din Institutul de fizică atomică al Academiei R.P.R., se adresează unui număr mare de ingineri și tehnicieni din toate ramurile industriei și din agricultură. Ea țintește să facă cunoscute mai bine domeniile de folosire, limitele de aplicabilitate și avantajele unui șir de metode specifice pentru analiza, măsurarea și controlul parametrilor caracteristici ai proceselor tehnologice. Este vorba de aplicații contemporane ale fizicii, chimiei și tehnicii nucleare, însușite și dezvoltate de personalul acestui institut și aduse pînă la stadiul și în forma sub care pot fi folosite în condiții de exploatare industrială sau agricolă, precum și în cercetarea tehnică.

Așa cum este normal, cele mai multe dintre capitole sînt consacrate aplicațiilor izotopilor și radiațiilor nucleare, care, dacă lăsăm de o parte reactoarele atomice energetice, mai ales că acestea se află astăzi încă în faza semiindustrială, reprezintă pînă acum cea mai importantă cucerire practică definitivă a nucleonicii. Sînt prezentate mijloacele tehnice necesare punerii în valoare a aplicațiilor izotopilor radioactivi, realizate în laboratoarele și atelierele institutului. Unele dintre metodele și aparatele descrise au fost îndelung utilizate în producție, o bună parte dintre ele suferind perfecționări repetate, cerute fie de confruntarea lor cu practica curentă, fie de progresul științific și tehnic

care în acest domeniu evoluează foarte repede. De fiecare dată s-a căutat însă să se pună în evidență și alte posibilități ale acestor aplicații, încă nefolosite la noi sau folosite într-o măsură care nu reflectă complet avantajele lor tehnice și economice.

Există și unele capitole care se preocupă de alte aplicații, a căror tehnică a fost pusă inițial la punct pentru nevoile tematicii de cercetare a institutului. Cititorul va observa că intră în această categorie metodele radiospectroscopiei electronice, ale microscopiei electronice, ale spectroscopiei de masă și tehnica obținerii și măsurării presiunilor foarte joase, care de curînd au început să pătrundă și în industrie. În sfîrșit, un capitol se ocupă de utilizarea în economia națională a mașinilor electronice de calcul și de extinderea calculului automat la probleme noi ale producției.

Materialul prezentat reflectă numai parțial activitatea multilaterală a Institutului de fizică atomică, referindu-se în special la aplicații oarecum consacrate.

Modul de tratare a întregului material îmbracă caracterul de informare tehnică largă, însă cu unele concretizări de detaliu, pentru a se putea scoate mai bine în evidență elementele specifice și de valoare ale fiecărei categorii de aplicații.

Avînd un conținut variat și prezentat într-o formă pe care autorii au căutat s-o facă cît mai ușor de urmărit, lucrarea are doar intenția de a semnală celor interesați că institutele noastre de cercetări au ajuns astăzi într-un stadiu în care pot fi de folos producției într-un mod mai multilateral decît se crede îndeobște și că ele stăpînesc tehnici noi despre a căror aplicabilitate industrială abia a început să se vorbească. Totodată trebuie desprins că fără un interes marcat din partea producției pentru aceste aplicații noi, institutele nu pot persevera în mod economic pe calea pregătirii și perfecționării tehnicilor respective, a căror însușire și răspîndire privește întreprinderile industriale în aceeași măsură ca și institutele de cercetări.

Urmînd hotărîrile Congresului al III-lea al P.M.R., eforturile tuturor specialiștilor din țara noastră se concentrează din ce în ce mai puternic spre rezolvarea problemelor creșterii calității

*produselor. Aceasta implică de cele mai multe ori extinderea și perfecționarea mijloacelor de control asupra modului de desfășurare în detaliu a proceselor de producție. Știința oferă azi din ce în ce mai multe și mai variate căi de soluționare a acestui dezi-
derat. Printre ele, cele cuprinse în lucrarea de față și-au dovedit pe deplin eficiența. Aș îndrăzni să sper că fiecare cititor va putea găsi cel puțin o posibilitate de folosire a acestor aplicații în domeniul său propriu de activitate.*

Harahulube

§ 1. FIZICA ȘI INDUSTRIA

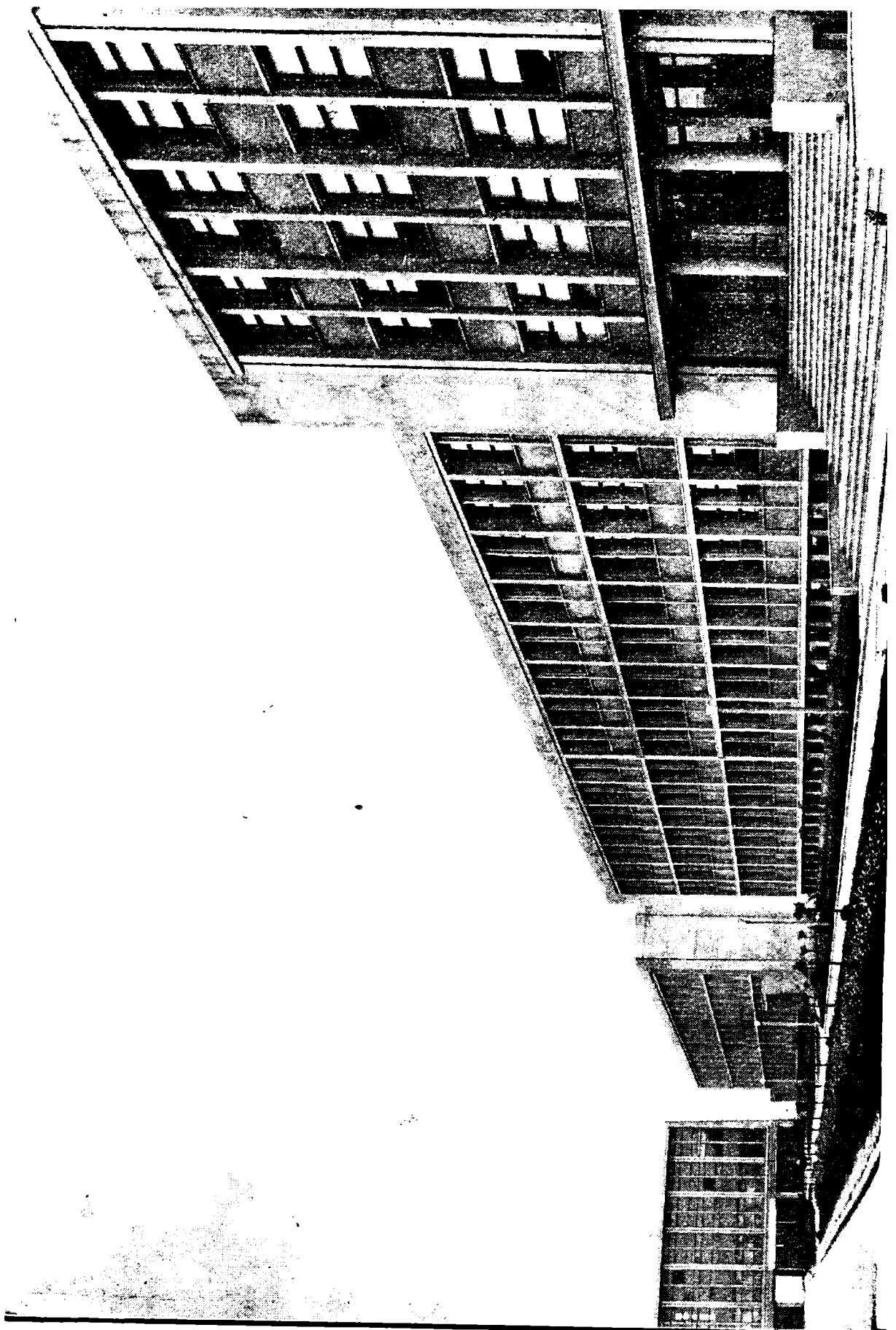
FLORIN CIORĂSCU

Director adjunct științific al Institutului de fizică atomică

Legătura între știință și viață, între teorie și practică, constituie o premisă principală ideologică a dezvoltării științei în condițiile orînduirii socialiste. Ea este formulată în lumina sarcinilor actualului nostru plan șesenal prin binecunoscuta directivă a Congresului al III-lea al P.M.R., care ghidează azi activitatea oamenilor noștri de știință: „Cercetarea științifică este chemată să dea o contribuție importantă la introducerea tehnicii noi și la soluționarea problemelor tehnice-economice pe care le ridică dezvoltarea economiei naționale” *).

De aceea, toate organizațiile de cercetare din țara noastră pun în fruntea criteriilor generale care determină alegerea planurilor lor tematice anuale pe acela al proporției juste între cercetările de bază și cele cu caracter aplicativ. Rolul conducător al celor dintîi a devenit în ultima vreme evident pentru oricine acordă atenție progresului tehnico-științific; ele deschid drumuri noi spre cunoașterea tot mai adîncă a naturii, devenind totodată izvoarele celor mai importante descoperiri și invenții tehnice, care influențează apoi direcțiile de dezvoltare a cercetărilor aplicative. La rîndul lor, acestea din urmă au ca scop să asigure economiei însușirea tehnicii contemporane caracterizată în perioada actuală prin ritmul nemaiîntîlnit cu care se dezvoltă și se înnoiește continuu, ritm determinat de micșorarea mereu mai accentuată a distanței între realizările științei și introducerea lor în practică. În același timp, rezultatele cercetărilor aplicative oferă mereu mijloace mai perfecționate

*) *Directivale Congresului al III-lea al P.M.R., cu privire la planul de dezvoltare a economiei naționale pe anii 1960 — 1965 și la schița planului economic de perspectivă pe 15 ani.* Ed. politică, București, 1960, p. 49.



de investigație pentru cercetările de bază, pun adesea acestora probleme noi și câteodată le deschid chiar direcții de studiu neașteptate.

Aceste aspecte sînt caracteristice în epoca noastră pentru tematica tuturor științelor naturii ca și pentru matematică. În particular, pentru multe capitole ale fizicii se poate spune chiar că limitele care despărțeau altădată cele două categorii de cercetări s-au estompat azi într-atît încît pot fi considerate dispărute. Mecanismul de legătură reciprocă între știință și practică, la care ne-am referit, a început să joace în cazul fizicii un rol hotărîtor în alegerea direcțiilor principale ale cercetării științifice. Așa se explică de ce sarcinile puse în fața fizicienilor sovietici de Congresul al XXII-lea al P.C.U.S. au fost formulate prin aplicațiile la care cercetările respective trebuie să conducă.

De altfel, din ce în ce mai des se afirmă* că din categoria problemelor de importanță principială pentru știința fizicii face parte tematica legată de studiul nucleului atomic în general și al particulelor elementare în special. Scopul acestor cercetări este să stabilească legile care guvernează ceea ce se consideră acum ca fiind elementele constitutive ale structurii substanței și poate chiar ale spațiului și ale timpului. Aceste cercetări vor influența, probabil, unele concepții fundamentale ale fizicii de astăzi.

Aceasta nu înseamnă că în celelalte ramuri ale fizicii nu mai pot fi întreprinse cercetări științifice cu importante consecințe teoretice, însă cunoștințele noastre în aceste domenii sînt astăzi atît de avansate încît ar fi destul de greu să ne închipuim că aceste cercetări vor conduce la descoperiri care să ne oblige să revizuiem bazele fizicii moderne. Întră în această categorie sectoare adînc investigate astăzi, printre care fizica semiconductorilor, fizica reactoarelor nucleare, un domeniu nou care poartă numele de radiofizică cuantică, fizica presiunilor foarte înalte, spectroscopia, fizica plasmei etc., multe dintre ele bazate pe descoperirea recentă a unor fenomene noi.

În aceste cazuri, mai este nevoie încă de investigarea aspectelor teoretice înainte ca fenomenele respective să poată fi considerate ca fiind complet stăpînite, însă ceea ce le întreține în starea actuală de efervescentă este interesul practic care

*) Vezi L. A. Arțimovici, *Uspehi Fiziceskih Nauk*, **76**. 1. 3 (1962).

constituie de fapt stimulentele determinant pentru aproape fiecare temă de cercetare.

Într-adevăr, desăvîrșirea cunoștințelor noastre asupra semiconductorilor, de exemplu, ne va oferi, printre altele, mijloace de transformare directă cu randament ridicat a energiei termice în energie electrică și va permite extinderea posibilităților tehnicii electronice. Progresul reactoarelor nucleare trebuie să ne pună la dispoziție o nouă sursă de energie primară, cel puțin la fel de ieftină ca a combustibililor clasici ; fenomenele care se studiază în fizica plasmei ne vor conduce la rezolvarea definitivă a problemei resurselor de energie, radiofizica cuantică ne propune mijloace noi de telecomunicații la distanțe cosmice etc. Aceste speranțe sînt de pe acum fondate pe rezultate, desigur parțiale, dar extrem de încurajatoare.

Cele de mai sus fac ca, în majoritatea ramurilor fizicii, cercetările teoretice și aplicative să evolueze simultan, să se condiționeze și să se stimuleze reciproc iar fizicienii și inginerii să fie antrenați în aceeași măsură la desfășurarea lor.



Fizica a fost și este încă știința antemergătoare pentru toate celelalte discipline de studiu al naturii. Ea formează baza concepției noastre materialiste despre lume. Din cele spuse mai înainte a rezultat însă că fizica este de asemenea sursa și temeiul unei serii întregi de noi ramuri ale tehnicii care au un rol de bază în determinarea nivelului și ritmului de dezvoltare a forțelor de producție. Acest dublu caracter trebuie să-i asigure o dezvoltare vertiginoasă în toate țările care construiesc socialismul și comunismul. De aceea, în Uniunea Sovietică nu există ramură a fizicii al cărui studiu să fie neglijat iar pentru asigurarea bazei materiale corespunzătoare și a personalului de cercetare cu nivel înalt de pregătire există o grijă deosebită. Aici mai mult decît oriunde, fizica s-a situat în fruntea disciplinelor care au aplicații dintre cele mai importante și care aduc contribuții ce uimesc întreaga lume. Ritmul rapid de acumulare a rezultatelor obținute se datorește pe de o parte caracterului colectiv pe care îl au cercetările științifice iar pe de altă parte puterilor mijloace materiale ce stau azi la dispoziția oamenilor de știință. Existența echipelor mari și complexe de cercetători afectați unei anumite probleme și dotarea lor cu utilajul cel mai modern permite ca orice idee nouă să poată fi supusă imediat unei analize multilaterale pentru a i se sesiza toate nuanțele și subtilitățile, să-i fie controlate apoi experimental consecin-

tele de ordin științific și încercate la scara laboratorului toate aplicațiile posibile. Valorificarea la scara industrială a aplicațiilor ce se arată a fi elemente folositoare tehnicii noi reprezintă în cele din urmă încoronarea cercetărilor respective și în mare parte sensul însuși al acestora.

Stadiul remarcabil la care se găsește astăzi această știință în Uniunea Sovietică a făcut ca la Congresul al XXII-lea al P. C. U. S. să se atribuie fizicienilor sovietici sarcini nu numai de o importanță covârșitoare, dar și de o mare complexitate, pline de dificultăți care pot părea altora de netrecut într-un timp scurt.

Pentru celelalte țări socialiste în general și pentru țara noastră în special, dezvoltarea cercetărilor de fizică îmbracă însă aspecte puțin deosebite, hotărâte în primul rînd de posibilitățile lor materiale și de cadre, evident mai restrînse decît ale Uniunii Sovietice.

De aceea o țară ca a noastră are a discerne cu îngrijire elementele într-adevăr hotărîtoare din punctul său de vedere pentru alegerea unui domeniu de cercetare sau altul. Avînd în vedere interesul științific și pe cel economic, alături de efortul material care trebuie susținut, perspectivele imediate și mai îndepărtate deschise industriei noastre prin rezolvarea problemelor proprii domeniului supus alegerii, posibilitățile concentrării unui număr relativ ridicat de cadre cu înaltă calificare etc., Partidul și Guvernul nostru analizînd toate aspectele problemei au indicat două ramuri principale ale fizicii moderne în direcția cărora vor trebui îndreptate toate eforturile: fizica nucleară și fizica solidului, în special a semiconductorilor, a căror importanță generală rezultă din cele ce preced.

Condițiile care au fost create institutelor de cercetări respective le-au permis colaboratorilor lor să inițieze și să dezvolte o tematică nouă pentru țara noastră și să obțină rezultate importante. De asemenea, ei au dezvoltat și o serie de aplicații utile industriei.

În cele ce urmează vor fi descrise pe larg o parte a aplicațiilor elaborate la Institutul de fizică atomică și care stau acum la dispoziția industriei.

§ 2. RADIOACTIVITATEA APLICATĂ ÎN INDUSTRIA DIN R.P.R.

PETRE ȘANDRU

În etapa actuală de dezvoltare a științei și tehnicii, aplicațiile radioactivității s-au dovedit de cea mai mare importanță economică, devenind un factor de seamă al tehnicii noi. Metodele bazate pe utilizarea radiațiilor emise de substanțele radioactive s-au răspândit nu numai în laboratoarele de cercetări dar și în secțiile de producție, bucurându-se de apreciere, datorită faptului că sînt precise, sigure, sensibile, ușor adaptabile la gama cea mai variată de condiții din diferite ramuri industriale, precum și pentru că nu necesită investiții importante; pe scurt, pentru că au o mare eficiență tehnico-economică.

Este prin urmare firesc ca, printre sarcinile Institutului de fizică atomică, aplicațiile radioactivității să ocupe un loc important, să reprezinte chiar unul dintre scopurile pentru care a fost creat Institutul. În documentele Congresului al III-lea al Partidului Muncitoresc Român se trasează în această direcție Institutului de fizică atomică sarcini precise, care au însuflețit și au mobilizat pe cercetătorii Institutului.

Introducerea în industria noastră a metodelor bazate pe utilizarea radiațiilor nucleare reprezintă o activitate complexă, care cuprinde prepararea izotopilor radioactivi, elaborarea și producția aparaturii electronice și mecanice necesare, formarea unor grupuri complexe de specialiști documentați atît în problemele radiometrice cît și în cele specifice ramurilor industriale, în care noile metode urmează să fie aplicate. Această muncă presupune nu numai colaborarea între diferite sectoare din cadrul Institutului cît, mai ales, între I.F.A. și întreprinderile industriale interesate. Ca urmare a acestei colaborări au apărut în numeroase ramuri industriale unități nucleare, nuclee ale introducerii tehnicii noi, încadrate cu colective de specialiști de înaltă calificare, totodată entuziaști pionieri ai tehnicii nucleare.



Prin grija permanentă a forurilor de Partid și de Stat au fost create condițiile materiale necesare : construirea, cu ajutorul U.R.S.S., a reactorului nuclear, la care sînt produși izotopii radioactivi, organizarea atelierelor Institutului în vederea producerii în mică serie a aparaturii necesare, construirea laboratoarelor specializate atît în cadrul I.F.A. cît și în cadrul altor unități nucleare, laboratoare dotate cu instalațiile de înaltă tehnicitate specifice etc.

Domeniile de aplicare a radioactivității în industrie sînt extrem de variate, putem spune chiar nelimitate. Călăuzindu-se după indicațiile Partidului, cercetătorii Institutului, în strînsă colaborare cu specialiștii din industria noastră, au abordat cu prioritate acele domenii de aplicație în care eficacitatea economică este mare, datorită importanței economice a sectoarelor industriale respective, cît și faptului că vechile metode de lucru se dovediseră nesatisfăcătoare. Au fost rezolvate cu precădere probleme tehnice, mai ales de măsură și control, imposibil de soluționat pe alte căi decît pe cele oferite de folosirea izotopilor radioactivi. S-a căutat, de asemenea, ca metodele și aparatura pusă la punct pentru o lucrare să fie adaptate la cît mai multe lucrări similare din diferite ramuri industriale cu specific asemănător sau chiar, uneori, sensibil diferit.

În cele ce urmează, vor fi prezentate pe scurt și numai în principiu cîteva din principalele aplicații ale radioactivității în industrie, puse la punct și introduse în practică de Institutul de fizică atomică, în majoritatea cazurilor în colaborare cu întreprinderile industriale de specialitate.

1. Radioactivitatea aplicată în industria petrolieră

Industria prospectării, extracției, transportului și prelucrării petrolului constituie unul dintre primele domenii de aplicare a radioactivității. Primele lucrări în acest domeniu au apărut încă de acum 25 de ani, ceea ce reprezintă, pentru o tehnică atît de tînără ca aceea nucleară, o tradiție relativ veche. Industria noastră petrolieră, cu dezvoltarea luată în anii puterii populare, cu condițiile ei atît de variate de exploatare a zăcămintelor, a constituit un cîmp fertil de introducere a metodelor

← EXPEDIEREA CĂTRE O UNITATE NUCLEARĂ INDUSTRIALĂ
A UNUI CONTAINER CU IZOTOPI RADIOACTIVI PRODUȘI LA
REACTORUL I.F.A.

radiometrice. Astăzi se poate afirma cu mândrie că industria petrolieră din țara noastră se află, sub raportul introducerii noii tehnici a radiațiilor nucleare, înaintea multor țări capitaliste bogate în petrol. Metodele radiometrice au contribuit la precizarea locului zăcămintelor petrolifere, la mărirea producției de țiței, la reactivarea unor sonde părăsite de burghezie ca epuizate, la reducerea cheltuielilor de extracție etc.

A. Diagrafia radioactivă sau carotajul radioactiv

Pentru stabilirea naturii geologice a stratelor străbătute de gaura de sondă și mai ales pentru precizarea existenței și poziției stratelor petrolifere se folosește un complex de metode cunoscute sub numele de diagrafie sau carotaj. Metodele clasice de carotaj cuprind fie scoaterea de probe de rocă de la diverse adâncimi, urmată de analize chimice, fie măsurări electrice. Aceste procedee nu pot fi însă folosite în toate cazurile care se întâlnesc în practică — cum ar fi de exemplu cazul sondelor vechi tubate cu coloană metalică. În foarte multe cazuri, petroliștii trebuie să facă apel la diagrafia radioactivă.

Diagrafia radioactivă este de mai multe tipuri. Primul tip constă în măsurarea radiațiilor gama emise de diferite substanțe radioactive naturale care se găsesc în strate, de unde și numele de „diagrafia gama-naturală”. Conținutul de substanțe radioactive este caracteristic pentru anumite formații geologice ceea ce contribuie la stabilirea naturii stratelor. În afară de diagrafia gama-naturală, care are un caracter mai mult pasiv, se folosesc des și alte tipuri de diagrafie cu caracter activ, în sensul că se introduce în gaura de sondă o sursă de radiații nucleare, gama sau neutroni, și se măsoară „răspunsul” stratelor bombardate cu aceste radiații. Aceste tipuri de diagrafie necesită, desigur, o aparatură mai complexă, dar și informațiile obținute sînt mai bogate.

Cu ajutorul Uniunii Sovietice, care a livrat instalațiile de bază necesare și documentația asupra metodelor de lucru, diagrafia radioactivă a fost introdusă în țara noastră în anul 1955 de către unele întreprinderi ale Ministerului Industriei Petrolului și Chimiei. Avantajele diagrafiei radioactive, ilustrate prin rezultatele obținute, au constituit un îndemn pentru generalizarea și lărgirea acestor metode. La propunerea Ministerului Industriei Petrolului și Chimiei, Întreprinderea de carotaj și perforare din Ploiești a stabilit cu Institutul de fizică atomică o colabo-

rare permanentă și de lungă durată. Printre alte scopuri ale acestei colaborări a figurat și introducerea de noi metode, cât mai perfecționate, de diagrafie radioactivă.

a) Diagrafia neutron-neutron constă în principiu (fig. 2.1) în bombardarea cu neutroni generați de o sursă a stratelor din gaura de sondă și din măsurarea intensității neutronilor înce-

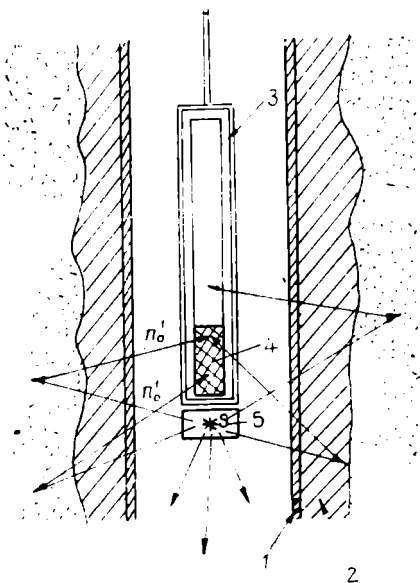


Fig. 2.1. — Principiul diagramei neutron-neutron.

1, coloana metalică a sondei; 2, inel de ciment; 3, electroada de diagrafie; 4, contor pentru detectarea neutronilor lenti; 5, sursa de neutroni.

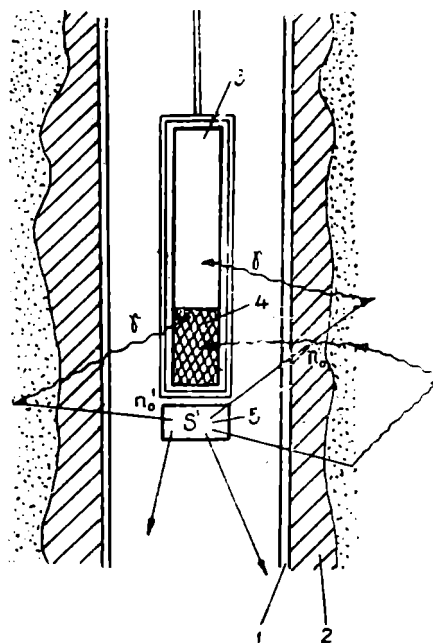


Fig. 2.2. — Principiul diagramei neutron-gama.

1, coloana metalică a sondei; 2, inel de ciment; 3, electroada de diagrafie; 4, detector pentru radiații gama; 5, sursa de neutroni.

tiniți. Neutronii emiși de sursă au energie mare pe care o pierd prin ciocnirea cu nucleele elementelor din strate. Neutronii sînt încetiniți (termizați) foarte repede în stratele cu conținut bogat în hidrogen, deci tocmai în stratele cele mai interesante pentru petroliști, cele cu hidrocarburi și cele cu apă.

Intensitatea neutronilor termici și supratermici dată de relația

$$I_{nT} = \eta_I \eta_{ap} \psi Q_n F(P_{r,n}, P_{n,n}, d, L_n)$$

este proporțională cu intensitatea Q_n a sursei de neutroni și este o funcție $F(P_{r,n}, P_{n,n}, d, L_n)$ de proprietățile neutronice ($P_{r,n}$) ale rocii cercetate, proprietățile neutronice ($P_{n,n}$)

ale noroiului, d diametrul sondei, L_n lungimea dispozitivului neutronic și depinde de spectrul radiației neutronice, determinat de parametrul ψ , dimensiunile detectorului de neutroni caracterizat de coeficientul η_I și valoarea coeficientului de eficacitate al aparaturii η_{ap} .

La Institutul de fizică atomică a fost construită o electrodă de diametru îngust (sub 38 mm fără carcasa de presiune) destinată diagramei neutron-neutron, care conține o sursă de neutroni lenți. Deși condițiile de lucru impuse au fost deosebit de grele, electroda a fost experimentată cu succes atât în laborator cât și în sondele petoliere.

b) Diagrama complexă reprezintă o metodă superioară celor precedente. Cu o singură electrodă se pot executa simultan grupe de înregistrări: gama-natural și neutron-neutron, prezentate mai sus, precum și neutron-gama (fig. 2.2) și gama-gama. Corelarea rezultatelor înregistrărilor simultane furnizează informații precise asupra prezenței în strate a numeroase elemente chimice. O asemenea electrodă (fig. 2.3) a fost realizată și experimentată la I.F.A.

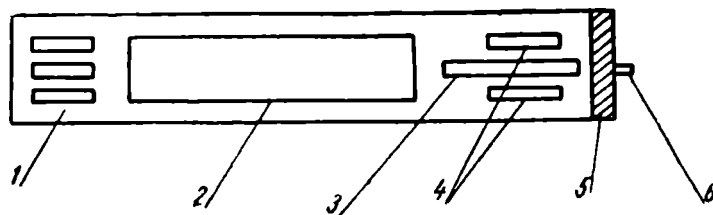


Fig. 2.3. — Secțiune longitudinală prin electroda de diagrafie complexă.

1, contor gama; 2, bloc electronic; 3, contor de neutroni; 4, contor gama; 5, ecran; 6, sursa de neutroni.

c) Diagrama gama spectroscopică constă în înregistrarea radiațiilor gama simultan cu măsurarea energiei lor. Deoarece energia radiațiilor gama emise de o substanță radioactivă este caracteristică substanței respective, rezultă că în felul acesta se execută o adevărată analiză a stratelor din subsol. Ne putem face o idee despre precizia și sensibilitatea acestei metode dacă ne gândim că este analogă analizei spectrale din chimie.

La I.F.A. a fost construită și încercată în laborator o electrodă pentru diagrafie gama spectroscopică, prevăzută cu detectori cu scintilație și montaj electronic complet tranzistorizat. Paralel cu cercetările legate de introducerea a noi metode de diagrafie, din ce în ce mai perfecționate, la Institutul de

fizică atomică se întreprind și cercetări pentru perfecționarea celor existente, astfel încît să se obțină o aparatură robustă, de volum mic și sigură în funcționare, capabilă să lucreze la mari adîncimi (pînă la 6 000 m) unde temperatura se ridică pînă la 200°C.

B. Izotopii radicațivi în foraj și extracție

Forarea găurii de sondă și extracția țiteiului sînt operații complexe și dificile, care antrenează mijloace materiale importante (utilaje de înaltă tehnicitate, materiale feroase, produse chimice, ciment etc.) și un personal numeros cu cele mai diferite calificări. Efectuarea rapidă corectă și fără întreruperi a operațiilor cerute de procesul tehnologic aduce economii însemnate. Aceasta implică însă cunoașterea precisă a fenomenelor care se petrec la mari adîncimi, acolo unde nimeni nu poate pătrunde. Pentru a cunoaște fenomenele ce se petrec la un moment dat în sonde, au fost imaginat diferite metode, mergînd pînă la construirea unor instalații de televiziune subterane, dar și acestea au o rază de „vedere” limitată de peretele de rocă sau de coloana metalică a sondei. Și aici izotopii radioactivi au venit în ajutorul specialiștilor, transformînd invizibilul în vizibil. În cele ce urmează vom descrie cîteva din cele mai caracteristice operații de investigație cu ajutorul trasorilor radioactivi, dintre care unele sînt bazate pe metode originale, elaborate de Institutul de fizică atomică în colaborare cu unitățile Ministerului Industriei Petrolului și Chimiei și aplicate la sondele din țara noastră începînd din anul 1957.

a) *Determinarea zonelor de pierdere a noroiului în timpul forajului.* Pierderea noroiului de foraj undeva în lungul găurii de sondă și reducerea din această cauză a cantității de noroi care circulă în timpul forajului este un accident care poate avea consecințe serioase dacă nu se iau măsuri imediate de reperare a zonelor de pierdere și de blocare a acestora.

Pînă la introducerea metodelor cu izotopi radioactivi găsirea locurilor de „fugă” a noroiului se făcea prin încercări succesive, în timpul cărora forajul era întrerupt pe o perioadă destul de îndelungată.

Metoda izotopilor radioactivi constă în folosirea unui noroi „marcat”, adică în care s-au amestecat mici cantități de substanțe radioactive. Noroiul marcat se acumulează în zonele de pierdere. Poziția acestora se poate apoi determina cu ajutorul aparaturii de diagrafie gama-naturală sau cu o aparatură

tură special construită care se introduce prin interiorul prăji-
nilor de foraj. În felul acesta, timpul de intervenție se scurtează
foarte mult și forajul poate reîncepe.

b) *Controlul cimentării sub presiune.* Cimentarea sub pre-
siune a unor zone dintre coloana de tuburi metalice a sondei și
peretele găurii se face în scopul de a etanșa aceste zone, rămase
neetanșate după cimentarea normală și a bloca stratele de apă.
Este important ca cimentul să se localizeze precis în zonele
dorite, deoarece există pericolul să fie blocate tocmai stratele
producătoare de petrol.

Laptele de ciment se prepară într-un agregat de cimentare,
care are rezervoare de amestec și pompe de presiune pentru
introducerea fluidului în sondă. Marcarea cimentului se face
prin amestecarea omogenă a soluției radioactive cu cimentul,
prin circularea laptelui de ciment în rezervoarele agregatului.
Omogeneizarea marcării se controlează cu un radiometru pus
pe conducta (fig. 2.4 a și b) ce leagă agregatul de cimentare
de gura sondei și prin care laptele de ciment este pompat în
zona dorită.

Cimentul intrat prin perforaturile din coloana metalică a
sondei în strat face priză, resturile rămase în interiorul coloanei
se curăță prin spălare inversă pentru a nu perturba înregistră-
rile ulterioare.

Aparatura radiometrică, de cele mai multe ori chiar aceea
destinată diagramei gama-naturale, se introduce în gaura de
sondă și cu ea se înregistrează diagrama intensității radiațiilor
gama ale elementelor naturale peste care s-a suprapus acum
marcajul cimentului.

Activitățile folosite pentru marcarea fac ca să apară maxime
evidente în zonele de pătrundere a cimentului.

Cronologic, aceasta a fost prima lucrare cu trasori radio-
activi efectuată în industria petrolieră din țara noastră, și
anume la sonda 440 Leordeni. De atunci ea a fost repetată în
numeroase variante (cu trasori radioactivi de viață scurtă, cu
doi trasori etc.).

c) *Determinarea limitei dintre stratele petrolifere și acvifere.*
Oprirea producției de apă a unei sonde este deseori o problemă
acută a schelelor petroliere. Pentru rezolvarea acestei probleme
este necesară delimitarea poziției stratelor cu apă față de cea a
stratelor cu țiței. Metodele clasice nu dau rezultate satisfac-
toare, de aceea au fost folosiți tot trasorii radioactivi și anume
naftenat de sodiu marcat cu Na^{24} .

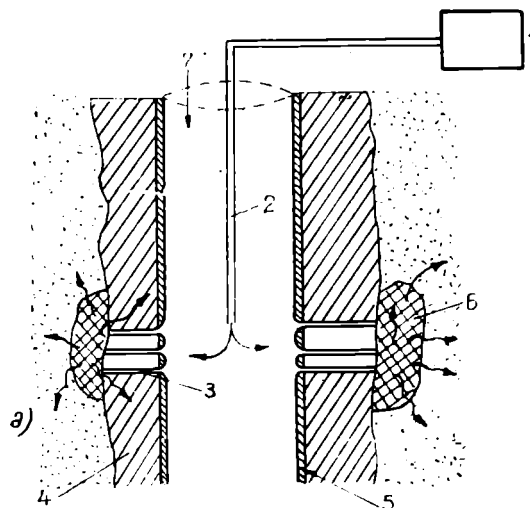


Fig. 2.4. — a) Secțiune longitudinală printr-o sondă la care cimentarea sub presiune se face cu ciment marcat cu traser radioactiv.

1, agregat de cimentare; 2, prăjină de intervenție; 3, perforaturi; 4, ciment; 5, coloana metalică; 6, ciment marcat introdus cu presiune; 7, gaura de sondă.

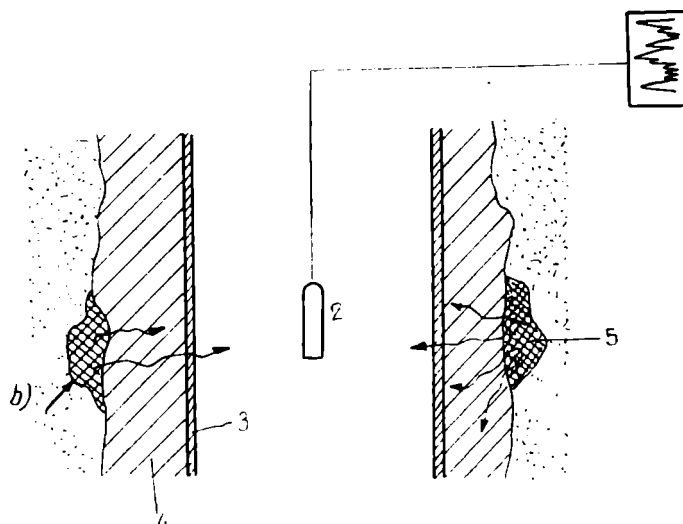


Fig. 2.4. — b) Schema de principiu a controlului cimentării sub presiune.

1, aparat de suprafață pentru înregistrarea grafică a radioactivității; 2, electroda ce conține contorul pentru detectarea radiațiilor gama; 3, coloana metalică; 4, inel de ciment; 5, ciment marcat cu traser radioactiv.

Acesta a fost introdus în sondă și împins cu presiune asupra straturilor petrolifere și acvifere (fig. 2.5). Din cauza condițiilor chimice din zăcămint, naftenatul de sodiu a saponificat la suprafața stratului acvifer, dar a pătruns liber în stratul petrolifer. Diagrama ridicată după aceea cu ajutorul instalațiilor de diagrafie gama-naturală a arătat, prin poziția maximelor de radiație, locurile unde s-a acumulat sodiul radioactiv și, prin urmare, locul straturilor petrolifere.

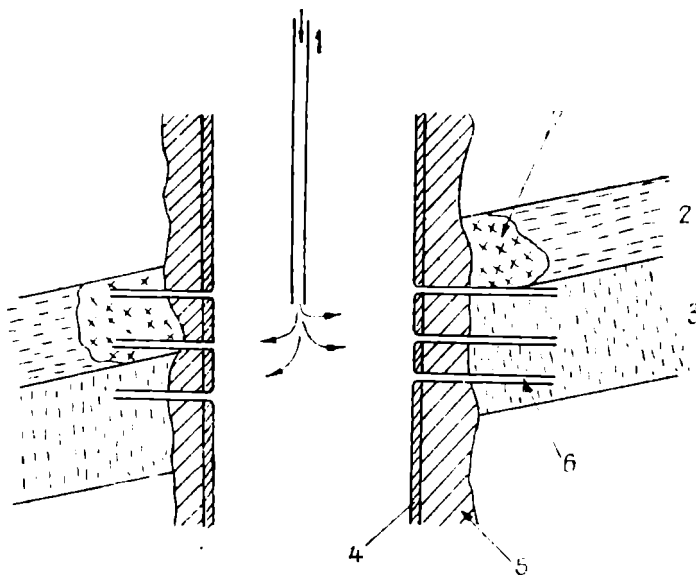


Fig. 2.5. — Schema de principiu a metodei pentru detectarea limitei apă-țiței.

1, prăjina de intervenție; 2, strat cu țiței; 3, strat acvifer; 4, coloana metalică; 5, inel de ciment; 6, perforaturi; 7, naftenat de sodiu marcat cu Na^{24} .

Ca un efect secundar, în parte neprevăzut de autorii lucrării, saponificarea naftenatului de sodiu a blocat practic stratele acvifere, astfel că o sondă care inițial producea 70% apă, a produs după încheierea lucrării numai 1% apă și 99% țiței.

Lucrarea descrisă mai sus a constituit prima aplicație a izotopilor radioactivi produși de reactorul Institutului de fizică atomică. Importanța acestei aplicații constă în faptul că sodiul radioactiv avînd o viață scurtă — în 14,5 ore se dezintegrează la jumătate — importul unui asemenea izotop este practic imposibil. Chiar și în condițiile producerii lui în țară, transportul și utilizarea lui au trebuit să fie organizate cu rapiditate și precizie.

Operațiile descrise în cele precedente nu sînt singurele efectuate; ele sînt numai niște exemple. Pînă în prezent, lucrări cu trasori radioactivi au fost efectuate la un număr de 600 de sonde din țară. Astăzi, Întreprinderea de carotaj și perforare din Ploiești lucrează numai cu trasori produși de reactorul I.F.A. Datorită îmbunătățirii neîncetate a metodelor de lucru, pe măsura acumulării experienței, și rezultatele economice au fost din ce în ce mai bune.

C. Transportul produselor petrolifere prin conducte

Prin conductele magistrale, care străbat distanțe mari, se transportă succesiv produse petrolifere de diferite calități. Operația de pompare succesivă a două produse diferite (benzină și motorină, de exemplu) trebuie astfel efectuată încît produsele să se amestece cît mai puțin la limita de separare. Momentul apariției acestei zone de tranziție trebuie cunoscut bine la stațiile de pompare, pentru ca produsele respective să poată fi, eventual, dirijate pe căi diferite.

Rezolvarea acestei probleme este considerată, în literatura de specialitate, un caz tipic de aplicație a izotopilor radioactivi.

O primă posibilitate, care a fost experimentată cu succes în țara noastră pe două trasee de conducte magistrale, este folosirea trasorilor radioactivi. Soluția radioactivă, sub forma unui pachet cît mai compact, se injectează pe conductă la limita de separare între două sortimente pompate sau două „cupoane”. Detectoarele de radiații aflate la stația de recepție (fig. 2.6) semnalează sosirea pachetului radioactiv, ceea ce înseamnă schimbarea sortimentului. Mai mult, din înregistrările detectoarelor se poate determina în ce măsură cele două cupoane s-au amestecat în zona de tranziție (fig. 2.7.).

Ca trasor radioactiv potrivit a fost ales, pe baza documentației sovietice, trifenilstibina, care a fost marcată cu Sb^{124} radioactiv produs de reactorul I.F.A. și sintetizată tot în Institut. Aparatura de detecție folosită, de tip „Gamadet”, a fost produsă de atelierele Institutului.

Un dezavantaj al acestei metode este, desigur, o ușoară contaminare cu substanțe radioactive a produselor petrolifere transportate. Pentru a elimina acest dezavantaj, a fost construită la Institutul de fizică atomică o aparatură pentru semnalarea schimbării sortimentului pompat prin conductă, pe baza modificării densității acestuia. Aparatura, care constă

dintr-o sursă de radiații gama și un detector de tip cameră de ionizare, urmat de un electrometru de măsură cu condensator vibrant, se montează în întregime pe dinafara conductei, într-un punct fix. Radiațiile gama emise de sursă sînt înregistrate de aparatura electronică după ce au străbătut conducta și au fost parțial absorbite, în funcție de densitatea pro-

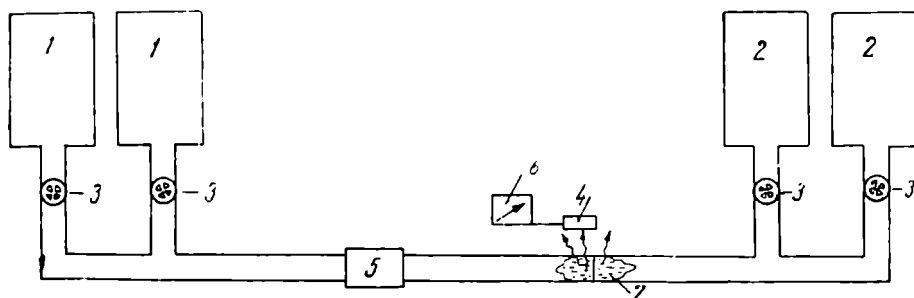


Fig. 2.6. — Schema instalației de detectare a trecerii produselor petrolifere marcate prin conductă.

1, 2, rezervoare; 3, ventil; 4, detector; 5, pompă; 6, înregistrator; 7, pachet marcat radioactiv.

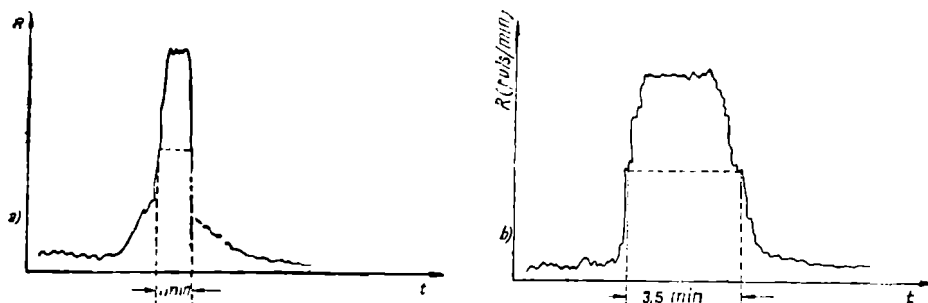


Fig. 2.7. — Diagramele de la plecarea (a) și sosirea (b) tratorului prin conductă.

dușelor pompate în momentul respectiv. În felul acesta se asigură o măsurare continuă și fără contact a densității produselor petrolifere. Aparatul construit are o mare sensibilitate ceea ce permite înregistrarea separată a trecerii produselor petrolifere cu densități foarte apropiate. Este posibilă, pe această bază automatizarea transportului produselor prin conducta respectivă. Acestea nu intră niciodată în contact direct cu sursa de radiații și rămîn, prin urmare, necontaminate.

D. Laboratorul nuclear al Întreprinderii de carotaj și perforare

Ca urmare a dezvoltării și lărgirii aplicațiilor radioactivității în industria petroliferă, acest gen de lucrări a intrat în practica curentă a Întreprinderii de carotaj și perforare din Ploiești. Colaborarea acestei întreprinderi cu Institutul de fizică atomică a fost completată de proiectarea și realizarea unui laborator unitate nucleară în cadrul întreprinderii. Acest laborator, construit și utilat după toate cerințele tehnicii nucleare, este în prezent cel mai modern de acest gen din țară.

2. Radioactivitatea aplicată în industria siderurgică

Industria siderurgică reprezintă a doua ramură importantă a industriei noastre în care au fost aplicate metode bazate pe folosirea izotopilor radioactivi. Lucrările au fost de la început orientate către problemele ridicate nemijlocit de producție și către soluțiile aplicabile în condițiile reale de teren, spre deosebire de metodele prezentate în numeroase lucrări din literatura străină, experimentate numai la scară de laborator. Rezultatele pozitive ale acestor lucrări sînt rodul colaborării dintre Institutul de fizică atomică, Combinatul siderurgic Hunedoara și Combinatul metalurgic Reșița.

A. Determinarea originii incluziunilor nemetalice macroscopice în oțel

Pentru continua îmbunătățire a calității oțelului de osii produs de oțelăria Siemens-Martin numărul 1 de la Combinatul siderurgic Hunedoara, trebuiau eliminate incluziunile de materiale nemetalice, care pot provoca rebuturi însemnate. Incluziunile nemetalice sînt de naturi și origini diferite. În timpul procesului tehnologic de turnare a lingourilor, mici cantități din materialul refractar care căptușește cuptorul, rina, oala de turnare, podul de turnare etc. se desprind datorită coroziunii și eroziunii și pătrund în topitură, formînd incluziuni. Combaterea acestor fenomene este posibilă dacă sursa incluziunilor este precis localizată. Tocmai aceasta a fost problema ridicată de oțelarii hunedoreni.

Pentru rezolvarea ei, au fost efectuate numeroase încercări cu mai mulți izotopi radioactivi produși la reactorul I.F.A., printre care Ca^{45} sub formă de clorură de calciu marcată deoarece

calciul este un element care intră în mod normal în compoziția materialelor refractare. Clorura de calciu a fost transportată la fabricile care produc materiale refractare pentru Combinatul siderurgic Hunedoara și a fost introdusă în loturi de material, identice din toate punctele de vedere cu cele din producția curentă, cu excepția prezenței în interiorul lor a trasorilor radioactivi.

Ca^{45} emite o radiație beta de mică energie și deci puțin pătrunzătoare, așa că măsurile de protecție a tuturor celor care au participat la manipularea materialelor marcate au fost relativ simple. Totuși, s-a urmărit ca întreaga cantitate de refractar marcat să fie controlată, orice deșeu fiind colectat, ars și îngropat în gropi speciale.

Odată aduse la Combinatul siderurgic Hunedoara, cărămizile refractare au fost folosite pe rînd la căptușirea diferitelor zone suspectate a fi surse de incluziuni. De fiecare dată, lingourile erau „disecate” și se urmărea dacă incluziunile sînt sau nu radioactive. Măsurarea radioactivității acestora, datorită tocmai puterii slabe de pătrundere a radiației Ca^{45} , nu este lesnicioasă; pentru aceasta au fost puse la punct două metode: a autoradiografiei și a electrolizei. Primele rezultate au fost interesante, așa că în prezent operațiile de urmărire și identificare a tuturor locurilor care impurifică oțelul cu incluziuni sînt în plină desfășurare.

B. Determinarea timpului de uzură a căptușelii furnalului

Datorită acțiunii materialelor, a temperaturilor și presiunilor ridicate din furnal, căptușeala de cărămizi refractare a acestuia se uzează. Aprecierea momentului cînd gradul de uzură a ajuns atît de avansat încît este necesară reconstrucția căptușelii este o problemă importantă; oprirea prematură a furnalului este neeconomică, iar întîrzierea este nepermisă deoarece poate conduce la avarii.

Deoarece nici un aparat nu rezistă în interiorul furnalului sînt necesare mijloace care să străbată peretele gros al acestuia. Soluția aparține tehnicii nucleare.

Specialiștii Institutului de fizică atomică au produs, cu ajutorul reactorului, capsule metalice cu cobalt radioactiv care emite radiații gama foarte pătrunzătoare. Ele au fost înglobate în cărămizi refractare. În 1960 și 1961, primele cărămizi refractare cu capsule radioactive au fost zidite în căptușeala furnalelor nr. 1 și nr. 2 de la Hunedoara (fig. 2.8 și 2.9).

Pe dinafara furnalului detectoarele de radiații de tip „Gamadet” cu mai multe canale „supraveghează” prezența capsulelor în locurile unde au fost puse. Ele semnalizează de îndată ce una din cărămizi, datorită uzurii, s-a desprins de la locul ei.

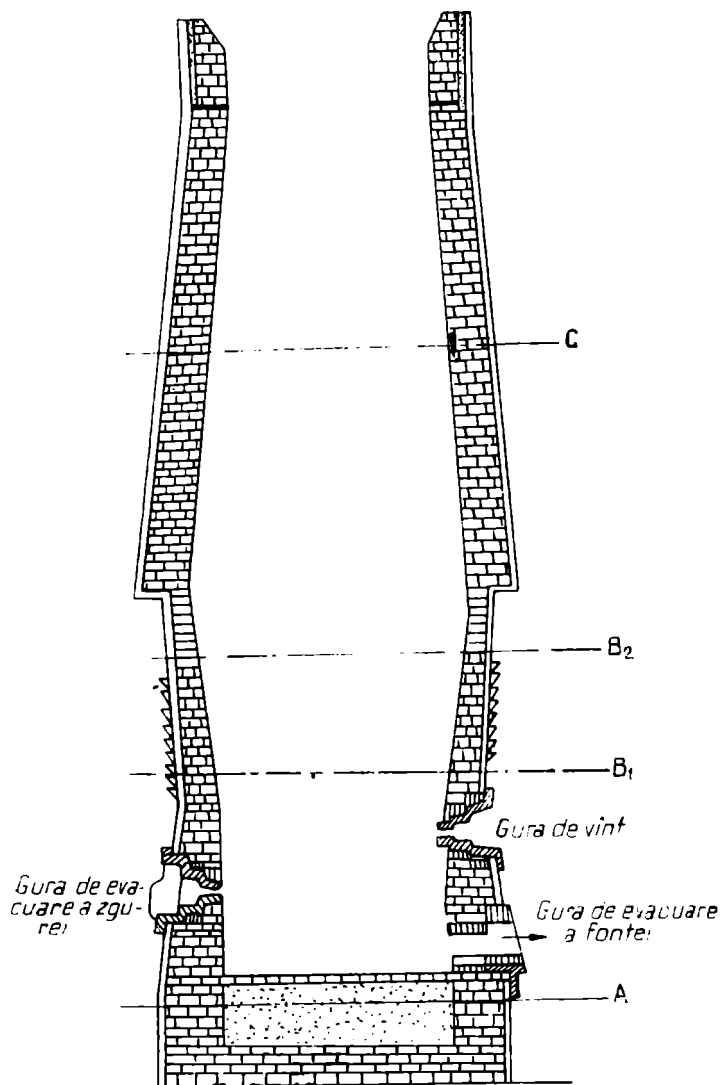


Fig. 2.8. Zonele marcate cu izotopi radioactivi în furnal.

Această metodă s-a extins și la Combinatul metalurgic Reșița iar aparatura s-a perfecționat. Astăzi, toate furnalele nou construite sînt prevăzute cu cărămizi marcate, martori ai uzurii.

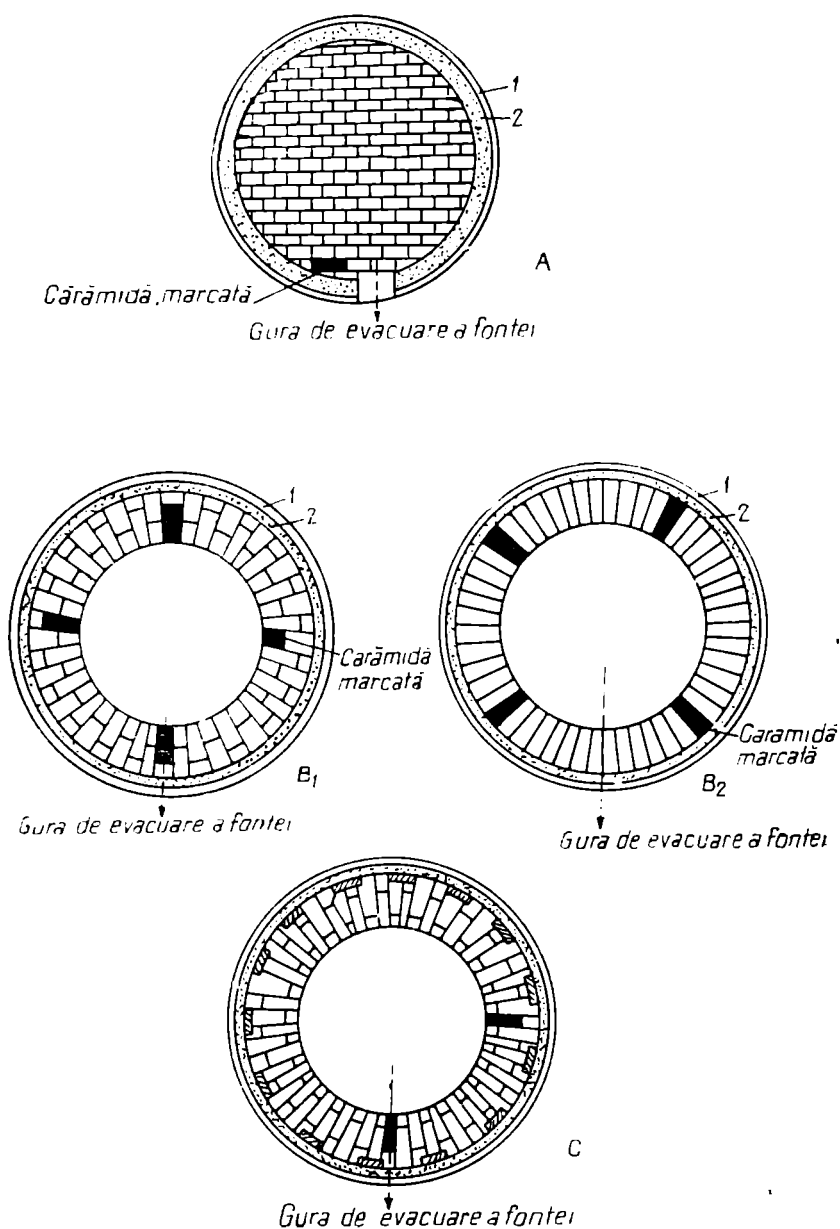


Fig. 2.9. — Pozițiile cărămizilor marcate în diferitele zone ale furnalului :
A, creuzet ; **B₁**, **B₂** etalaj ; **C**, cuvă.
 1, blindaj de oțel ; 2, masă carbonică.

3. Radioactivitatea aplicată în hidrologie

Hidrologia și economia apelor sînt domenii în care trasorii radioactivi s-au dovedit de mare folos. În această privință literatura este foarte bogată. În țara noastră lucrări similare au fost executate de mai multe instituții. În cele ce urmează se descriu trei lucrări efectuate de Institutul de fizică atomică la cererea instituțiilor interesate, în vederea soluționării unor probleme de urgență și importanță deosebite.

A. Determinarea locului de pierdere a fluidului prin conducte

Amploarea construcțiilor de pe litoralul Mării Negre și creșterea numărului de turiști a creat necesitatea sporirii capacității instalațiilor de alimentare cu apă. Pentru mărirea capacității conductei de apă Constanța—Eforie Sud, proiectanții trebuiau să aleagă între două soluții : construirea a încă unei conducte noi, paralelă cu cea existentă, sau mărirea presiunii de pompare în conducta veche. Cea de a doua soluție apărea mai economică, cu condiția ca amenajările necesare să nu fie prea complexe.

La primele probe de sporire a presiunii, s-a constatat că apa se pierde prin numeroase locuri. Fără a cunoaște cu precizie poziția tuturor defectelor, repararea acestora însemna dezgroparea conductei pe porțiuni foarte mari. În acest caz costul lucrărilor de reparare revenea aproape egal cu al construcției unei conducte noi.

Pentru determinarea cu ajutorul izotopilor radioactivi a locurilor prin care se pierde apa, Institutul de fizică atomică a elaborat o metodă originală, care folosește în mare măsură experiența acumulată cu ocazia utilizării izotopilor radioactivi la sondele petroliere (fig. 2. 10).

Conducta construită din tablă de fier în beton armat, a fost împărțită pe tronsoane închise și în fiecare tronson a fost pompată sub presiune apă marcată cu izotopul radioactiv Na^{24} (fig. 2.11). Prin locurile neetanșe, apa marcată a ieșit din conductă și s-a infiltrat în solul înconjurător. După golirea și spălarea conductei cu apă curată, s-a introdus aparatura de detectare a radiațiilor construită în institut. Pentru deplasarea aparaturii de-a lungul tronsonului de conductă și înregistrarea diagramelor a fost folosită o instalație de diagrafie radioactivă.

Diagramele înregistrate au arătat maxime de radioactivitate în locurile în care izotopul radioactiv s-a acumulat în sol. La scurtă vreme după aceasta, izotopul radioactiv Na^{24} ,

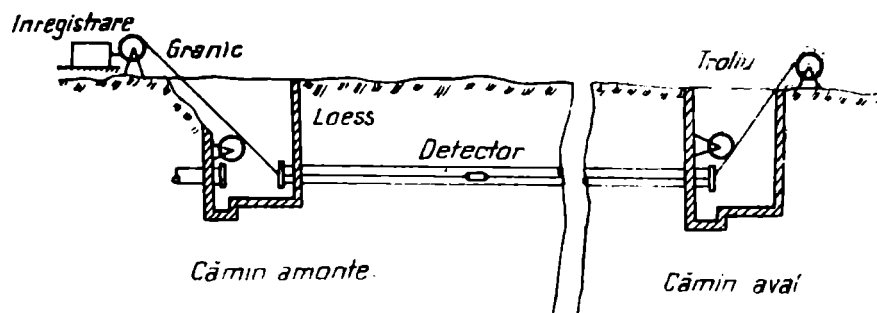


Fig. 2.10. — Circulația detectorului prin conductă.

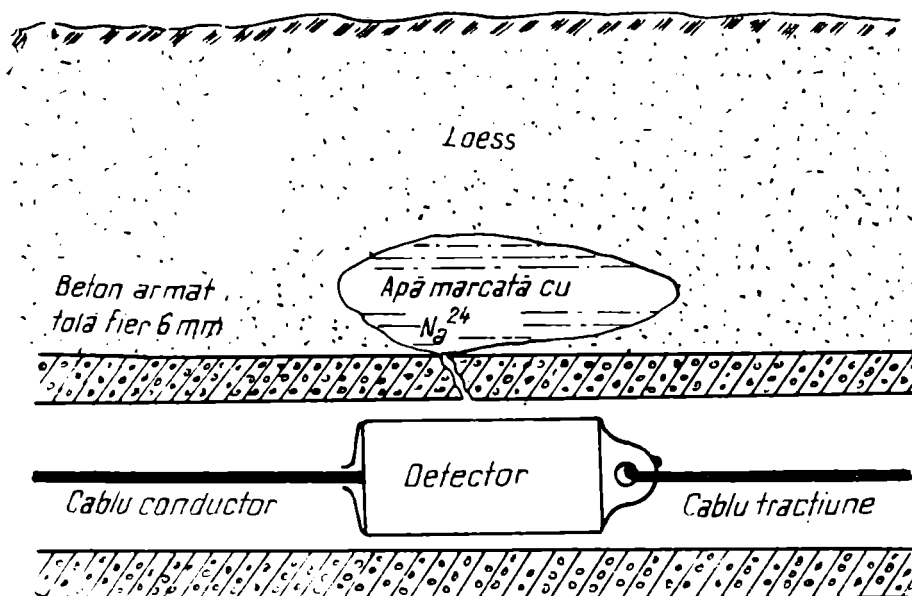


Fig. 2.11. — Secțiune longitudinală prin conductă.

care are un timp de înjumătățire de 14,5 ore, s-a dezintegrat complet, astfel încât conducta și solul înconjurător nu au rămas contaminate.

În felul descris au fost determinate cu precizie toate locurile de pierdere cu debit mai mare ca 1 metru cub în 24 de ore.

B. Determinarea unor parametri de curgere a apelor freatice

Determinarea direcției și vitezei de curgere a pînzelor de ape subterane se efectuează de obicei cu metode clasice. În unele cazuri însă acest lucru nu este posibil. Un astfel de caz s-a prezentat lângă Năvodari, unde caracterul solului și bogata mineralizare accidentală a apelor freatice a impus folosirea izotopilor radioactivi.

Metoda și aparatura folosite au fost originale, elaborate de Institutul de fizică atomică.

Izotopii radioactivi folosiți au fost aleși cu atenție în funcție de condițiile complexe ale mediului, astfel ca să fie reduse pierderile de izotopi care falsifică măsurările. Aceștia au fost introduși printr-un foraj de injecție în pînza de apă freatică și urmăriți apoi la diferite distanțe cu ajutorul detectoarelor introduse în foraje de referință.

Aparatura de detecție, complet tranzistorizată, portabilă și alimentată de la baterii, a înregistrat radioactivitatea trasorilor de la cinci foraje de referință simultan. Au fost determinate astfel cu precizie direcția și viteza de curgere a apelor freatice.

O variantă perfecționată a acestei metode a fost folosită ulterior pentru verificarea impermeabilizării barajului de la Ogrezeni.

C. Studiul dispersiei apelor reziduale în Marea Neagră

Apele reziduale provenite de la localitățile de pe litoral sînt deversate în Marea Neagră în anumite zone, cu ajutorul unor conducte care înaintează mult în larg. În felul acesta se asigură o diluție suficient de mare, astfel ca să nu se impurifice apa mării, în zonele apropiate de coastă. Odată cu reamenajarea litoralului s-a pus și problema verificării purității apei cu mijloace științifice. Pentru aceasta, apa reziduală deversată în mare a fost marcată cu izotopul radioactiv La^{140} preparat la Institutul de fizică atomică.

Cu ajutorul aparatelor de detectare speciale s-a urmărit, pe trasee marcate în prealabil cu balize, cum se diluează trasorul radioactiv. Depărtîndu-se de gura conductei, aparatele au indicat scăderea treptată a concentrației trasorului radioactiv pînă la o milionime din cea inițială. În felul acesta s-a obținut confirmarea sigură că impuritățile din apele reziduale nu ajung în zonele frecventate.

4. Aparate de măsură și control cu radiații nucleare

La trecerea printr-un strat de material, radiațiile nucleare suferă o serie de procese, ca atenuarea intensității, reducerea energiei, schimbarea direcției etc., în funcție de proprietățile materialului respectiv, densitate, concentrația anumitor elemente chimice etc.

Fenomenele interacțiunii radiațiilor nucleare cu materia stau la baza a numeroase aparate destinate măsurării și controlului în industrie. Aceste aparate, deosebit de variate ca posibilități, sînt realizate din cîteva elemente constructive (surse de radiații, detectoare de radiații, circuite electronice de impulsuri, relee etc.) care se repetă cu mici modificări (§ 8).

Experiența dobîndită pînă în prezent la Institutul de fizică atomică a dovedit că aparatele radiometrice industriale vor avea de jucat un rol important în tehnica modernă, deoarece se pretează ușor la tipizare și construcție în serie și se integrează în schemele de automatizare a proceselor tehnologice. Mai mult, introducerea aparatelor și metodelor radiometrice în numeroase cazuri simplifică și grăbește automatizarea.

A. Nivelmetre

Cele mai simple aparate radiometrice industriale sînt indicatoarele de nivel. Ele răspund la o problemă des întîlnită în ramuri industriale din cele mai deosebite: necesitatea de a menține un rezervor umplut pînă la un anumit nivel. Adesea controlul nivelului de umplere nu se poate face vizual: rezervorul este închis, materialul de umplere este coroziv, se găsește la temperaturi și presiuni ridicate etc. În plus, și aceasta este esențial, semnalizarea nivelului de umplere pe cale electrică este primul pas către automatizarea procesului de umplere și golire, astfel ca nivelul să se mențină constant.

Indicatoarele de nivel sînt de mai multe tipuri: cel mai simplu este numit „tot sau nimic”. De o parte și de alta a rezervorului sînt instalate, în dreptul nivelului de umplere dorit, o sursă de radiații și unul sau mai multe detectoare. Radiațiile, în majoritatea cazurilor radiații gama, trec de la sursă la detector străbătînd interiorul rezervorului. În caz că acesta este gol, detectorul va primi un flux de radiații de intensitate mai mare decît dacă în calea radiațiilor se interpune și materialul de umplere. Cu ajutorul unor relee, se semnalizează dacă nivelul dorit a fost atins, „tot” sau încă nu, „nimic”.

Aceleași relee pot comanda și dispozitivele de umplere și golire, astfel ca nivelul să se afle de exemplu, între un nivelmetru inferior care să indice „tot” și unul superior care să indice „nimic”.

Asemenea nivelmetre au fost construite de către specialiștii Institutului în atelierele proprii și montate pe diferite instalații industriale, ca de exemplu aparatura de măsurare a nivelului în camerele de cocsare a reziduurilor de petrol (fig 2.12), la

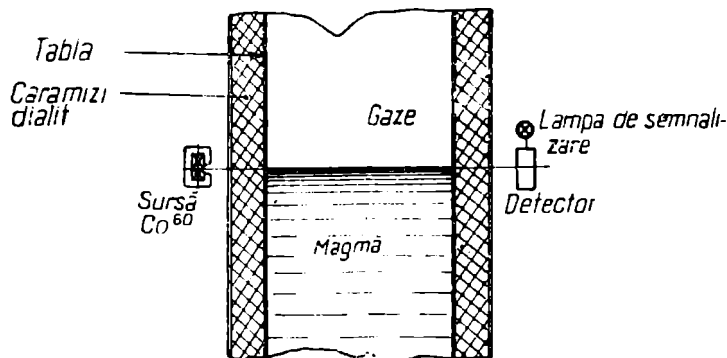


Fig. 2.12. — Măsurarea nivelului în camera de cocsare a reziduurilor de petrol.

Rafinăria 1 Mai Ploiești, a nivelului pastei de ciment în bazine la Fabrica de ciment Medgidia, precum și instalația automată de umplere și evacuare a semicocsului din buncăr și răcitor, la Uzina de semicocs Călan.

Alte nivelmetre folosesc o sursă de radiații mobilă, montată pe un plutitor care se află chiar pe suprafața lichidului al cărui nivel se măsoară. Detectorul sau detectoarele se pot fixa în exteriorul rezervorului, în dreptul nivelului dorit sau al nivelelor maxim și minim. Un nivelmetru de acest tip a fost instalat la Uzina chimică din Rîșnov, la vasul de detentă pentru acetilenă (fig. 2.13).

În afară de nivelmetrele „tot sau nimic”, există și nivelmetre pentru măsurarea continuă a nivelului la care detectoarele și sursa se deplasează și urmăresc tot timpul nivelul materialului din rezervor. Urmărirea se poate face manual, ca la nivelmetrul construit pentru rezervoarele cilindrice orizontale de clor lichid (fig. 2.14). Aparatele moderne posedă un mecanism automat care le menține tot timpul în dreptul nivelului. Un asemenea aparat automatizat de măsurare și urmărirea continuă a nivelului a fost experimentat de specialiștii Institutului de fizică atomică la Rafinăria Teleajen.

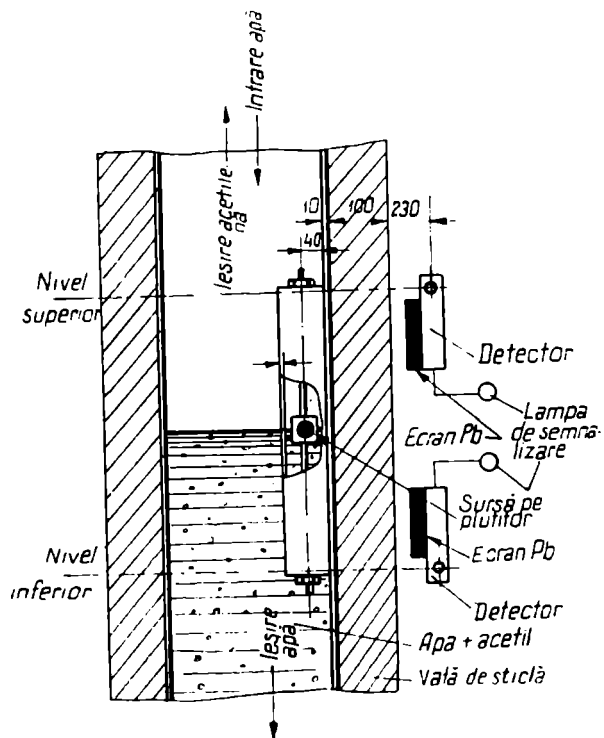


Fig. 2.13. — Schema de principiu a măsurării nivelului acetilenei în vasul de detentă.

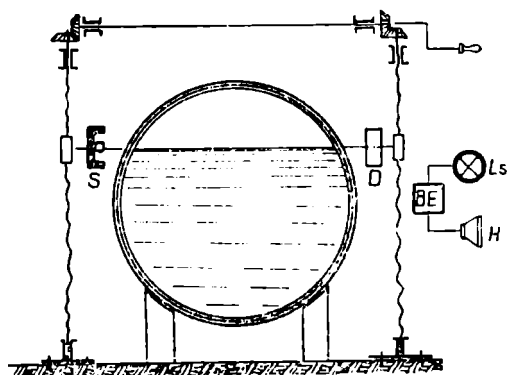


Fig. 2.14. — Schema de principiu a măsurării nivelului în rezervoare de clor lichid.
S, sursă de radiații gamma; D, detector; BE, bloc electronic; LS, lampă de semnalizare; H, hupă.

B. Densimetre

În afară de densimetrul fără contact, bazat pe absorbția radiațiilor gama, descris în paragraful referitor la transportul produselor petrolifere prin conducte, la Institutul de fizică atomică au fost realizate și alte tipuri de densimetre, bazate pe împrăștierea acestor radiații gama.

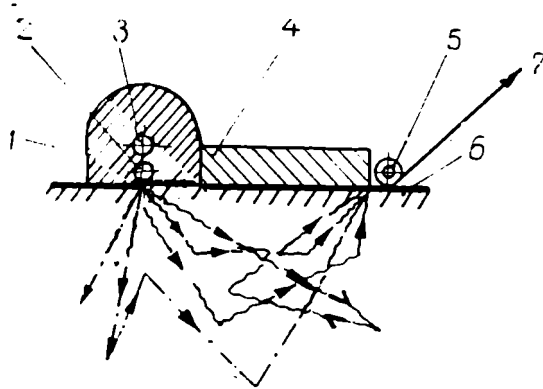


Fig. 2.15. — Densimetru gama-gama de suprafață.

1. container de protecție; 2, sursa în poziție de lucru; 3, sursa în poziție de repaus; 4, ecran de plumb pentru radiația directă; 5, detector de radiații; 6, mediul de măsurat; 7, cablul radiometrului.

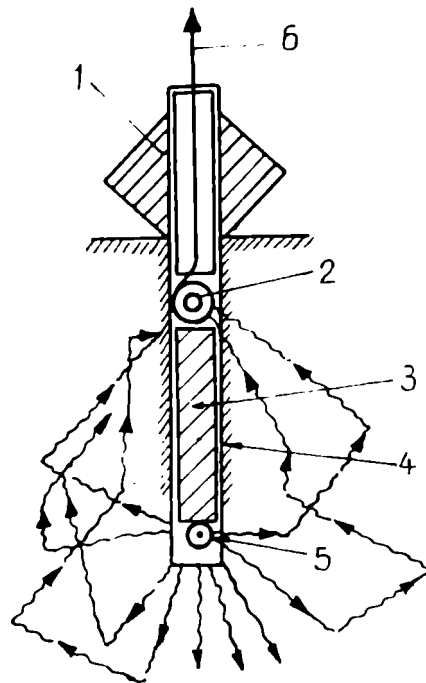


Fig. 2.16. — Densimetru gama-gama de adâncime.

1, container de plumb de protecție; 2, detector de radiații; 3, ecran de plumb pentru radiații directe; 4, mediul de măsurat; 5, sursa de radiații gama; 6, cablul radiometrului.

Densimetre de acest fel, special construite pentru măsurarea densității pământului sau a materialelor de construcție (nisip, ciment etc.) la suprafață (fig. 2.15 și 2.16) sau în adâncime, precum și a construcțiilor de pământ, au fost folosite cu succes.

C. Umidimetre

Umidimetrele, aparate care măsoară gradul de umiditate a materialelor, se bazează pe utilizarea neutronilor deoarece spre deosebire de radiațiile gama, care interacționează mai

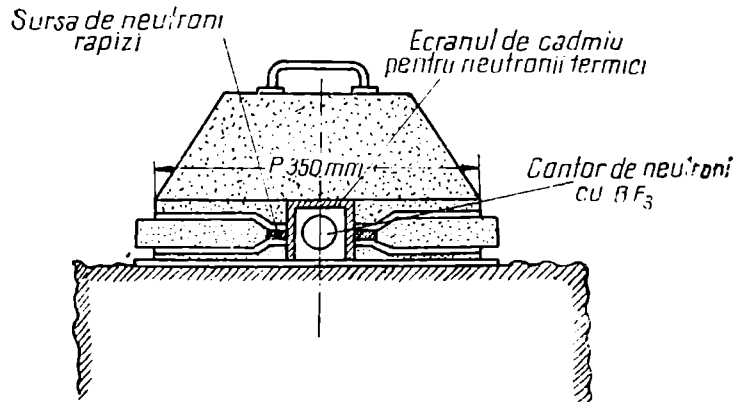


Fig. 2.17. — Instalație pentru determinarea umidității la suprafața materialelor.

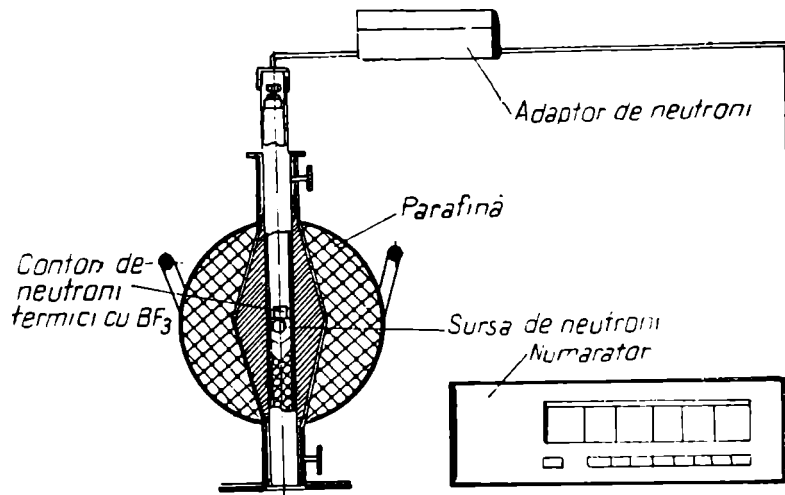


Fig. 2.18. — Instalație pentru determinarea umidității în adâncimea materialelor.

ales cu elementele mai grele, neutronii interacționează de preferință cu elementele ușoare și, în primul rând, cu cel mai ușor dintre ele, cu hidrogenul.

Măsurarea cantității de apă dintr-un material se face tocmai pe baza încetînirii și împrăstierii neutronilor de către hidrogenul din apă. La Institutul de fizică atomică au fost construite mai multe tipuri de umidimetre pentru măsurarea umidității pămînturilor și a altor materiale. Ele se compun dintr-o sursă de neutroni cu poloniu și beriliu sau cu radium și beriliu și dintr-un detector de neutroni cu contor cu trifluorură de bor și circuitele electronice asociate. Gama de măsură a aparatelor este cuprinsă între 0% și 30% conținut de apă. Două tipuri portabile de umidimetre, de suprafață (fig. 2.17) și de adîncime (fig. 2.18), acesta din urmă cu o sondă manuală, au fost folosite pe șantiere.

O importantă aplicație a metodei trasorilor radioactivi care de fapt nu se poate încadra în domeniile enumerate pînă acum a fost făcută în industria materialelor de construcții.

Specialiștii duc astăzi o largă campanie pentru introducerea tehnicii noi și, în particular, a metodelor radioactive și în acest domeniu.

În colaborare cu Fabrica de ciment București s-a făcut un studiu pentru determinarea vitezei și a modului de trecere a materialului în cazul cuptorului Lepol cu circulație simplă a gazelor de ardere.

A fost folosită o metodă cu izotopi radioactivi. Ca trasor s-a introdus Na^{24} sub formă de ClNa . La fiecare experiență au fost introduse în cuptor, prin ușa de vizionare, cîte două fiole avînd o activitate de 300 m³ fiecare.

Aparatura de detectare folosită compusă din contoare pentru radiații gama și o instalație de integrare a pulsurilor a fost adaptată special în I.F.A. pentru această lucrare.

Rezultatele obținute au fost concludente și au dus la unele îmbunătățiri ale utilizării cuptorului.

Lucrările descrise în acest paragraf sînt cele mai reprezentative dintre cele efectuate de Institutul de fizică atomică în colaborare cu industria, constituind totuși numai o etapă, în adevăr cea mai grea, aceea a introducerii unor metode noi, a convingerii diferiților specialiști de utilitatea lor, etapa obținerii primelor rezultate economice concrete.

În prezent se lucrează intens la dezvoltarea aplicațiilor radioactivității, trecerea la generalizarea metodelor deja verificate simultan cu experimentarea celor mai noi procedee și folosirea ultimelor descoperiri în fizica și tehnica nucleară.

§ 3. FOLOSIREA IZOTOPILOR RADIOACTIVI ÎN AGRICULTURĂ ȘI SILVICULTURĂ

OLIMPIU CONSTANTINESCU

1. Aplicațiile izotopilor radioactivi în agricultură

Un domeniu important de aplicare a izotopilor radioactivi îl constituie agricultura. În sectorul agricol, cu ajutorul metodelor bazate pe utilizarea izotopilor radioactivi, s-au obținut rezultate interesante în cercetările de agrochimie, fiziologie, pedologie, microbiologie, selecție, zootehnie etc. Aceste cercetări au contribuit la cunoașterea mai amănunțită a modului de nutriție a plantelor și de asimilare a îngrășămintelor chimice, la obținerea de informații prețioase privind relațiile dintre sol și plantă. Cu ajutorul izotopilor radioactivi se efectuează lucrări care conduc la obținerea de noi soiuri de plante cu caracteristici superioare, contribuie la ridicarea producției animale precum și la găsirea de noi metode de conservare a produselor agro-alimentare.

Se disting două direcții principale de folosire a izotopilor radioactivi în agricultură : ca surse de radiații și ca trasori radioactivi.

A. Folosirea surselor de radiații

Radiațiile nucleare produc în celulele vii modificări chimico-biologice însemnate care au o deosebită influență asupra organismelor. La iradierea cu doze mari apar mutații a căror frecvență este de o mie de ori mai mare decât în condiții normale. Pe această cale se poate ajunge, prin identificarea și selecționarea cu grijă a indivizilor care prezintă proprietăți favorabile, la varietăți și soiuri cu vitalitate și productivitate ridicată.



Prin iradierii cu neutroni rapizi și lenți s-au obținut mutații favorabile la porumb și ovăz. De asemenea la orz și lupin s-a reușit să se creeze, printr-o selecție a mutațiilor provocate de radiații, soiuri foarte precoce fără să se diminueze apreciabil productivitatea lor.

În țara noastră, prin iradierea la reactorul I.F.A. a semințelor de floarea-soarelui, specialiștii din agricultură au obținut o serie de rezultate care pledează în favoarea folosirii neutronilor rapizi și termici pentru inducerea unor mutații din care să se selecționeze variantele capabile să contribuie substanțial la ameliorarea soiurilor de floarea-soarelui. Totodată s-a constatat că iradierea cu neutroni rapizi și termici a semințelor de floarea-soarelui are ca efect mărirea producției de semințe și de ulei a acesteia.

Iradierii cu doze mari a plantelor în perioada de vegetație poate duce la încetinirea ritmului lor de dezvoltare. Această aplicație este interesantă în anumite cazuri ca de exemplu în cazul întârzierii înfloririi unor plante, cum ar fi pomii fructiferi, în cazul unor condiții climaterice nefavorabile. Tot în această direcție, dozele mari de radiații gama au fost folosite pentru frinarea încolțirii cartofilor și a cepei depozitate, în scopul prelungirii termenului de păstrare în bune condiții a acestor produse.

De asemenea, prezintă importanță influența dozelor mari de radiații asupra dezvoltării diferitelor bacterii din sol. În acest domeniu s-au întreprins o serie de cercetări și la noi în țară, folosindu-se radiațiile gama emise de o sursă de Co^{60} pentru obținerea unor tulpini mai productive de bacterii fixatoare de azot.

S-a pus în evidență o rezistență deosebită la radiații a celulelor bacteriene și totodată o influență favorabilă asupra capacității de fixare a azotului molecular la doze mici — lucru important pentru producția îngrășămintelor bacteriene.

În cazul folosirii iradierii cu doze mici a plantelor se obțin în general efecte stimulative. Mergând pe această cale, cercetătorii de la Institutul de cercetări agronomice au iradiat, cu neutroni termici și radiații gama la reactorul I.F.A., semințe de grâu, orz, ovăz, porumb, mazăre, fasole, cînepă, in și bumbac, urmărind efectele stimulative. Plantele rezultate din semințele

iradiate prezentau caractere interesante în ceea ce privește precocitatea, productivitatea etc.

Efecte de radiostimulare interesante s-au obținut și la sfecla de zahăr, folosind soluții $\text{K.H}_2\text{PO}_4$ marcat cu P^{32} , produs la reactorul I.F.A. Astfel, specialiștii din agricultură au obținut efecte stimulative maxime pentru activități de $50 \mu\text{c/l}$, înregistrându-se creșteri importante în ceea ce privește procentul de substanță uscată din suc (1,73 %), procentul de zahăr (0,47 %), producția de zahăr (27,6 %) și cea de rădăcini (24,4 %).

Cu ajutorul soluțiilor de $\text{Na.H}_2^{32}\text{PO}_4$, produse la I.F.A., s-au întreprins o serie de cercetări privind efectul radiațiilor beta asupra germinăției semințelor nestratificate de măr din soiurile „tare de ghindă” și „Jonathan”, obținându-se importante efecte stimulative. S-a constatat că radiostimularea semințelor se produce în măsură mai mare la soiurile cu repaus seminal mai lung și care în general au o putere de încolțire mai mică.

La Institutul agronomic „N. Bălcescu”, izotopii radioactivi produși la I.F.A. au fost folosiți la stimularea principalelor plante de cultură ca grâu, porumb și ovăz, punându-se în evidență efecte radiostimulative la plantele obținute din semințe tratate cu soluții ce conțineau P^{32} și cultivate pe un agrofond superior.

Folosind îmbibarea semințelor de porumb dublu hibrid în soluții ce conțineau P^{32} , livrate de I.F.A., la Institutul de cercetări pentru cultura porumbului s-au obținut sporuri apreciabile de recoltă. Efectele radiostimulative s-au manifestat în ce privește dimensiunile știuleților, procentul de boabe și umiditate precum și în greutatea absolută a boabelor. În urma tratamentelor de radiostimulare aplicate la același institut, s-au obținut sporuri de boabe și paie și la grâul de toamnă, în cazul variantelor cultivate pe un agrofond îngrășat.

Procesul radiostimulării în lumca vegetală este destul de complex, prezentând numeroase aspecte a căror abordare va aduce o contribuție importantă la îmbunătățirea calității productive și la sporirea recoltelor de plante agricole.

B. Folosirea izotopilor radioactivi ca trasori

Utilizarea izotopilor radioactivi ca trasori prezintă o importanță deosebită, întrucât permite elucidarea mecanismelor unor procese naturale ale vieții plantelor, constituind un fundament științific pentru măsurile luate în vederea sporirii producției agricole. Metoda trasorilor radioactivi este utilizată larg la

studiul nutriției minerale a plantelor, permițând urmărirea comodă, prin metodele radiometrice, a modului de extracție a hranei din sol, a comportării substanțelor folosite ca îngrășămint, precum și distribuția, transformarea și acumularea în organismul plantelor a substanțelor nutritive formate, în funcție de o serie de parametri cum ar fi vârsta, faza de vegetație, condițiile climatice etc. De asemenea, metoda servește la stabilirea condițiilor optime de administrare a îngrășămintelor precum și la determinarea celei mai favorabile compoziții a acestora.

În această direcție, cu ajutorul soluțiilor radioactive de P^{32} produse la reactorul I.F.A., specialiștii de la institutele de cercetări agronomice au studiat nutriția radiculară a porumbului dublu hibrid la diferite plafoane de apă și îngrășămint. Studii asemănătoare s-au efectuat și asupra nutriției radiculare a grâului de toamnă, urmărindu-se influența îngrășămintelor azotate și a combinațiilor NK asupra absorbției radiculare a fosforului în condițiile unor plafoane de apă foarte variate și a unei game largi de temperaturi. S-a pus în evidență o influență favorabilă a asimilării fosforului în prezența îngrășămintelor azotoase și a regimului hidric bogat, ceea ce fundamentează cerința ca acești factori să fie determinați cu maximă precizie pentru fiecare soi în parte, în vederea sporirii producției agricole. Importanța practică a acestor experiențe decurge din stabilirea eficienței maxime a combinațiilor de îngrășămint în diferite condiții de irigație, precum și din cunoașterea dinamicii procesului de absorbție în ceea ce privește capacitatea de a suporta ierni aspre.

Metoda trasorilor radioactivi se pretează la studiul hrănirii extraradiculare a plantelor, la abordarea unor probleme legate de îmbunătățirea calității solurilor, de urmărirea descompunerii substanțelor organice și a reînnoirii acestora în sol.

Cu ajutorul izotopilor radioactivi s-a pus în evidență posibilitatea de alimentare a plantelor cu săruri minerale prin aplicarea de îngrășămint pe frunze, dovedindu-se că plantele au posibilitatea să absoarbă asemenea săruri nutritive nu numai prin rădăcini, dar și prin frunze.

Experiențe efectuate cu izotopi radioactivi au arătat că substanțe nutritive ca N, K, P, Rb, Ca, Sr și Ba sînt absorbite de frunze înregistrîndu-se și cazuri în care s-au putut administra plantelor prin îngrășămint aplicate pe frunze chiar mai multe săruri decît prin îngrășămint absorbite prin rădăcini.

Folosirea izotopilor radioactivi constituie un instrument prețios pentru soluționarea rapidă a diferitelor probleme ce le ridică buna funcționare a sistemelor de irigație. Astfel, dizolvînd

în apă săruri de Rb cu rubidiu radioactiv ca trasor, se poate urmări cu ușurință, prin determinări radiometrice, modul de circulație a apei, locurile în care au loc pierderi de apă ascunse vederii și infiltrări de apă datorită defecțiunilor canalelor.

De asemenea, problema dăunătorilor agricoli poate fi abordată în mod comod cu ajutorul trasorilor radioactivi. Marcarea cu izotopi radioactivi a unui număr de insecte dăunătoare permite urmărirea precisă a răspîndirii acestora, a felului lor de viață, a modului în care acționează asupra plantelor de cultură oferind totodată un mijloc bun de apreciere a eficacității diferitelor substanțe insecticide.

Utilizarea izotopilor radioactivi duce la rezultate interesante și în zootehnie și în medicina veterinară. Metoda trasorilor a permis să se înțeleagă o serie de procese importante în fiziologia și fiziopatologia animalelor. Scopul urmărit în aceste cercetări îl constituie studierea și aprofundarea diferitelor aspecte ale metabolismului la animale în vederea ridicării productivității lor. Trasorii radioactivi se pot folosi eficient la clarificarea problemelor legate de folosirea rațională a substanțelor din hrana animalelor, la stabilirea gradului de digestibilitate a acestora, în vederea întocmirii juste a rațiilor alimentare. Cu ajutorul izotopilor radioactivi se pot urmări căile și viteza de pătrundere prin piele a unor substanțe medicamentoase. În acest domeniu, folosind soluții ce conțineau P^{32} și I^{131} produse la reactorul I.F.A., specialiștii de la Institutul medico-farmaceutic și Institutul de igienă din Cluj au obținut o serie de rezultate interesante privind scăderea rezistenței față de infecții la animalele tratate cu izotopi radioactivi.

Radiațiile ionizante și izotopii radioactivi sînt folosiți cu succes și în cercetările din apicultură. În literatura de specialitate se arată că folosirea izotopilor radioactivi a făcut posibilă cunoașterea unor aspecte noi în ceea ce privește biologia familiei de albine, creșterea și selecția albinelor melifere, evaluarea bazei melifere, efectuarea experiențelor exacte în domeniul polenizării plantelor etc.

Patologia apicolă poate folosi cu bune rezultate sursele de radiații și trasorii radioactivi atât în studiul cît și în terapia bolilor. În această direcție s-au utilizat radiațiile gama ale Co^{60} la combaterea bolii „loca americană”, boală infecțioasă care produce apiculturii cele mai mari pagube. S-a dovedit că iradierea cu doze de $\sim 10^5$ R și mai mari este foarte eficace pentru dezinfectarea fagurilor din familiile atinse de această boală.

Folosirea izotopilor radioactivi la soluționarea diferitelor probleme ale agriculturii completează în mod fericit celelalte metode și aduce foloase importante științei și producției agricole. Victoria socialismului în agricultura noastră pune cercetătorilor sarcini mari în legătură cu ridicarea productivității și creșterea producției vegetale și animale, creind în același timp condiții pentru o agricultură științifică.

Pentru rezolvarea acestor sarcini, se impune folosirea celor mai noi metode științifice cu eficacitate economică însemnată; între acestea un rol important îl au metodele fizicii nucleare. În prezent, când lucrătorii din agricultura noastră își încordează forțele pentru îndeplinirea cu succes a programului trasat de Partid, aplicarea izotopilor radioactivi capătă o și mai mare însemnătate.

2. Aplicațiile izotopilor radioactivi în silvicultură și industria lemnului*)

Organizarea și dezvoltarea producției de izotopi radioactivi în R.P.R. a deschis noi și largi posibilități pentru cercetarea științifică, în slujba producției și în domeniul silviculturii și al industriei lemnului.

Biologia speciilor forestiere prezintă încă multe laturi necunoscute și multe din fenomenele biologice caracteristice acestor specii nu-și au încă explicația corespunzătoare, practica silvică fiind astfel lipsită de posibilitatea obținerii unor rezultate superioare în ridicarea producției și productivității pădurilor. Studiarea și interpretarea, precum și accelerarea sau frinarea anumitor fenomene și procese în domeniul fiziologiei, pedologiei, ecologiei, selecției forestiere și protecției pădurilor sînt azi de neconceput fără utilizarea izotopilor radioactivi.

Folosirea izotopilor radioactivi în silvicultură permite cercetarea și cunoașterea unor procese biologice și tehnologice care nu pot fi studiate prin alte metode, ducînd la reducerea considerabilă a duratei lucrărilor de cercetare în raport cu metodele obișnuite, la ridicarea nivelului științific al lucrărilor, precum și la lărgirea domeniului de activitate, permițînd abordarea unor probleme noi și variate. Prin folosirea izotopilor radioactivi se elaborează metode și procedee de lucru noi, care duc la mărirea productivității, creșterea capacității unităților sectorului economiei forestiere, îmbunătățirea calității produselor și reducerea prețului de cost.

*) Întocmit în colaborare cu ing. I. Catrina și A. Popa de la I.N.C.E.F.

Aplicarea izotopilor radioactivi în sectorul forestier a început în anul 1960, când Institutul de cercetări forestiere în colaborare cu Institutul de fizică atomică, a inițiat o serie de lucrări privind cauzele uscării stejarului pedunculat. În acest scop, cu ajutorul Ka^{42} și al Rb^{86} , s-au stabilit, în condiții de teren, particularitățile mecanismului de aprovizionare, circulație și consum a apei încărcată cu săruri minerale. Rezultatele obținute au permis stabilirea cu exactitate a cauzelor care au provocat uscarea stejarului în unele regiuni din țara noastră.

În anul 1961 folosirea izotopilor radioactivi în acest domeniu s-a extins, cuprinzând și probleme ale industriei lemnului, și răspunzând astfel unor solicitări urgente ale acestui sector al economiei forestiere. Dintre temele realizate în acest an, menționăm următoarele :

— *Folosirea izotopilor radioactivi la stabilirea defectelor neaparente la placaje*, plăci aglomerate și plăci fibrolemnoase, cu ajutorul autoradiografiei, elaborându-se o metodă de lucru superioară din punct de vedere tehnic, care permite o exactitate imposibil de realizat prin alte mijloace.

Prin autoradiografie se pot stabili defectele de încheiere, anumite goluri, crăpături sau variații în structura internă a placajelor. De asemenea, se pot stabili și variațiile cantitative ale peliculei de adeziv în orice porțiune a foii de placaj. În plus, s-a experimentat și o altă cale și anume : detectarea defectelor în structura placajelor și plăcilor aglomerate și fibrolemnoase prin absorbția radiațiilor gama ale Tl^{204} . Se găsesc prin această metodă variații mari în structura produselor semifabricate din lemn.

— *Stabilirea mecanismului de pătrundere a pentaclorfenolatului de sodiu în lemn*, cercetându-se stabilitatea produsului după pătrunderea în lemn. În acest scop, s-a marcat molecula de pentaclorfenolat de sodiu cu Na^{24} și s-a constatat că substanța se descompune imediat după pătrunderea în lemn. Pentaclorfenolul rămâne în straturile de suprafață ale pieselor de lemn iar hidroxidul de sodiu pătrunde cu apa de-a lungul fibrelor pe o distanță de 14—15 cm. Rezultatele servesc la elaborarea unei metode eficace și economice de impregnare a lemnului.

— *Efectele radiațiilor ionizante asupra germinării și răsării semințelor care răsar după doi ani*. Prin iradierea semințelor de frasin și tei argintiu cu diferite doze de radiații beta ale P^{32} s-au obținut puieți imediat după tratarea în soluții radioactive, timp de 60...70 ore. Metoda este incomparabil mai ieftină decât metodele de forțare aplicate pînă acum. Rezultatele

obținute se vor aplica pe scară de producție în pepiniera stațiunii Miciurin.

Cercetările privind nutriția minerală a plopului cu ajutorul izotopilor radioactivi, temă bazată pe faptul că izotopii radioactivi constituie instrumente prețioase în studierea asimilării elementelor nutritive din sol de către plante. S-a urmărit mecanismul de absorbție a elementelor minerale din sol și din îngrășămintele chimice azotate, fosfatice și potasice, s-a stabilit gradul de asimilare a elementelor minerale din îngrășămintele chimice administrate în diferite moduri și s-a constatat o mare influență a adâncinii de încorporare a acestora, obținându-se date privind cerințele plopilor repede crescători față de substanțele nutritive din sol. Experimentarea servește la îndrumarea producției în domeniul culturii plopului pentru obținerea de puieți viguroși și de arborete cu creștere susținută.

Cercetările care s-au extins și la bradul Douglas vor permite stabilirea condițiilor optime de cultură a acestor specii valoroase pentru economia forestieră.

Izotopii radioactivi au mai fost utilizați și în domeniul protecției pădurilor, cercetându-se mecanismul de circulație al insecticidelor sistemice în arbori și eficacitatea acestora. De asemenea s-a mai colaborat la realizarea dispozitivului de comandă automată a foarfecii LSZ de tăiat furnire, elaborându-se procedeul de însemnare pe furnir cu un preparat radioactiv, precum și tehnica de detectare. Instalația realizată permite obținerea de economii importante.

S-au mai inițiat o serie de cercetări cu ajutorul izotopilor radioactivi privind controlul modului de răspândire a aerosolilor și a eficacității acestora asupra insectelor dăunătoare. Cu acest prilej, s-au stabilit și parametrii de lucru ai aparatelor de produs aerosoli.

În afară de problemele cercetate pînă acum, pentru rezolvarea sarcinilor trasate sectorului economiei forestiere prin Directivele Congresului al III-lea al P.M.R., este necesară abordarea unor probleme și aspecte noi. Astfel, folosirea izotopilor radioactivi va trebui să contribuie la rezolvarea unei serii de probleme, dintre care menționăm :

— detectarea defectelor neaparente în materialele lemnoase și semifabricate ;

— realizarea unor dispozitive bazate pe absorbția sau retrodifuzia radiațiilor, pentru determinarea umidității, densității și grosimii pieselor din lemn ;

— aplicarea gamagrafiei la utilajele din sectorul de transporturi forestiere, de prelucrare a lemnului și mecanizare.

De asemenea, cu ajutorul izotopilor radioactivi se vor aborda probleme privind metodele de conservare a lemnului, verificarea eficacității substanțelor insecticide și fungicide, precum și stimularea germinației semințelor forestiere și obținerea unor forme noi cu creștere mai rapidă.

Tot cu ajutorul izotopilor radioactivi se vor urmări procesele de nutriție a speciilor forestiere, în scopul stabilirii exigențelor ecologice și al fundamentării tehnicii de cultură, precum și eficiența îngrășămintelor chimice în culturile de pepinieră și în arborete, în vederea stabilirii măsurilor agrotehnice optime.

Pe baza rezultatelor obținute pînă acum și avînd în vedere avantajele pe care le oferă folosirea izotopilor radioactivi, se poate întrevădea contribuția substanțială pe care o va aduce extinderea utilizării acestor noi metode la soluționarea diferitelor probleme ce se pun sectorului economiei forestiere.

§ 4. GAMAGRAFIA

PETRE FLORICAN și GHEORGHE BRATU

1. Introducere

În industria modernă, controlul nedistructiv al produselor este esențial prin faptul că, fără să le deterioreze, garantează calitatea lor și asigură astfel o bună funcționare. Îndeosebi în industria construcțiilor metalice, a construcțiilor de beton armat, de materiale plastice etc. acest control aduce numeroase avantaje care acoperă cu mult cheltuielile făcute atât la achiziționarea aparaturii de control cât și la efectuarea probelor.

Controlul nedistructiv — sau defectoscopia nedistructivă — a fost temeinic studiat și dezvoltat în ultimul timp, astfel că în prezent există o serie întreagă de metode foarte diferite ca principiu și practică de execuție. Între ele amintim :

a) defectoscopia magnetică, care se folosește în special pentru punerea în evidență a defectelor de la suprafața pieselor cât și a defectelor amplasate la mică adâncime ;

b) defectoscopia prin luminescență, care se folosește numai pentru detectarea defectelor de pe suprafața obiectelor ;

c) defectoscopia cu ultrasunete, care se folosește pentru depistarea atât a defectelor de suprafață cât și a celor situate în adâncime. Această metodă dă rezultate concludente îndeosebi la piesele cu suprafețe prelucrate ;

d) defectoscopia cu ajutorul radiațiilor Röntgen, care se folosește cu succes în cazul detectării defectelor de suprafață și adâncime, la piese a căror grosime este sub 40—50 mm ;

e) defectoscopia cu ajutorul betatroanelor, care se folosește pentru controlul pieselor groase peste 100 mm (lingouri, piese turnate, suduri (§ 9) ;

f) defectoscopia cu ajutorul izotopilor radioactivi.



În prezent controlul nedistructiv cu ajutorul izotopilor radioactivi se poate realiza prin una din metodele următoare :

a) *Autoradiografia*. Piesa controlată se unge cu o unsoare marcată cu izotopi radioactivi, sau se introduce într-un lichid radioactiv. După această operație piesa este ștearsă sau spălată, astfel încît substanța radioactivă rămîne numai în goluri, fisuri și în general acolo unde piesa este defectă. Apoi piesa se așază pe un clișeu fotografic, ce va fi impresionat numai în locurile defecte, unde a mai rămas substanță radioactivă. Metoda se pretează la depistarea defectelor de suprafață cu dimensiuni foarte mici (microfisuri, defecte de prelucrare a suprafețelor lucioase etc.).

b) *Defectosopia prin ionizare*. Obiectul cercetat se așază între o sursă de radiații și un aparat de măsurat cu detector de radiații potrivit. Obiectul se mișcă astfel încît fasciculul de radiații să treacă succesiv prin toată masa sa. În porțiunile unde există un defect (gol, fisură, porozitate) fasciculul de radiații este atenuat mai puțin și deci indicațiile instrumentului de măsurat vor avea o valoare mai mare.

c) *Gamagrafia*. Metoda se deosebește de precedenta prin faptul că în loc de aparat de măsurat se folosește un film fotografic iar fasciculul de radiații cuprinde dintr-o dată toată porțiunea cercetată, astfel că nu mai este nevoie ca obiectul să fie mișcat.

În cazul cel mai simplu, schema de principiu a controlului prin gamagrafie este arătată în figurile 4.1, 4.2 și 4.3.

În urma iradierii piesei cu radiațiile emise de un izotop radioactiv (de exemplu Co^{60} , Ir^{192} etc.) clișeu este impresionat în mod diferit în cazul cînd în interiorul piesei există un defect.

Explicația este următoarea : radiațiile gama străbătînd obiectul controlat sînt atenuate mai mult sau mai puțin, în funcție de densitatea materialului. În porțiunile în care nu există defecte, densitatea fiind aceeași în direcția radiațiilor, clișeu va fi impresionat uniform. În cazul cînd în direcția radiațiilor se află un defect (suflură, pori, incluziuni nemetalice, nepătrunderi, fisuri) densitatea în aceste locuri este mai mică decît în porțiunea „sănătoasă” și în consecință radiațiile sînt mai puțin atenuate, iar clișeu este mai intens impresionat.

Astfel, pe clișeu aceste porțiuni apar mai întunecate, punîndu-se în evidență defectul și forma lui.

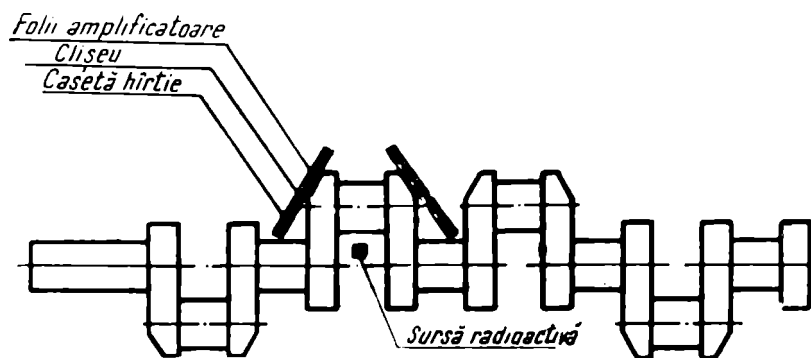


Fig. 4.1. — Detectarea defectelor din brațele de manivelă ale unui arbore cotit

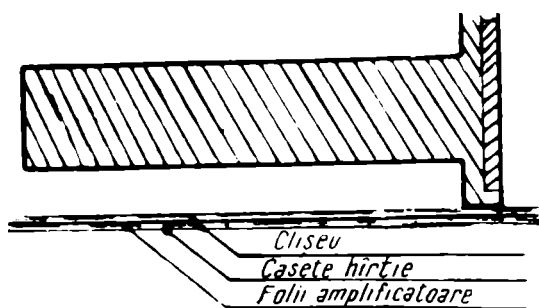


Fig. 4.2. — Detectarea defectelor din tacheții de motor auto.

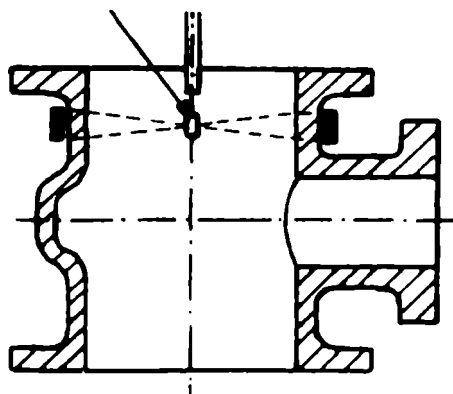


Fig. 4.3. — Detectarea defectelor dintr-un ventil din circuite de înaltă presiune.

De asemenea, gamagrafia mai oferă posibilitatea controlului prin iradiere circulară din interiorul recipientelor și al conductelor cu diametru mare (fig. 4.4).

Ea permite verificarea concomitentă a mai multor piese, amplasate în jurul sursei de radiații, ceea ce mărește productivitatea controlului față de alte metode la care controlul se

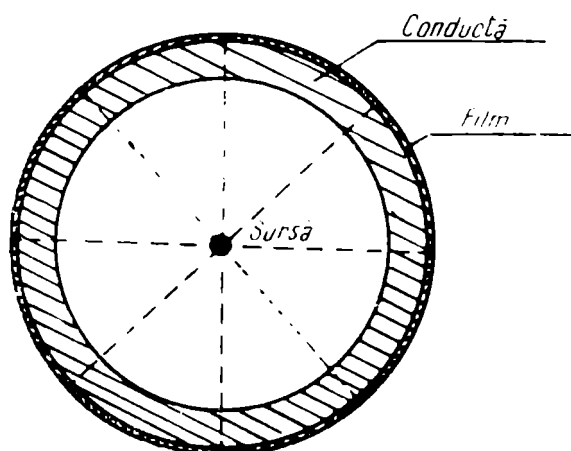


Fig. 4.4. — Controlul din interior cu radiații gama la conducte.

face individual. Acesta este un avantaj destul de mare pentru întreprinderile industriale care produc piese cu dimensiuni mici în cantități mari (ventile, tacheți etc.) (fig. 4.5).

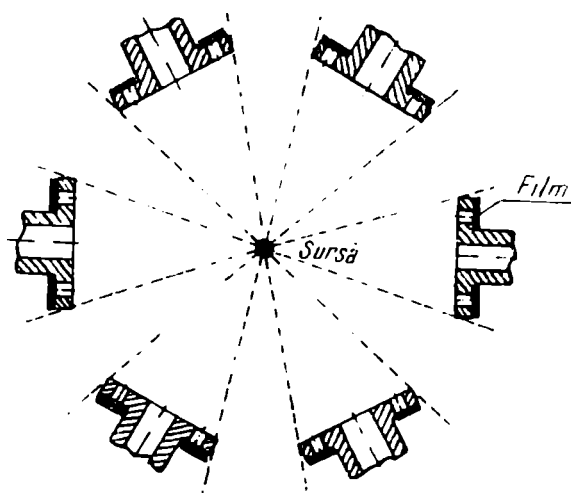


Fig. 4.5. — Controlul concomitent cu radiații gama al flanșelor ventilelor.

Construcția instalațiilor de gamagrafie permite o exploatare sigură și simplă, lucru care duce la reducerea frecvenței reparațiilor și deci la micșorarea cheltuielilor de reparații și întreținere.

Energia înaltă a radiațiilor gama — ale Co^{60} — permite extinderea controlului nedistructiv la piese din oțel cu grosimea pînă la 100 ... 150 mm.

Pe de altă parte, atunci cînd se controlează piese de grosimi nu prea mari (pentru piese de oțel pînă la 40 ... 50 mm), calitatea radiografiilor obținute cu ajutorul instalațiilor Röntgen este superioară celor obținute prin gamagrafie.

Metodele enumerate, prin avantajele și posibilitățile tehnice specifice pe care le oferă, se completează una pe alta, mărind astfel gama și eficacitatea controlului nedistructiv și dînd garanția obținerii unor produse de calitate superioară.

3. Instalația mobilă pentru gamagrafie tip I.F.A.

Avînd în vedere o serie de condiții concrete de lucru pe diferite șantiere și întreprinderi, cît și rezultatele obținute în străinătate în construcția de aparate pentru gamagrafie, în anul 1960 a fost realizat la I.F.A. prototipul unui aparat mobil pentru gamagrafie, utilizabil atît pentru cercetările de laborator cît și pentru controlul defectoscopic în fabrici și pe șantiere. În anul 1961 s-a trecut la producția în serie mică a acestei instalații mobile de gamagrafie, așa că astăzi ea este prezentă pe multe șantiere de construcții și în multe uzine din țară.

Tipurile instalațiilor mobile pentru gamagrafie proiectate la I.F.A. sînt indicate în tabelă.

Tabelă

Tipul instalației	Izo-topul	Activitatea sursei (c)	Greutatea aproximativă a instalației			Domeniul de aplicare, grosimi de oțel (mm)	Sensibilitate (%)
			Container (kg)	Dispozitiv de acționare (kg)	Total (kg)		
tipul 1	Co^{60}	0,3	95	37	132	50 ... 70	3
tipul 2	Co^{60}	0,6	110	37	147	70 ... 100	2,5
tipul 3	Co^{60}	1	135	37	172	80 ... 120	2
tipul 4	Ir^{192}	5	25	37	62	10 ... 50	2

Tipurile 1, 2 și 4 au fost realizate în serie, în funcție de cererile primite.

În urma exploatării instalațiilor la diverse întreprinderi și șantiere timp de peste doi ani, s-a constatat că ele corespund și satisfac necesităților procesului de control și pot înlocui instalațiile similare din străinătate destinate acestui gen de

lucrări. Totodată instalației i s-au adus o serie de îmbunătățiri care măresc siguranța în funcționare și o fac mai potrivită condițiilor industriale.

Instalația mobilă pentru gamagrafie tip I.F.A. permite acționarea sursei de radiații de la cel puțin 4 m de container și deplasarea ei pînă la distanța de 16...20 m de la container, acționarea făcîndu-se mecanic. Cu ajutorul acestei instalații se asigură o productivitate ridicată a procesului de control datorită condițiilor optime de protecție contra radiațiilor în timpul exploatării.

În ceea ce privește mobilitatea și transportul, după cum reiese din tabelă, instalațiile pot fi utilizate cu ușurință și în condiții de șantier. Domeniul de aplicare cît și sensibilitatea metodei sînt de asemenea arătate în tabelă.

Instalația mobilă pentru gamagrafie tip I.F.A. se compune din trei părți (fig. 4.6).

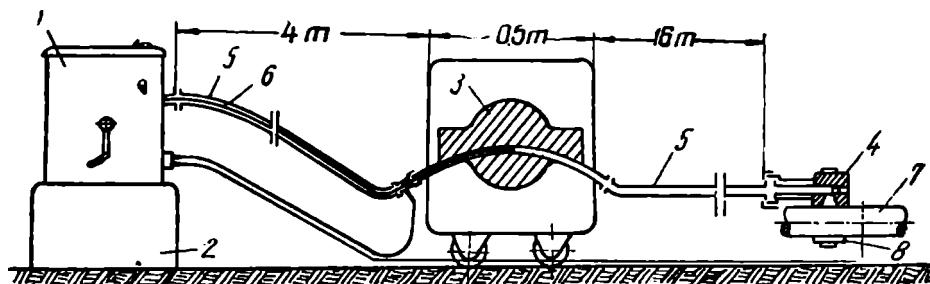


Fig. 4.6. Gamadefectoscop mobil

1, dispozitiv de acționare ; 2, cutia cu accesoriile ; 3, container ; 4, cap de iradiere ; 5, tub flexibil ; 6, cablu ; 7, obiect de controlat ; 8, film radiografic.

— *Containerul* sursei de radiații care servește la depozitarea și transportul sursei de la un loc de muncă la altul și este construit dintr-o parte centrală de plumb și o carcasă metalică exterioară.

— *Dispozitivul de acționare* este constituit din :

a. Sistemul de acționare, care are rolul de a scoate cablul metalic de 20 m lungime din cutie, în vederea transportării sursei. El este format dintr-un tren de role, din care una este motoare și patru role libere între care este strîns cablul prin intermediul unui resort. Cu ajutorul manivelei, solidară cu rola motoare, se acționează asupra cablului metalic flexibil.

b. Sistemul de înmagazinare a cablului este realizat într-un spațiu destul de redus între două conuri suprapuse. Cablul metalic flexibil antrenat de role cade între cele două conuri,

înfăşurîndu-se în cazul aducerii sursei de radiaţii în container şi debobinîndu-se în cazul cînd sursa este trimisă din container. La dispozitivul de acţionare este ataşată încă o cutie care serveşte ca depozit pentru toate piesele anexe ale instalaţiei.

— *Capul de iradiere* reprezintă un container local care se racordează la ultimul tronson al furtunului de ghidaj, prin care este împinsă sursa de radiaţii. Astfel, sursa de radiaţii se opreşte în capul de iradiere, rămînînd într-o poziţie fixă faţă de obiect. Cu ajutorul capului de iradiere se reduce raza zonei interzise pentru personalul care lucrează în jurul obiectului controlat.

Instalaţia pentru gamagrafie este prevăzută cu limitatori mecanici de poziţie a sursei. Cînd sursa ajunge în capul de iradiere sau în container, rolele nu mai antrenează cablul. În afară de limitatoarele mecanice de poziţie, instalaţia mai are şi semnalizare electrică de poziţie a sursei. Alimentarea sistemului de semnalizare este asigurată cu o baterie obişnuită de 4,5 V.

Principiul de funcţionare al instalaţiei mobile pentru gamagrafie este acelaşi, indiferent de tipul izotopului. Diferenţa constă în greutatea şi dimensiunile containerului.

4. Răspîndirea în ţara noastră a gamagrafiei

Sarcina desăvîrşirii construcţiei socialismului în ţara noastră, trasată de Congresul al III-lea al P.M.R., cît şi criteriile întrecerii socialiste pentru îmbunătăţirea calităţii produselor, au constituit o preocupare de seamă a cercetătorilor din cadrul Institutului de fizică atomică. Astfel, instalaţiile produse la I.F.A. au contribuit la îmbunătăţirea calităţii lucrărilor de construcţii şi montaj pe diferite şantiere cît şi în uzine. Pînă în prezent, I.F.A. a construit peste 40 de instalaţii care au fost deja livrate unităţilor industriale cu pondere însemnată în economia naţională. În acest sens pot fi amintite: hidrocentrala V. I. Lenin de la Bicaz, termocentralele electrice Brazi, Borzeşti etc.

Pe şantierele de construcţii şi montaj ale obiectivelor industriei chimice ca rafinăria Brazi, rafinăria Oneşti, Combinatul de îngrăşăminte azotoase Roznov, instalaţiile romîneşti şi-au găsit o largă întrebuinţare. I e asemenea, şantierele de montaj al conductelor magistrale de gaze folosesc cu succes aceste instalaţii.

În unele uzine metalurgice și constructoare de mașini s-a trecut la controlul prin gamagrafie al pieselor turnate, ca de exemplu la uzinele „Steagul Roșu” Brașov, Uzinele „Vulcan” București, „Independența” Sibiu etc.

În anul 1961, volumul lucrărilor controlate prin metoda gamagrafiei a crescut de peste 2,5 ori față de anul 1960. Aceasta se datorește și faptului că I.F.A. a pus la dispoziția unităților industriale instalațiile de gamagrafie necesare și a acordat permanent asistență tehnică.

Instalațiile românești pentru gamagrafie sînt sensibil mai ieftine decît instalațiile străine, folosite în același scop. În afară de aceasta, instalațiile românești au o mai mare mobilitate, o protecție mai bună și o productivitate mai ridicată.

5. Perspective de dezvoltare

În prezent la I.F.A., se studiază o serie de metode de defectoscopie care să mărească eficacitatea și productivitatea controlului. În acest scop se cercetează metoda defectoscopiei prin ionizare. Pe de altă parte, se fac lucrări de îmbunătățire a instalațiilor mobile existente de gamagrafie.

An de an se lărgeste colaborarea între I.F.A. și întreprinderile interesate, prin livrarea de instalații cu caracteristici tehnice mereu îmbunătățite, prin înlocuirea surselor dezintegrate cu surse noi produse în reactorul Institutului și prin pregătirea cadrelor calificate necesare efectuării lucrărilor de control gamagrafic.

Roadele acestei colaborări s-au concretizat în economii însemnate și în mărirea siguranței în exploatare a diferitelor instalații și agregate industriale.

§ 5. OBȚINEREA IZOTOPILOR RADIOACTIVI

CONSTANTIN CHIOTAN

Prepararea izotopilor radioactivi în țara noastră a început în anul 1957, după punerea în funcțiune a reactorului nuclear de la I.F.A. La început s-au făcut numai iradiieri de ținte, care se foloseau ca atare. Iradierea se făcea în ambalaje simple iar activitatea surselor obținute era de ordinul câtorva milicurii. Treptat, producția de izotopi radioactivi a crescut, ca urmare a punerii în funcțiune a camerelor fierbinți, a instalării de nișe, boxe etc.

Paralel cu dezvoltarea condițiilor materiale s-a format și personalul necesar preparării izotopilor radioactivi, astfel încît în prezent s-a organizat producția planificată a unei serii de izotopi radioactivi și combinații marcate, cu întrebuințări în industrie, medicină, agricultură și în laboratoarele de cercetări.

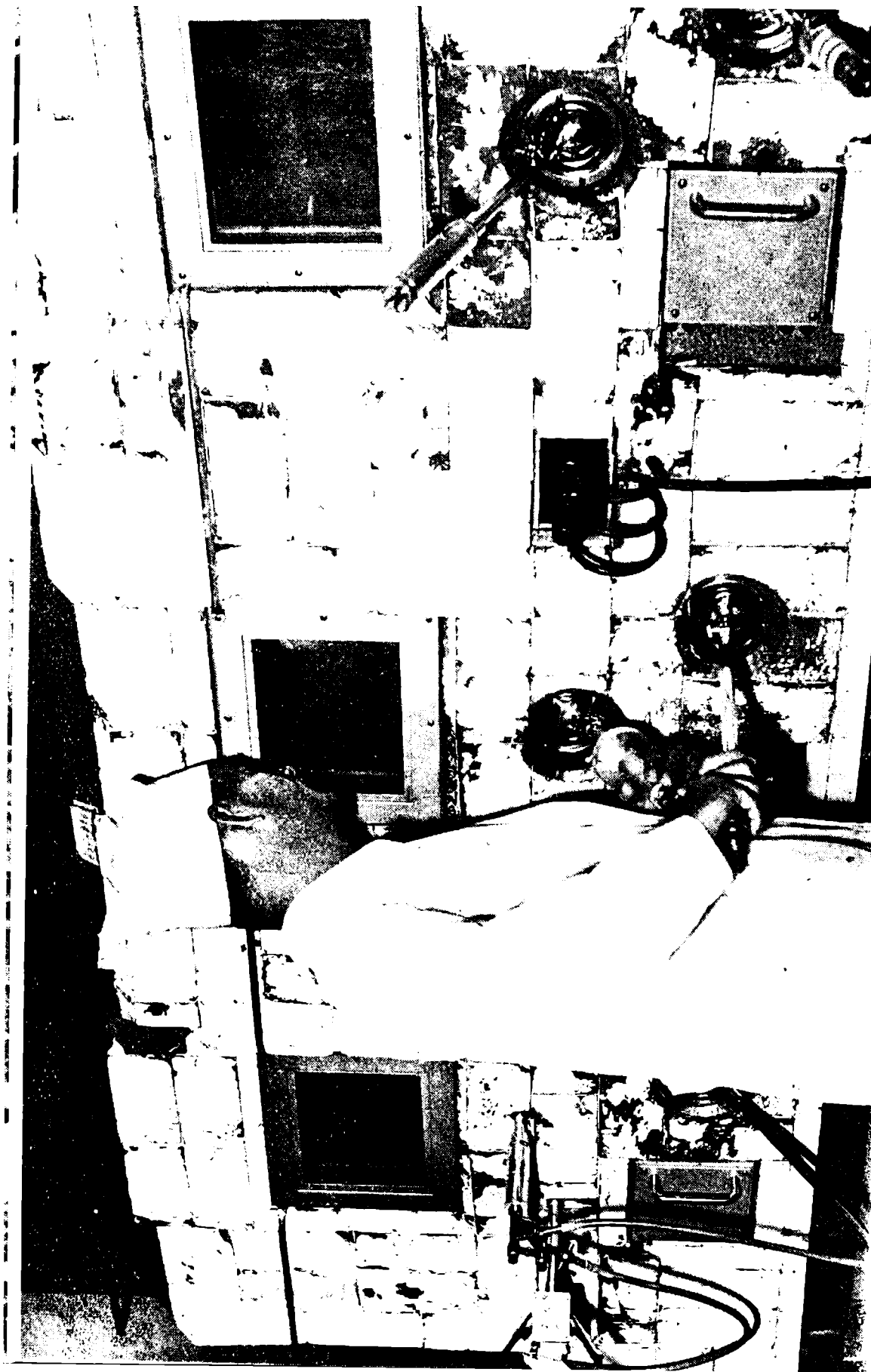
1. Reacțiile folosite pentru obținerea izotopilor radioactivi

Prepararea radioizotopilor se poate face prin bombardarea țintelor cu neutroni în reactor, prin bombardarea cu particule încărcate (protoni, deuteroni) sau cu fotoni generați de acceleratoare de particule ori separînd produșii de fisiune ai combustibilului folosit în reactoarele nucleare. Față de ciclotron, cu ajutorul căruia se pot obține numeroși izotopi radioactivi de mare activitate specifică, reactorul nuclear are avantajul productivității mari și al simplității procesului tehnologic de preparare.

La I.F.A. izotopii radioactivi se prepară în reactor.

Reacțiile nucleare folosite pentru preparare sînt de tipul (n, γ) , (n, p) și (n, α) .

a. *Reacțiile* (n, γ) au loc cu neutroni lenți. Cu ajutorul lor se obțin izotopii radioactivi ai tuturor elementelor cu excepția celor ai heliului. Randamentele reacțiilor nucleare sînt carac-



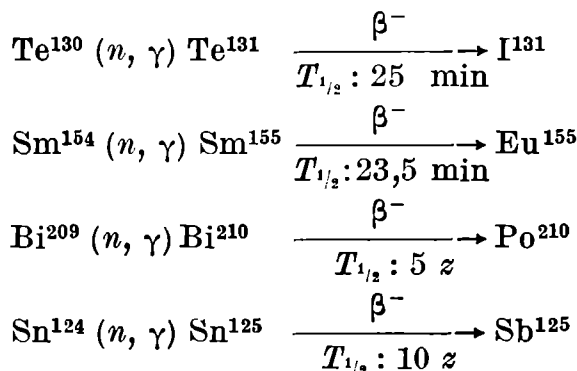
terizate prin secțiunile de activare, care diferă de la un element la altul. Izotopii radioactivi obținuți prin reacții de acest tip au același număr de ordine și deci aceleași proprietăți chimice ca elementul țintă. Din acest motiv, atomii radioactivi nu se pot separa de atomii neactivi ai elementelor țintă și de aceea sursele radioactive obținute au activități specifice relativ mici.

În vederea obținerii unor activități specifice ridicate, se pot folosi drept ținte substanțe îmbogățite în izotopul stabil activabil, când abundența acestuia în amestecul natural de izotopi este mică. Așa se procedează spre exemplu la obținerea Ca^{45} , Fe^{55} , Fe^{59} , Sn^{113} , I^{131} , deoarece abundențele naturale ale izotopilor activabili respectivi sînt Ca^{44} 2,13% — Fe^{54} 5,81% — Fe^{58} 0,34% — Sn^{112} 0,9% și Te^{130} 34,11%.

În unele cazuri, izotopii radioactivi obținuți prin reacții (n, γ) se transformă, prin dezintegrare β^- , în alți izotopi cu perioade de înjumătățire mai mari, care pot fi separați de atomii elementelor țintă, avînd numărul atomic Z mai mare cu o unitate.

În aceste cazuri, se pot obține izotopi radioactivi de mare activitate specifică.

Dintre acestea amintim reacțiile :



Pentru obținerea de activități specifice ridicate, prin reacții (n, γ) se poate folosi și metoda atomilor de recul (metoda Szilard-Chalmers). În reacțiile (n, γ) se degajă o mare cantitate de energie, care se repartizează între cuanta gama emisă și atomul radioactiv rezultat. Ca atare atomul radioactiv primește o energie de recul considerabilă, care depășește energia de legătură a acestuia cu restul atomilor din molecula compu-

sului iradiat. Din această cauză, atomii radioactivi formați se rup din compusul chimic iradiat, străbat o distanță oarecare în material cu o viteză foarte mare, după care se încetinesc, datorită efectelor de ionizare și de ciocnire cu moleculele întâlnite. În această situație atomii radioactivi, dacă nu se recombina cu atomii din jur spre a forma din nou compusul inițial, se pot separa pe cale chimică.

Drept ținte pentru obținerea de izotopi radioactivi prin această metodă se pot utiliza combinațiile complexe. În acest caz izotopul stabil din țintă se găsește sub formă de ion complex, pe când izotopul radioactiv apare sub formă de ion obișnuit separabil prin reactivii săi specifici.

Ca exemplu se amintește obținerea Co^{60} din $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6](\text{NO}_3)_2$ a Fe^{55+59} din $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ și $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, a Mn^{56} din KMnO_4 , As^{76} din $(\text{CH}_3)_2\text{AsOOH}$ etc.

Alteori separarea se bazează pe diferența stării de valență a celor doi izotopi, stabil și radioactiv.

Principalii izotopi radioactivi preparați la I.F.A. prin reacții (n, γ) ca și prin reacții (n, p) sînt arătați în tabela anexă.

b. *Reacțiile (n, p)* se caracterizează prin aceea că nucleele atomilor țintă captează cîte un neutron și emit cîte un proton.

Spre a învinge bariera de potențial din jurul nucleului, protonul trebuie să posede o energie cinetică minimă, numită energie de prag. Această energie este furnizată sistemului de către neutronul incident, reacțiile de acest tip fiind posibile cu neutroni rapizi.

Cu neutroni termici sînt posibile numai două reacții de acest tip și anume reacțiile de obținerea C^{14} și S^{35} , $\text{N}^{14}(n, p)\text{C}^{14}$, $\text{Cl}^{35}(n, p)\text{S}^{35}$.

c. *Reacțiile (n, α)* sînt acelea în care nucleul bombardat captează neutronul incident și emite o particulă α . Reacțiile de acest gen au loc cu neutroni rapizi. Ca exemple de reacții (n, α) la reactor, întîlnim reacția $\text{Li}^6(n, \alpha)\text{H}^3$ de care se face uz la prepararea tritiului, reacția $\text{B}^{11}(n, \alpha)3\text{He}^4$ e utilizată în contoarele pentru detectarea neutronilor și reacția $\text{Cl}^{35}(n, \alpha)\text{P}^{32}$ care are loc în același timp cu reacția $\text{Cl}^{35}(n, p)\text{S}^{35}$, dînd naștere la P^{32} , care impurifică S^{35} .

2. Tehnologia obținerii izotopilor radioactivi

Această tehnologie constă dintr-o serie de operații importante, după cum se arată mai jos.

a) *Alegerea materiei prime pentru iradicre.* Factorii ce trebuie avuți în vedere la alegerea materiei prime sînt : puri-

tatea chimică, stabilitatea la iradiere, conținutul procentual al elementului ce se activează în materia primă și abundența elementului țintă în amestecul natural de izotopi.

Materia primă din care se formează țintele supuse iradierii trebuie să fie cât mai pură, „pro analysi” sau spectrografic pură; în principiu, ea nu trebuie să conțină ca impurități elemente care se activează ușor și care dau izotopi cu viață lungă și cu caracteristici apropiate de ale izotopilor radioactivi a căror preparare se urmărește.

Materia primă trebuie să fie stabilă la temperatură, la bombardamentul cu neutroni și la acțiunea radiațiilor din reactor. Acțiunea acestora duce la dezagregarea substanțelor organice, devitrifierea sticlei, descompunerea substanțelor explozive etc. De aceea, elementul de activat trebuie să se găsească sub formă chimică stabilă: formă elementară (recomandabilă mai ales pentru metale), oxizi, cloruri sau azotați.

După cum s-a arătat mai sus, la alegerea materiei prime trebuie să se țină seama și de abundența izotopului țintă în amestecul natural de izotopi. Când abundența este mică, se recomandă să se utilizeze elemente îmbogățite în izotopul țintă ce interesează. Așa este cazul de exemplu la obținerea Ca^{45} (abund. $\text{Ca}^{44} = 2,06\%$), la obținerea Fe^{59} (abund. $\text{Fe}^{58} = 0,31\%$) etc.

b) Prepararea țintelor pentru iradiere. Operația constă în așezarea materiei prime în vasele (conținerele) în care se face iradierea. Acestea sînt fie mici bidonase și penale de aluminiu de diferite forme și dimensiuni, după natura și mărimea (cantitatea) substanței ce se iradiază (ținte pulverulente, ținte metalice de diferite forme), fie fiole de cuarț, îndeosebi pentru substanțele lichide.

Penalele sau fiolele se introduc la rîndul lor în alte conținere (denumite blocuri) tot din aluminiu, de forme și de dimensiuni ce depind de canalul reactorului în care se face iradierea, și se închid ermetic prin sudură, în atmosferă de heliu sau argon.

În figura 5.1 se arată cîteva modele de penale și blocuri de iradiere.

În cazul iradierii unor cantități mari de substanțe (de exemplu, pentru obținerea C^{14} , S^{35} etc.) materia primă se presează sub formă de brichete și apoi se așază în penale. Se comprimă de asemenea în tablete de greutate determinată țintele care dau naștere la izotopi de mare activitate, ceea ce face imposibilă cîntărirea lor după activare (spre exemplu Na^{24}).

c) *Iradieră țintelor.* Această operație se poate face în diferite canale ale reactorului, unde valoarea maximă a fluxului este de $1 \cdot 10^{13}$ neutroni/cm².s.

d) *Timpul de iradiere.* Calculul timpului de iradiere în reactor se face după formula :

$$\text{act. specifică} = \frac{0,6 \Phi \sigma}{3,7 \cdot 10^{10} A} \left(1 - e^{-\frac{0,693 t}{T_{1/2}}} \right) \text{ c/g.}$$

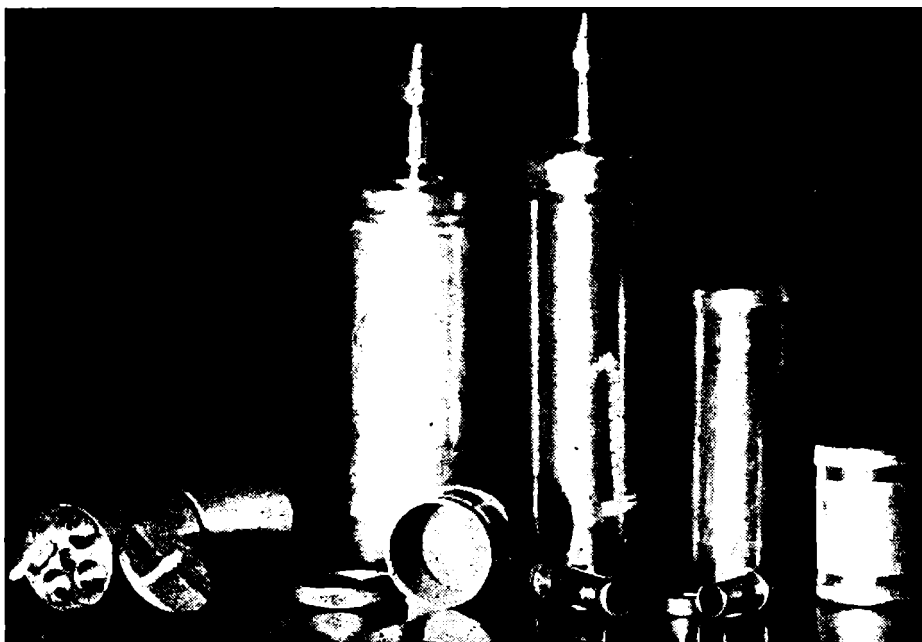
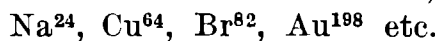


Fig. 5.1. — Diferite tipuri de containere și penale pentru iradierea țintelor în reactor.

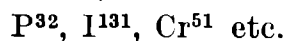
în care Φ este fluxul de neutroni pe cm² și secundă, σ , secțiunea de activare în barni (10^{-24} cm²), A , greutatea atomică a elementului iradiat, t , timpul de iradiere și $T_{1/2}$ timpul de înjumătățire al izotopului radioactiv format.

Din punctul de vedere al timpului de iradiere se disting patru grupe principale de izotopi :

1) Izotopi cu timpi de înjumătățire de la câteva ore până la 3 zile, cu timpul de iradiere de 15—24 ore, de exemplu



2) Izotopi cu $T_{1/2}$ de la 3 zile până la 30 zile, cu timpul de iradiere de 3 până la 30 zile, ca de exemplu



3) Izotopi cu $T_{1/2}$ de peste 30 zile, cu timpul de iradiere pînă la 3 luni, ca de exemplu

Fe^{59} , S^{35} , Zr^{95} , Ca^{45} , Zn^{65} etc.

4) Izotopi cu $T_{1/2}$ foarte mare și cu timpul de iradiere de minimum 6 luni, ca de exemplu

Co^{60} , C^{14} , Cl^{36} etc.

Evident că această împărțire este convențională și servește numai ca orientare. Așa, spre exemplu, Ir^{192} , după clasificarea de mai sus, aparține grupei a treia, dar iradierea se face după timpul grupei a doua, din cauza mării secțiuni de activare a elementului țintă Ir^{191} .

e) *Prelucrarea țințelor iradiate.* Sursele radioactive obținute după iradiere se pot folosi fie ca trasori radioactivi, fie ca surse de radiații în diferite aparate, cum sînt aparatele de gamagrafie, aparatele indicatoare de nivel, de grosimi și altele. Pentru prepararea surselor de acest gen, se caută ca prelucrarea după iradiere să fie cît mai redusă, prin executarea tuturor operațiilor posibile înainte de activare.

O parte din sursele obținute sînt supuse la operații de prelucrare chimică. Amploarea operațiilor chimice este funcție de natura și energia radiațiilor surselor, fiind maximă la sursele care emit radiații β moi și aproape neînsemnată la cele care emit radiații γ dure.

Sursele care emit radiații β moi servesc îndeosebi la prepararea combinațiilor marcate cu atomi radioactivi (combinații în care cel puțin unul din atomi este radioactiv).

Aceștia sînt C^{14} , S^{35} , Ca^{45} , W^{185} , Cl^{36} , Tl^{204} etc.

Prelucrarea țințelor iradiate în vederea obținerii combinațiilor cu acești izotopi radioactivi se face în nișe sau boxe metalice ori din plexiglas, prevăzute cu mănuși. Ele trebuie să fie etanșe și bine ventilate (fig. 5.2).

Sursele care emit radiații β dure și γ moi cuprind izotopii radioactivi P^{32} , I^{131} , Au^{198} , Ir^{192} ș.a. Dintre acestea, prezintă importanță deosebită, preparatele de P^{32} , I^{131} , Au^{198} (sub formă coloidală), cu întrebuințări medicale. Prelucrarea acestor izotopi radioactivi se face în celule cu pereți de oțel sau de plumb, de grosime de 30-100 mm, prevăzute cu manipolatoare de tipul mîinilor mecanice sau de tip ștangă, fixate în peretele din față al nișei (fig. 5.3 a, b, c). Transvazarea lichidelor se face cu ajutorul unor instalații pneumatice comandate din afară.

Sursele care emit radiații γ dure, cum sînt Na^{24} , K^{42} , Co^{60} ș.a., se manipulează în camere fierbinți sau în celule cu pereți de plumb de minimum 100 mm grosime. Prelucrarea

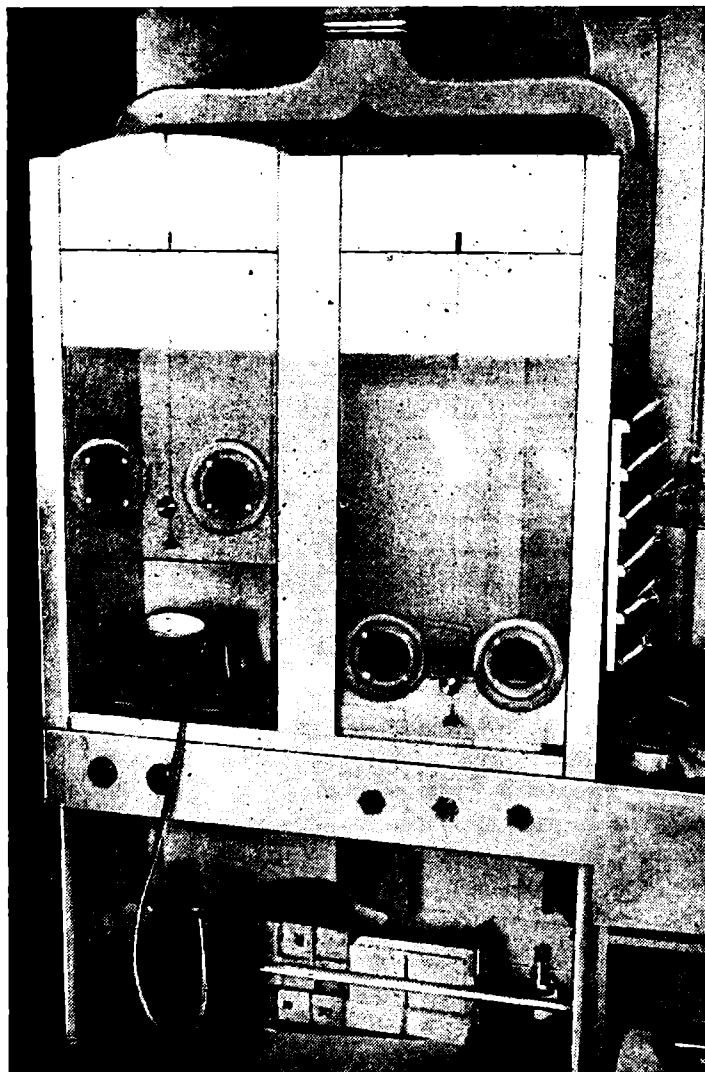


Fig. 5.2. — Nișă metalică pentru lucrul cu izotopi radioactivi care emit radiații beta moi.

chimică a acestora este foarte redusă, constînd numai din diviziuni, dizolvări, filtrări. Pentru reducerea la minimum a prelucrărilor acestor surse, înainte de iradiere se fac toate operațiile

posibile, ca de exemplu tabletarea clorurii de sodiu cu destinație medicală în tablete de greutate determinată, spre a evita cîntărirea lor după iradiere etc.

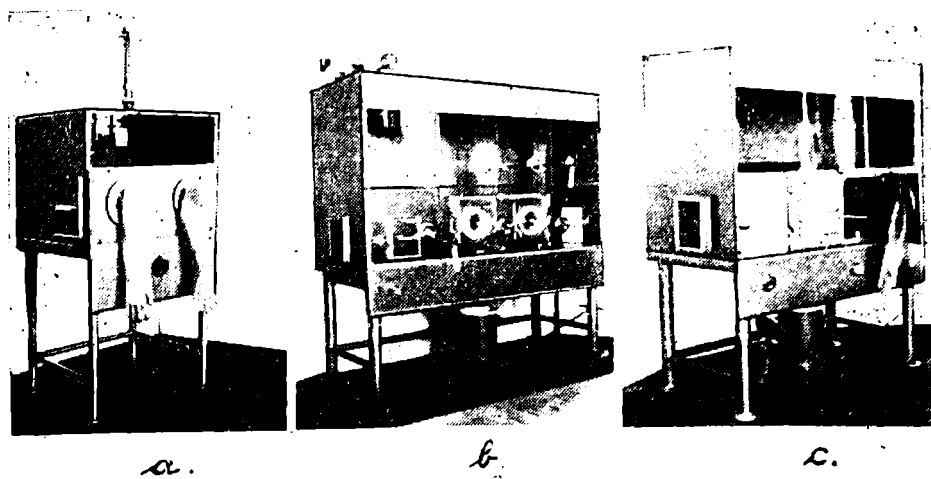


Fig. 5.3. — Nișe pentru prepararea P^{32} : a) nișă pentru divizarea fosforului roșu; b) nișă de înfiolare; c) nișă de preparare.

În tabela anexă, sînt arătați izotopii radioactivi și combinațiile marcate ale acestora, preparate pînă în prezent în cadrul I.F.A.

Tabela izotopilor radioactivi livrabili de I.F.A.

Nr. crt.	Izotopul radioactiv	$T_{1/2}$	Combinații marcate
1	C^{14}	5 568 ani	Carbonat de bariu Carbonat de sodiu
2	Na^{24}	15 ore	Clorură Carbonat Bicarbonat
3	Si^{31}	2,6 ore	Elementar Bioxid
4	P^{32}	14,3 zile	Fosfor roșu Acid fosforic, fosfați Dietil ditiofosfat de sodiu Diaril ditiofosfat de sodiu Aplicatori

(urmare)

Nr. crt.	Izotopul radioactiv	$T_{1/2}$	Combinații marcate
5	S^{35}	87,1 zile	Sulfați de bariu, de sodiu, de cupru, de fier Sulfuri de bariu, de sodiu, de fier, de zinc Sulf elementar; Tiosulfat Acid sulfuric Sulfură de carbon Tiouree Xantogenați de potasiu
6	Cl^{36}	3.10^5 ani	Cloruri de argint, de sodiu, de potasiu Acid clorhidric
7	K^{42}	12,4 ore	Clorură Carbonat Bicarbonat
8	Ca^{45}	164 zile	Carbonat, oxid, clorură, azotat
9	Cr^{51}	27,8 zile	Azotat Sulfat Cromat de sodiu Clorură
10	$Fe^{55} + ^{59}Fe^{55}$ Fe^{59}	2,94 ani 45,1 zile	Metalic Oxid Clorură ferică
11	Co^{60}	5,25 ani	Metalic Azotat Surse pentru gamagrafie
12	$Ni^{63} + ^{65}Ni^{63}$ Ni^{65}	126 ani 2,56 ore	Azotat, sulfat
13	Zn^{65}	243,5 zile	Metalic, Oxid Clorură
14	Br^{81}	35,87 ore	Bromură de bariu
15	Rb^{86}	18,54 zile	Carbonat Clorură
16	Zr^{95}	65 zile	Metalic Sulfat
17	Ag^{110}	270 zile	Metalic Azotat

(urmare)

Nr. crt.	Izotopul radioactiv	$T_{1/2}$	Combinații marcate
18	In ¹¹⁴	49 zile	Metalic Clorură
19	I ¹³¹	8,14 zile	Iodură de sodiu Iod elementar
20	Sb ¹²⁴	53,7 zile	Metalic
21	Cs ¹³⁴	2,07 ani	Surse pentru gamagrafie
22	Ta ¹⁸²	115,5 zile	Metalic
23	W ¹⁸⁵	74,5 zile	Oxid de wolfram Wolframat de sodiu
24	Ir ¹⁹²	74,37 zile	Surse pentru gamagrafie
25	Au ¹⁹⁸	2,69 zile	Metalic
26	Hg ²⁰³	46,9 zile	Metalic
27	Tl ²⁰⁴	2,7 ani	Metalic, azotat, sulfat.

§ 6. SINTEZA ȘI APLICAȚIILE COMPUȘILOR ORGANICI MARCAȚI

ALEXANDRU T. BALABAN, CONSTANȚA MĂNTESCU și
OLIMPIU CONSTANTINESCU

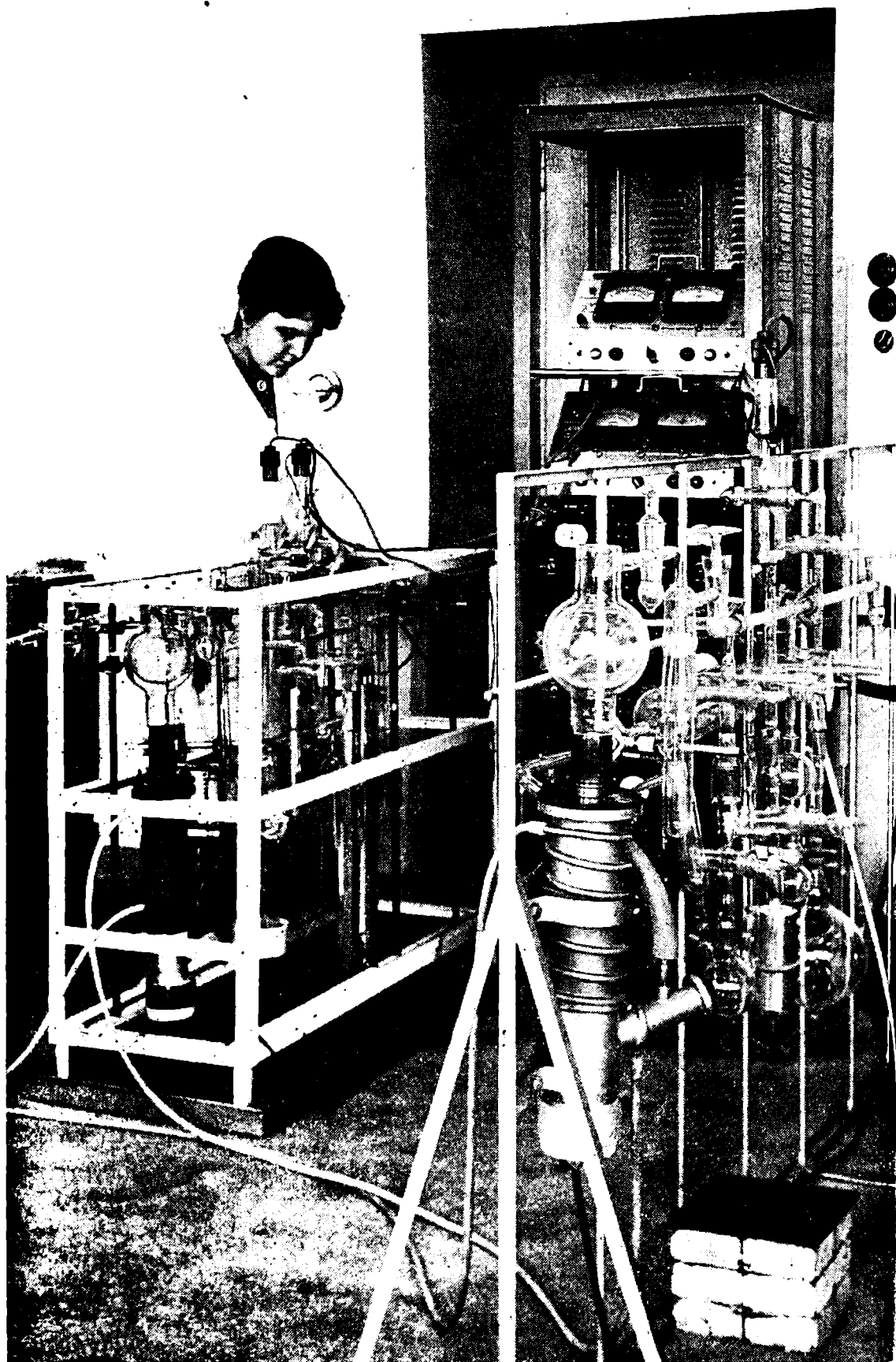
1. Introducere

Descoperirea izotopilor a permis apariția unei metode noi de cercetare de mare eficacitate, cu ajutorul căreia s-au putut aborda și rezolva probleme care nu ar fi putut fi dezlegate pe altă cale. Această metodă constă în înlocuirea unui sau mai multor atomi dintr-o combinație chimică prin izotopii lor, obținându-se astfel o combinație „marcată”, care nu diferă chimic de combinația nemarcată, dar care poate fi urmărită și dozată extrem de precis, prin metode fizice de mare sensibilitate. În cazul când izotopul cu care se face marcarea este radioactiv, se utilizează denumirea de metodă a indicatorilor sau trasorilor radioactivi.

Metoda indicatorilor radioactivi prezintă două caracteristici principale care-i conferă o eficacitate excepțională și anume sensibilitate și specificitate.

Metoda este indicată în mod special, datorită sensibilității, la decelarea urmelor de impurități în substanțele „spectroscopic pure”, pentru determinarea solubilității produsilor „insolubili”, pentru determinarea tensiunii de vapori a compușilor greu volatili etc., permițând, în condiții favorabile, dozarea unor cantități de material de ordinul 10^{-19} g.

Pe de altă parte, specificitatea datorită caracteristicilor nucleare ale fiecărui nuclid, adică masa în cazul izotopilor stabili sau timpul de înjumătățire și natura radiației în cazul izotopilor radioactivi, permite să se urmărească fără ambiguitate transformările speciilor marcate în timpul peregrinărilor lor în timp și spațiu. În cinetica chimică în special, mersul reacției este „trasat” direct, examinând ce se întâmplă cu atomii radioactivi din punct de vedere fizic și chimic.



În cele ce vor urma ne vom ocupa de obținerea și folosirea combinațiilor organice marcate, combinații care sînt necesare acolo unde se urmărește transformarea moleculei ca în reacțiile chimice, biologice etc. și unde este necesar să se cunoască procesul intim al regroupării atomilor în reacție.

După cum se știe, chimia organică se ocupă de combinațiile carbonului cu hidrogenul și de derivații acestor combinații. Pentru marcarea compușilor organici intră deci în primul rînd în discuție izotopii carbonului (C^{14}) și ai hidrogenului (D, T). Dintre ceilalți izotopi care pot fi utilizați pentru marcarea moleculelor organice, mai importanți sînt N^{15} , O^{18} , S^{35} , P^{32} și I^{131} . Izotopii N^{15} și O^{18} sînt stabili și sînt folosiți deoarece aceste elemente nu au nici un izotop radioactiv cu timp de înjumătățire mai mare de cîteva minute. De asemenea, în cazul hidrogenului se folosește uneori pe lîngă izotopul radioactiv (tritiul) și izotopul stabil (deuteriul).

Chimia combinațiilor marcate se deosebește de cea clasică atît prin metodele de măsură cît și prin metodele de sinteză. Ținînd seama de prețul încă ridicat al izotopilor, sintezele se efectuează în microcantități, utilizînd tehnici speciale. Din punctul de vedere al protecției, lucrul cu C^{14} , T și S^{35} impune existența nișelor special ventilate și a boxelor cu mănuși iar pentru P^{32} și I^{131} , care emit radiații mai penetrante, se impune utilizarea unor nișe speciale prevăzute cu telemanipulatoare și ecrane adecvate.

Se poate spune fără exagerare că în prezent majoritatea cercetărilor în biologie, biochimie și medicină necesită folosirea izotopilor și în special a compușilor organici marcați, deoarece substanțele organice sînt cele care intră în compoziția și în procesele metabolice ale organismelor vii.

În Institutul de fizică atomică, pînă în prezent, s-au obținut, în cadrul laboratoarelor de radiochimie, substanțe organice marcate cu izotopi radioactivi ai iodului, sulfului și fosforului. Avîndu-se în vedere importanța substanțelor organice marcate, a fost organizat de curînd un laborator de substanțe organice marcate, care se ocupă în special de marcarea cu izotopii radioactivi ai carbonului și hidrogenului (C^{14} și T). În preocuparea acestui laborator intră și compușii marcați cu izotopi stabili (O^{18} și D).

← INSTALAȚII PENTRU CERCETĂRI ȘI MĂSURĂRI CU AJUTORUL TRITIULUI ȘI CARBONULUI RADIOACTIV.

A. Carbonul radioactiv

C^{14} este, fără îndoială, izotopul radioactiv cel mai folosit la marcarea substanțelor organice, atât prin faptul că elementul carbon se găsește în toate combinațiile organice, cât și pentru caracteristicile sale nucleare și anume : timpul de înjumătățire, este de 5 568 ani, ceea ce permite conservarea substanțelor marcate cu C^{14} un timp îndelungat și eliminarea corecțiilor de dezintegrare ; nu emite radiații γ iar energia maximă a particulelor β este de 0,15 MeV ; această energie relativ mică permite pe de o parte manipularea comodă, iar pe de altă parte poate fi înregistrată relativ ușor. Avîndu-se în vedere că electronii emiși de C^{14} sînt complet reținuți de pereții de sticlă ai vaselor sau de stratul de cauciuc al unei mănuși chirurgicale, manipularea acestui izotop nu pune probleme speciale de protecție.

C^{14} se obține în reactorul nuclear, prin reacția $N^{14} (n, p)C^{14}$, iradiind cu neutronii termici timp îndelungat, pînă la 2 ani, substanțe cu procent ridicat de azot, ca azotatul de amoniu sau azotura de beriliu. C^{14} este eliberat din ținta iradiată și transformat în $C^{14} O_2$ care este apoi absorbit în hidroxid de bariu. De aceea, forma cea mai frecventă sub care este livrat, și deci și materia primă de bază pentru obținerea compușilor marcați cu C^{14} , este carbonatul de bariu. Astfel chimia preparativă a combinațiilor organice marcate se deosebește de sinteza organică obișnuită prin aceea că trebuie să plece de la o singură materie primă, $Ba C^{14} O_3$.

Pentru obținerea compușilor marcați cu C^{14} se folosesc în general două procedee și anume : biosinteza și sinteza chimică. Biosinteza, mai greoaie și complicată, nu se folosește decît atunci cînd nu există metode chimice adecvate, de exemplu pentru obținerea de zaharuri, steroizi, antibiotice etc. Sinteza chimică este mult mai folosită iar căile de obținere a substanțelor marcate au adoptat fie procedee vechi, fie au pus la punct noi metode pentru a transforma $C^{14}O_2$ în diferiți compuși organici de bază pentru sinteze. În sintezele cu carbon radioactiv se utilizează adesea tehnica vidului înalt pentru a se putea transfera cantitativ volume mici de substanțe volatile. Folosirea purtătorilor (combinații de aceeași natură chimică cu cele sintetizate dar nemarcate) este de mare ajutor pentru mărirea randamentelor și recuperarea cantitativă a combinațiilor marcate. Activitatea specifică maximă care se poate obține în mod practic este de 30 mc/atom gram.

Aplicațiile compușilor marcați cu C^{14} sînt foarte numeroase. Se poate spune că nu există domeniu al chimiei organice și al biochimiei unde să nu se fi aplicat sau unde să nu se poată aplica cu folos marcarea cu carbon radioactiv. Este suficient să amintim elucidarea mecanismului fotosintezei, pentru care M. Calvin, autorul primei monografii despre radiocarbon, a primit premiul Nobel, studiul metabolismului proteinelor și aminoacizilor în organism, studiul sintezei și degradării acizilor grași, studiile asupra biosintezei alcaloizilor și terpenilor în plante, oferindu-se astfel o bază experimentală ipotezelor îndrăznețe emise prin simple intuiții și analogii. În chimia organică, C^{14} a permis elucidarea a numeroase mecanisme de reacție și evidențierea unor transpoziții încă nebănuite. Așa sînt eliminarea de hidracizi din derivații halogenați aromatici ducînd la derivați ai dehidrobenzenului sau rearanjările catenelor alifatice ale alcanilor, cicloalcanilor sau fenilalcanilor, în desaminarea cu acid azotos sau în izomerizarea hidrocarburilor sub acțiunea clorurii de aluminiu. În alte cazuri, folosirea compușilor marcați permite simplificarea rezolvării unor probleme, ca de exemplu analiza amestecurilor hidrolizate proteice, sau a fracțiunilor petrolifere prin metoda diluției izotopice.

În vederea lucrărilor viitoare, laboratorul de substanțe marcate din I.F.A. a pus la punct metodele de măsură și instalațiile de vid pentru sinteze.

Printre noile metode ce vor căpăta o extindere mare, cea mai importantă este aceea a sintezei compușilor aromatici marcați la nucleu. La I.F.A., s-a urmat o cale originală, bazată pe transformarea sărurilor de piriliu în compuși aromatici. În unele lucrări publicate recent s-a arătat că prin diacilarea alchenelor (propenă, izobutenă etc.) se obțin, cu randament bun, săruri de piriliu în prezența catalizatorilor Friedel-Crafts. Sărurile de piriliu obținute, marcate cu C^{14} , se pot ușor transforma în derivați aromatici (fenoli, nitroderivați, acizi carboxilici, cetone), heterociclici (piridine, piridin-N-oxizi, furani), azulene, și combinații aciclice.

B. Deuteriul și tritiul

Pe lângă carbon, în compoziția substanțelor organice intră un alt element de bază, și anume hidrogenul, care are doi izotopi: deuteriul, izotop stabil, și tritiul, izotop radioactiv.

Timpul de înjumătățire al tritiului este de 12,26 ani; el se dezintegrează în He^3 emițînd un electron negativ, a cărui

energie maximă este de 0,018 MeV, cea mai slabă energie β emisă de un izotop radioactiv. Tritiul se obține în reactorul nuclear prin iradierea compușilor litiului cu neutroni termici. Tritiul ce ia naștere în ținta iradiată se pune în libertate prin încălzire și este apoi oxidat la apă tritiată sau livrat sub formă de hidrogen tritiat.

Deuteriul se găsește în natură sub formă de D_2O și se separă prin diferite metode.

Interesul mereu crescând pentru calitățile trasoare ale izotopilor hidrogenului și în special ale tritiului este determinat de mai multe cauze și anume : timpului de înjumătățire al tritiului de 12,26 ani îi corespunde o activitate de 30 c/miliatomgram ; se măsoară fără greutate concentrații de tritiu în hidrogen de 10^{-14} și, cum tritiul se poate procura aproape pur, se dispune în felul acesta de un trasor extrem de sensibil ; tritiul este de aproximativ 1 000 de ori mai activ decât C^{14} , care are un timp de înjumătățire mult mai mare, și de aproximativ 25 de ori mai ieftin. În raport cu deuteriul, tritiul prezintă avantajul sensibilității, deoarece pentru biologi dozarea deuteriului este lipsită de interes, concentrațiile sub 10^{-4} fiind greu de pus în evidență. Pentru a fi dozați este necesar ca ambii izotopi să fie aduși sub forme chimice mai simple, adică sub formă de gaz sau apă deuterată sau tritiată. Datorită energiei foarte reduse a radiației tritiului, măsurătorile radioactivității acestui izotop necesită o tehnică specială. Din aceeași cauză tritiul nu prezintă pericol atât timp cât este în afara corpului omenesc, ci numai la expunere internă.

Spre deosebire de ceilalți izotopi stabili, analiza deuteriului este relativ mai simplă. În timp ce de exemplu pentru O^{18} și N^{15} se folosește numai spectrometria de mase, deuteriul sub formă de apă poate fi analizat și prin diferența de densitate (folosind metoda picnometrului sau a picăturii căzătoare), de indice de refracție etc. Deuteriul gazos poate fi analizat și prin conductibilitate termică. În ultima vreme s-a folosit la I.F.A. rezonanța magnetică nucleară pentru analiza apei deuterate.

La marcarea compușilor organici cu izotopii hidrogenului trebuie să se țină seama de tăria legăturilor chimice între atomii de hidrogen și restul molecular. În funcție de tăria acestor legături, atomii de hidrogen ai unei molecule organice se pot clasifica în două categorii : hidrogen legat stabil și hidrogen legat labil, acesta din urmă putând ușor să se schimbe cu atomii de hidrogen ai apei. Pentru experiențele în care se folosesc moleculele ce conțin tritiu, se marchează numai hidrogenii stabili

ai moleculei. Producția tritiată trebuie să fie complet eliberată de hidrogenul radioactiv ce ocupă poziții labile; acest lucru se face dizolvând substanța în apă sau mai bine într-o soluție bazică, care favorizează schimbul tritiului legat labil cu hidrogenul apei.

Metodele folosite pentru marcarea cu tritium sînt asemănătoare cu cele folosite la C^{14} și anume sinteza biologică și sinteza chimică. Pentru acest izotop radioactiv există unele metode de sinteză care permit să se atingă activități specifice de 60 c/milimol. Pentru marcarea cu tritium s-au aplicat o serie de metode specifice, ca schimbul catalitic cu apă și aici tritiat și în ultima vreme marcarea prin atomi de tritium de recul sau marcarea prin schimb cu tritium gaz (așa-numita metodă Wilzbach). Această metodă este foarte folosită cînd trebuie marcate nespecific molecule greu de obținut sau imposibil de obținut prin alte metode.

Biologia, biochimia, farmacologia și clinica sînt domenii în care substanțele marcate cu izotopii hidrogenului au găsit o largă aplicabilitate.

În biochimie tritiul a fost folosit pentru a studia comportarea atomilor de hidrogen în timpul transformărilor metabolice. Pentru aceasta s-au folosit moleculele obținute prin sinteză, în care poziția marcajului a fost bine stabilită. Deși față de deuteriu, tritiul prezintă avantajul sensibilității, existența acestor doi izotopi ai hidrogenului permite să se întrevadă experiențe în care doi atomi de hidrogen ai aceleiași molecule să poată fi urmăriți simultan și independent. S-a studiat astfel metabolismul apei marcate și încorporarea hidrogenului în diferite fracțiuni de constituenți ai țesuturilor.

S-a putut preciza originea biologică a grupei metil a adrenalinei. Se știa pe baza experiențelor cu C^{14} că atomul de carbon al grupei metil a metioninei este folosit pentru biosinteza adrenalinei și că este încorporat în grupa metil a acesteia din urmă. Pentru a demonstra că bioreacția dintre metionină și adrenalină este o transmetilare, trebuia demonstrat și că cei trei atomi de hidrogen rămîn fixați la carbon în timpul întregii operații. S-a lucrat cu metionină marcată la grupa metil și cu carbon și cu hidrogen și s-a confirmat această presupunere.

De multe ori tritiul a fost folosit pentru a marca întreaga moleculă și apoi a o urmări în timpul unui proces fiziologic de absorbție, de transport etc., care nu este însoțit de transformări moleculare, sau pentru studii metabolice în care cea mai mare parte a moleculei rămîne neschimbată.

Radiația puțin penetrantă a tritiului a permis localizarea foarte precisă în celulele vii. Această localizare se face prin tehnica autoradiografică. Autoradiografia detectează tritiul dar nu identifică molecula tritiată. Calitatea înaltă și precizia histoautoradiografiilor datorită activităților specifice mari ce se pot obține la marcarea cu tritiu a deschis un domeniu nou de cercetare.

În clinică tritiul sub formă de apă tritiată a fost utilizat pentru a măsura apa totală din organism. Posibilitatea de a folosi tritiul în radioterapia anticanceroasă a început să fie serios explorată. În farmacologie, ca și C^{14} , și tritiul a fost folosit pentru a caracteriza noile produse și a le determina stabilitatea chimică și biologică, locul și gradul de absorbție, timpul de înjumătățire biologic, etc.

Petroliștii au folosit tritiul studiind în laborator și în exploatare curgerea fluidelor. Factorii de diluție frecvent folosiți sînt de 10^{13} . Din punct de vedere geofizic, tritiul reprezintă un instrument important în studiile asupra mișcărilor atmosferei; la fel în oceanografie, hidrologie, geologie și în studiile asupra coroanei solare.

Folosirea tritiului ca trasor ridică în primul rînd problema detecției și măsurătorilor preparatelor marcate. De aceea, sarcina primordială care a stat în fața cercetătorilor din laboratorul de substanțe organice marcate din I.F.A. a fost elaborarea metodelor de detecție și măsură.

Pentru aceasta au fost construite instalații de vid înalt, fiind necesară introducerea cantitativă a microcantităților în contoare, în absența completă a aerului care dăunează caracteristicilor contorului, cît și elaborarea unor noi metode de sinteză a substanțelor scintilatoare specifice. În aceste direcții s-a reușit să se obțină metode sensibile și eficiente atît în ceea ce privește contoarele cu gaz cît și substanțele scintilatoare.

Pe lângă utilizarea lui în tehnica vidului înalt și în fizica nucleară, tritiul a fost utilizat la I.F.A., pînă acum, în studiile de chimie nucleară, punîndu-se la punct o metodă trasoare foarte sensibilă pentru urmărirea reacțiilor chimice care au loc în solid.

În planul de perspectivă al laboratorului de substanțe organice marcate intră găsirea de noi metode de marcarea a compuşilor organici cu tritiu și deuteriu.

**C. Alți izotopi radioactivi utilizați la marcarea compușilor organici:
 S^{35} , P^{32} și I^{131}**

Între izotopii radioactivi care emit numai radiații beta și anume radiații beta moi ca tritiul și C^{14} , este și S^{35} , care se obține în reactorul nuclear prin iradierea sulfurului inactiv sau clorului.

Izotopul radioactiv S^{35} , cu un timp de înjumătățire de 87 zile și energia beta de 0,160 MeV, pune din punctul de vedere al detecției și măsurătorii, precum și al protecției muncii, aceleași probleme ca și C^{14} . Spre deosebire de lucrările cu C^{14} , în lucrările cu S^{35} , care cer un timp mai îndelungat, sînt necesare corecțiile de dezintegrare, care se fac asupra rezultatelor măsurătorilor de activitate.

Deși este conținut într-un număr mult mai mic de substanțe organice, sulfurul reprezintă totuși un element cu o importanță deosebită în biologie, în calitate de component al tioaminoacizilor (cisteină, cistină, metionină), al grupărilor active ale unor enzime și hormoni (insulină, coenzimă A, tripsină), al unei serii de principii medicamentoase (tiouree, tiouracil, penicilină), al unor lipide etc.

Folosirea S^{35} în substanțele menționate dă posibilitatea de a cerceta reacțiile chimice multiple la care participă în organism aceste componente, de a stabili rolul lor, precum și mecanismul prin care intervin în procesele metabolice.

În afara substanțelor organice marcate cu S^{35} s-au folosit și o serie de substanțe anorganice marcate, ca sulfatul de sodiu, sulfura de bariu, tiosulfatul de sodiu etc. Cu ajutorul acestor substanțe, s-au urmărit problemele legate de ritmul de eliminare a sulfurului din organism și de distribuire a acestuia în diferitele țesuturi, stabilindu-se de exemplu fixarea lui preferențială în țesuturile conjunctive.

În laboratoarele Institutului de fizică atomică s-au obținut o serie de substanțe marcate cu S^{35} și anume: sulfat de sodiu, sulfat de bariu, sulfură de bariu, tiosulfat de sodiu și, în fază experimentală, tioureea și metionina.

La sectorul Preparare radioizotopi de la reactorul I.F.A. pe lângă S^{35} se prepară și un alt izotop radioactiv folosit în industrie, biologie și medicină, și anume P^{32} .

P^{32} este un izotop emițător β pur, însă cu radiație penetrantă, deoarece are o energie de 1,7 MeV. Spre deosebire de tritiu C^{14} și S^{35} , emițători β puri dar cu radiație β moale, P^{32} impune existența nișelor ecranate pentru radiații și a telemanipulatoare-

lor. Măsurătorilor activității preparatelor cu P^{32} trebuie să li se aplice corecțiile de dezintegrare datorită timpului său de înjumătățire de numai 14 zile.

Cu ajutorul P^{32} s-a pus în evidență absorbția preferențială a acestuia în țesuturile tumorale, fapt important pentru cercetările clinice, permițând folosirea lui în diagnosticul și terapia anumitor tumori; s-au cercetat căile de eliminare ale fosforului din organism, precum și diferențele care se constată la eliminarea acestuia în cazuri patologice. Studiind metabolismul fosfolipidelor, s-au făcut progrese în cunoașterea căilor de sinteză a fosfolipidelor, a rolului ficatului în aceste sinteze, a variației concentrației fosfolipidelor în sistemul nervos în stare de activitate și în repaus.

În laboratoarele de preparare a izotopilor radioactivi din cadrul I.F.A., obținându-se P^{32} cu activitate specifică ridicată, a existat și posibilitatea preparării de $H_3P^{32}O_4$ și $Na_2HP^{32}O_4$.

La reactorul nuclear I.F.A., prin iradierea telurului, se obține I^{131} , un izotop radioactiv cu multe utilizări practice. Având un timp de înjumătățire de 8 zile, I^{131} permite efectuarea unor experiențe care necesită un timp suficient de îndelungat și totodată nu contaminează multă vreme sistemele în care se introduce.

Detecția și măsurarea I^{131} nu pune probleme speciale deoarece fiind un emițător β și γ dur, activitatea preparatelor ce conțin iod radioactiv se înregistrează prin tehnica obișnuită a contoarelor Geiger-Müller pentru radiații γ . Manipularea preparatelor cu iod radioactiv cere condiții speciale de lucru și anume nișe ventilate și ecranate pentru radiații β și γ și complet separate, în care nu se mai lucrează cu alți izotopi radioactivi. Respectarea acestor condiții este necesară, deoarece iodul este foarte volatil iar dacă nișa nu este etanșă și bine ventilată laboratorul se contaminează cu vapori de iod care prin condensare dau aerosoli radioactivi.

Datorită caracteristicilor sale nucleare (timp de înjumătățire redus și energia mare a radiațiilor), I^{131} se folosește în diferite domenii.

Cea mai importantă utilizare a compușilor cu iod radioactiv se întâlnește însă în biochimie și medicină. NaI^{131} se folosește la diagnosticul clinic și la terapia hipertiroidismului, a cancerului glandei tiroide și laringelui.

La I.F.A. s-a obținut o întreagă serie de compuși marcați cu I^{131} ca trioleină, acid oleic, 3, 5-diiodotirosină, iodserumalbumină etc., utili pentru biochimie și pentru aplicații clinice.

În tematica laboratoarelor de substanțe marcate din I.F.A. intră, pe lângă producerea substanțelor amintite, și sinteza unor noi preparate ca tetraiodfenolftaleina, diiodfluoresceina, perabrodilul etc.

★

Compușii marcați izotopic devin din ce în ce mai accesibili și mai folosiți în multe domenii de cercetare. În viitorul imediat, ei nu vor mai constitui o noutate ci vor intra în rîndul instrumentelor convenționale de cercetare ale multor laboratoare din țară de profil chimic sau biochimic.

§ 7. PRODUCEREA ȘI CARACTERISTICILE DETECTOARELOR DE RADIAȚII NUCLEARE

MINA DRĂGHICESCU

În seria de aparate necesare în orice aplicație a izotopilor radioactivi, un loc important îi revine întotdeauna detectorului (contorului) de radiații. Acesta are rolul de a semnaliza prezența radiațiilor, adică de a „traduce” caracteristicile acestora în semnale electrice, care pot fi apoi amplificate, transformate și măsurate.

1. Clasificarea detectoarelor de radiații

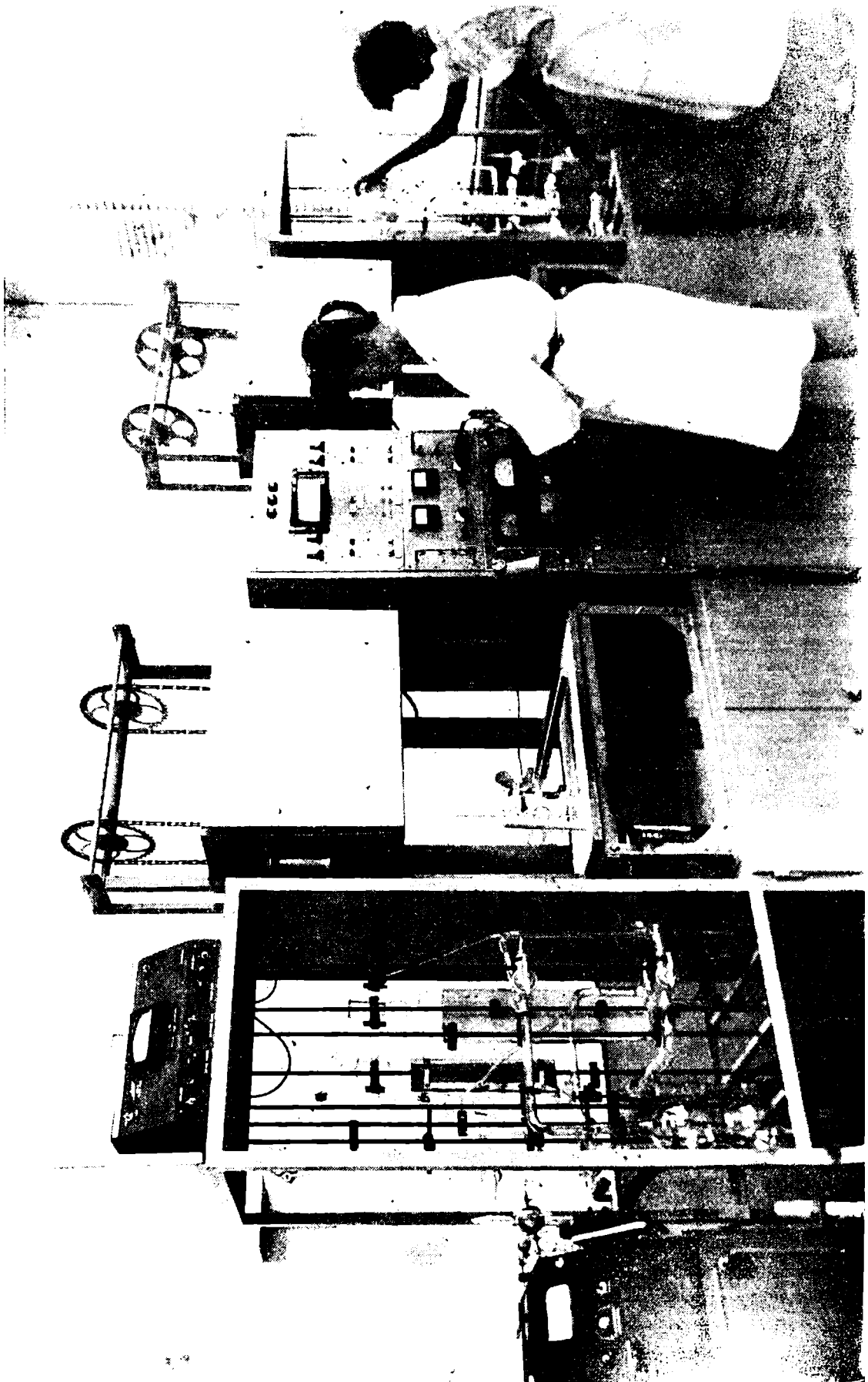
În funcție de fenomenele care au loc în detectoare atunci când se află într-un câmp de radiații, ele se împart în mai multe categorii, după cum urmează :

— *Detectoarele cu descărcare în gaz*, constînd dintr-o incintă umplută cu un gaz, se bazează pe proprietatea radiațiilor de a ioniza acest gaz. Ele sînt de mai multe tipuri, dintre care cele mai importante sînt :

- camerele de ionizare,
- contoarele proporționale,
- contoarele Geiger-Müller,
- contoarele cu scînteii.

— *Detectoarele cu scintilație* folosesc proprietățile unor substanțe solide sau lichide (scintilatoare), de a emite radiații luminoase atunci când sînt bombardate cu radiații nucleare. Radiațiile luminoase sînt apoi transformate în semnale electrice prin intermediul unor fotomultiplicatoare.

— *Detectoarele cu cristale* se bazează pe proprietatea unor cristale de a-și modifica conductibilitatea electrică atunci când se găsesc într-un câmp de radiații.



— *Detectoarele Cerenkov* se bazează pe fenomenul emisiei de lumină de către particulele relativiste, fenomen descoperit de savantul sovietic cu același nume.

Pe lângă acestea, se folosesc relativ mult ca detectoare de radiație filmele sau plăcile fotografice care, sub acțiunea radiațiilor, își modifică ireversibil structura și care după dezvoltare dau indicații asupra radiației la care au fost expuse.

În laboratoarele Institutului de fizică atomică se studiază și se perfecționează diferite tipuri de detectoare, necesare atât pentru cercetările de fizică nucleară, cât și pentru aplicațiile din ce în ce mai numeroase ale izotopilor radioactivi în întreaga țară. Au fost elaborate pînă în prezent*) prototipuri — iar în unele cazuri s-a pus la punct și fabricarea în serii mici — pentru următoarele tipuri de detectoare :

- camere de ionizare pentru radiații gama și beta ;
- contoare proporționale pentru detectarea neutronilor termici ;
- contoare Geiger-Müller pentru detectarea radiațiilor beta, gama și cosmice ;
- contoare cu scînteii pentru radiații alfa și pentru neutroni ;
- plăci fotografice pentru radiația cosmică.

2. Detectoare de radiații cu descărcare în gaz

Un asemenea detector este format dintr-un sistem de doi electrozi închiși într-o incintă umplută cu un gaz. Un flux de radiații care trece prin detector poate ioniza gazul în trei moduri :

- direct, în cazul radiațiilor formate din particule ionizante (radiații alfa, beta, cosmice) ;
- indirect, prin scoaterea de electroni din pereții detectorului, electroni care vor ioniza apoi gazul (în cazul radiațiilor gama) ;
- indirect, dar prin eliberarea unei particule ionizante în urma unei reacții nucleare (exemplu, reacția neutron-nucleu de bor, în cazul contoarelor pentru neutroni termici umplute cu trifluorură de bor).

*) Ianuarie 1962.

În urma ionizării, rezultă ioni pozitivi și electroni. Pentru fiecare tip de radiație (alfa, beta, protoni etc.) numărul de perechi de sarcini care se formează este proporțional cu energia radiației. Datorită cîmpului electrostatic creat prin aplicarea unei tensiuni între electrozi, ionii se îndreaptă spre electrodul negativ (catod) și electronii spre cel pozitiv (anod), producînd în circuitul exterior ($R - C$) o scădere de tensiune, detectată de aparatul de măsurat I (fig. 7.1). Dacă constanta de timp

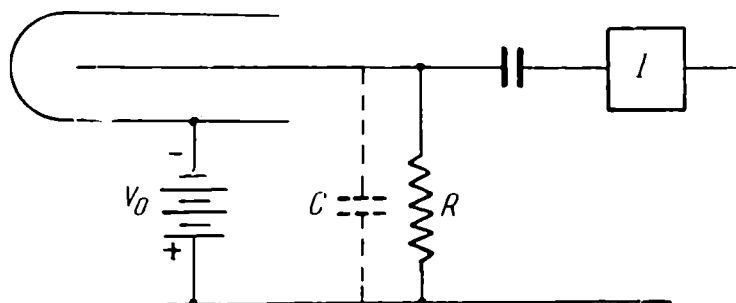


Fig. 7.1. — Schema de conectare a unui detector de radiații cu descărcare în gaz.

V_0 , tensiunea aplicată între electrozi; R, C rezistența și capacitatea de sarcină echivalentă pe care o debitează contorul.

$\tau = RC$ este foarte mare față de timpul dintre două evenimente ionizante, nu se mai înregistrează cîte un puls de tensiune pentru fiecare din aceste evenimente, ci un curent mediu, ca în cazul camerelor de ionizare de curent continuu.

Dacă detectorul este supus unei radiații monoenergetice de intensitate constantă și dacă se variază tensiunea V_0 aplicată între electrozi, amplitudinea pulsului de ieșire variază conform graficului din figura 7.2. Se deosebesc următoarele domenii de funcționare :

— Domeniul camerei de ionizare B în care toți ionii produși sînt culeși de electrozi (nu avem recombinații ca în porțiunea A) iar pulsul de tensiune care apare este proporțional cu energia radiației detectate.

— Domeniul de proporționalitate C , în care electronii, în deplasarea lor spre anod, reușesc să ionizeze gazul prin care trec, astfel încît în gaz apare o amplificare a numărului de electroni primari (amplificările în gaz cu care se lucrează obișnuit sînt în general de ordinul $10 \dots 1\,000$). Pentru aceeași radiație, amplitudinea pulsului de tensiune este deci mai mare în regim de proporționalitate decît în cel al camerei de ionizare, rămînînd însă proporțională cu energia radiației (pentru V_0 constant).

— Domeniul Geiger E , în care, pe lângă ionizarea primară, apar ionizări secundare în tot volumul detectorului. Pulsurile de tensiune care iau naștere au aceeași amplitudine, indiferent de energia radiației detectate, depinzând numai de V_0 .

Caracteristicile tehnice cele mai importante ale unui detector cu descărcare în gaz sînt următoarele :

1) Caracteristica de numărare, prin care se înțelege variația numărului de impulsuri în unitatea de timp în funcție de tensiunea aplicată detectorului (fig. 7.3). La o asemenea caracteristică de numărare remarcăm următoarele porțiuni tipice :

— Palierul, adică porțiunea din curbă cu pantă minimă, care se caracterizează prin mărimea palierului, egală cu $V_2 - V_1$ (în volți) și panta palierului egală cu $100 \frac{N_2 - N_1}{N} \cdot \frac{100}{V_2 - V_1}$ (în %/100 V);

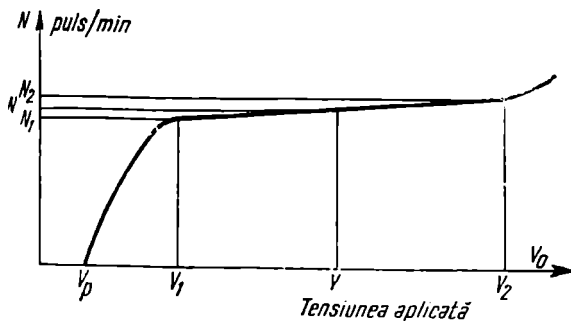


Fig. 7.3. — Caracteristica de numărare.

detectorul îl înregistrează în absența altor surse de radiații decât radiația cosmică și radioactivitatea mediului ambiant.

3) Viteza de numărare maximă admisibilă, caracteristică importantă pentru contoarele proporționale și contoarele Geiger-Müller. Se deosebesc :

— viteza maximă de numărare pe timp lung, care este viteza maximă la care contorul poate lucra permanent, fără să i se scurteze viața;

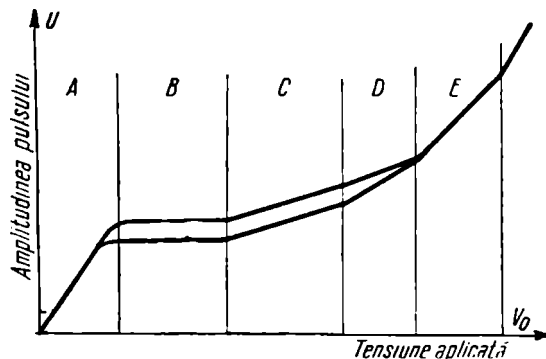


Fig. 7.2. — Amplitudinea pulsului de tensiune pe circuitul exterior în funcție de tensiunea aplicată.

I radiații de energie E_1 ; II radiații de energie $E_2 < E_1$

— tensiunea de lucru V ;

— tensiunea de prag V_p , adică tensiunea minimă la care detectorul intră în regim.

2) Fondul natural, care este numărul de pulsuri în unitatea de timp pe care

— viteza maximă de numărare pe timp limitat.

4) Viața contorului sau numărul total de pulsuri ce pot fi înregistrate de contor, care este o caracteristică importantă, mai ales pentru contoarele Geiger-Müller cu gaz organic de stingere.

5) Timpul mort, adică intervalul de timp dintre începutul unui puls și momentul în care apare pulsul următor (timpul în care o particulă ionizantă nu poate fi detectată) (fig. 7.4).

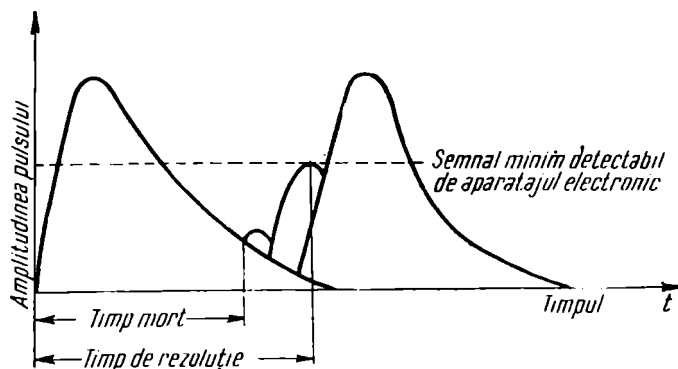


Fig. 7.4. — Definirea timpului mort și a timpului de rezoluție.

Ceva mai mare decât timpul mort este timpul de rezoluție, determinat de circuitele electronice asociate contorului, care definește durata în care instalația este insensibilă.

3. Detectoarele cu descărcare în gaz produse la I.F.A. (fig. 7,5 și tabela 7.1)

A. Contoare Geiger-Müller pentru radiații beta

Contoarele pentru radiații beta sînt din sticlă, cu fereastră frontală din mică (fig. 7.6). Alegerea contorului depinde de caracteristicile sursei de radiații : activitate, energie, dimensiuni.

Din punctul de vedere al dimensiunilor ferestrei, contoarele beta construite în I.F.A. au fereastra de 20 mm $\varnothing$: tip B-24-M. sau de 40 mm $\varnothing$: tip B-104-M.

Radiația beta trecînd prin fereastră pentru a intra în volumul util al contorului este absorbită puternic de materialul ferestrei. Este important de aceea ca grosimea ferestrei să fie cît mai mică, mai ales cînd se măsoară radiații beta de energie mică. Contoarele I.F.A. sînt realizate cu fereastră de 6 mg/cm² notate cu M₆ sau cu fereastră de 3 mg/cm², notate cu M₃.

Tabela 7.1

Contoare cu descărcări în gaze

	Felul radiației detectate	Denumirea tipului	Tensiunea lucru (V)	Pali-erul minim (V)	Panta maximă (%/100 V)	Fond ****)	N_{max} (puls/min)	N_{max} pe timp limitat (puls/min)	Timpul mort (μ s)	N total (pulsuri)	Suprafață sensibilă		Natura catodului	Gabarit $\varnothing$ (mm) $\times$ l (mm)	Preț (lei)	Observații
											$\varnothing$ (mm)	l (mm)				
Contoare G-M cu gaz de stingere organic	Gama *)	G-14-G	950	200	5	60	30 000	60 000	60	10^8	15	110	grafit	15 $\times$ 185	70	Eficacitatea mărită pentru energii > 1 MeV. Funcționează 20 de ore la 180°.
		G-24-G	950	250	5	80	30 000	60 000	70	10^8	22	150	grafit	22 $\times$ 235	70	
		G-54-G	950	250	5	120	30 000	60 000	90	10^8	32	150	grafit	32 $\times$ 235	20	
		G-64-G	950	250	5	200	30 000	60 000	90	10^8	32	285	grafit	32 $\times$ 360	25	
		G-74-G	950	250	5	240	30 000	60 000	90	10^8	32	300	grafit	32 $\times$ 383	25	
		G-104-G	1 150	250	5	800	30 000	60 000	140	10^8	40	800	grafit	40 $\times$ 900	40	
		G-64-W	950	250	5	400	30 000	60 000	90	10^8	32	285	wolfram	32 $\times$ 360	35	
		G-64-C	950	250	5	300	30 000	60 000	90	10^8	32	285	cupru	32 $\times$ 360	25	
		G-64-WT	950	250	5	400	30 000	60 000	90	10^8	32	285	wolfram	32 $\times$ 360	350	
	Cosmice *)	C-74-G	1 150	250	5	240	30 000	60 000	180	10^8	32	300	grafit	32 $\times$ 383	25	
		C-104-G	1 150	250	5	800	30 000	60 000	250	10^8	40	800	grafit	40 $\times$ 900	40	
	Beta **)	B-04-M ₆	1 100	100	10	—	—	—	—	—	Fereastră frontală din mică $\varnothing$ 4 mm, 6 mg/cm ² .		grafit	8 $\times$ 50		Se pot livra și cu 2 mg/cm ²
		B-24-M ₆	1 150	250	5	20	15 000	30 000	100	$5 \cdot 10^7$	Fereastră frontală din mică $\varnothing$ 20 mm, 6 mg/cm ² .		grafit	40 $\times$ 100	310	
		B-24-M ₃	1 500	250	5	20	15 000	30 000	140	$5 \cdot 10^7$	Fereastră frontală din mică $\varnothing$ 20 mm 3 mg/cm ² .		grafit	40 $\times$ 100	360	
		B-104-M ₆	1 600	250	5	70	15 000	30 000	300	$5 \cdot 10^7$	Fereastră frontală din mică $\varnothing$ 40 mm, 6 mg/cm ² .		grafit	60 $\times$ 100	415	
		B-104-M ₃	1 600	250	5	70	15 000	30 000	300	$5 \cdot 10^7$	Fereastră frontală din mică $\varnothing$ 40 mm, 3 mg/cm ² .		grafit	60 $\times$ 100	650	
Contoare cu halogeni	Beta	B-24-HM ₆	400	80	15	50					Fereastră frontală din mică $\varnothing$ 20 mm, 6 mg/cm ²		oxid staniu	40 $\times$ 100		
	Gama	G-14-H	400	80	12	25	60 000	100 000		10^9	15	50	oxid staniu	15 $\times$ 90		
		G-34-H	400	80	12	35	60 000	100 000		10^9	15	70	„	15 $\times$ 112		
		G-24-H	400	80	12	60	60 000	100 000		10^9	22	130	„	22 $\times$ 215		
Contoare por- ționale ***)	Neutroni termici	N-4S-2	900—1 100	200	5	2	Gaz de umplere BF ₃ , p = 200 mmHg				36	220	grafit	36 $\times$ 300	600 (1 600) ****)	Se pot livra cu BF ₃ îmbogățit (80% ¹⁰ B) sau neîmbogățit (18.83% ¹⁰ B).
		N-4S-4	1 300—1 500	200	5	4	Gaz de umplere BF ₃ , p = 400 mmHg				36	220	grafit	36 $\times$ 300	600 (2 000)	
		N-6S-2	900—1 100	200	5	3	Gaz de umplere BF ₃ , p = 200 mmHg				36	285	grafit	36 $\times$ 360	600 (1 600)	
		N-6S-4	1 300—1 500	200	5	6	Gaz de umplere BF ₃ , p = 400 mmHg				36	285	grafit	36 $\times$ 360	600 (2 000)	
		N-8S-2	900—1 100	200	5	4	Gaz de umplere BF ₃ , p = 200 mmHg				36	360	grafit	36 $\times$ 440	600 (1 600)	
		N-8S-4	1 300—1 500	200	5	8	Gaz de umplere BF ₃ , p = 400 mmHg				36	360	grafit	36 $\times$ 440	600 (2 000)	

*) Sensibilitatea apa atului de măsură 0,5 V pentru pulsuri cu front mai mic de 3 μ s; capacitatea de intrare $\leq$ 50 pF; rezistența de intrare $\geq$ 0,1 M Ω .

**) Sensibilitatea aparatului de măsură 0,5 V pentru pulsuri cu front mai mic de 3 μ s; capacitatea de intrare $\leq$ 20 pF; rezistența de intrare $\geq$ 1 M Ω .

***). Rezistența de intrare $\geq$ 10 M; amplitudinea pulsului mai mare de 1 mV.

****). Sub 50 mm Pb.

*****). În paranteze prețul pentru contoarele cu bor îmbogățit.

impl...



Fig. 7.5. — Tipuri de contoare proporționale și Geiger-Müller construite în I.F.A

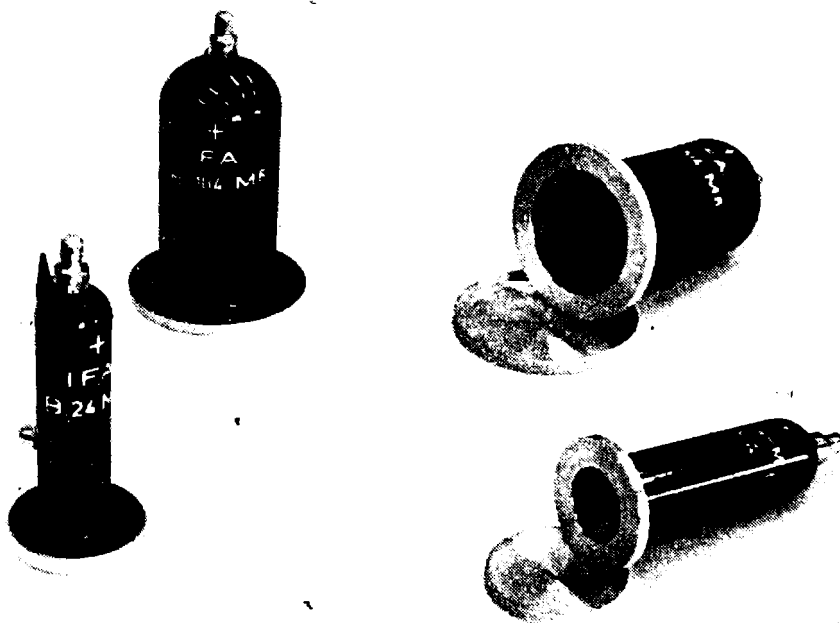


Fig. 7.6. — Contoare Geiger-Müller pentru radiații beta :
contor tip B-104-M₈ și contor tip B-24-M₂.

În tabela 7.2. este dată, spre exemplificare, absorbția datorită ferestrei, pentru radiații de diferite energii.

Tabela 7.2

Denumirea tipului	Grosimea ferestrei (mg/cm ²)	Energia radiației (MeV)	Absorbția datorită ferestrei (%)
B-24-M ₆	6	0,1	90
B-104-M ₆		0,24	50
		1	10
B-24-M ₃	3	0,06	90
B-104-M ₃		0,16	50
		0,6	10

Pentru scopuri medicale au fost realizate contoare tip B-O₄-M₆ de diametru foarte mic (6 ... 8 mm) (fig. 7.7).

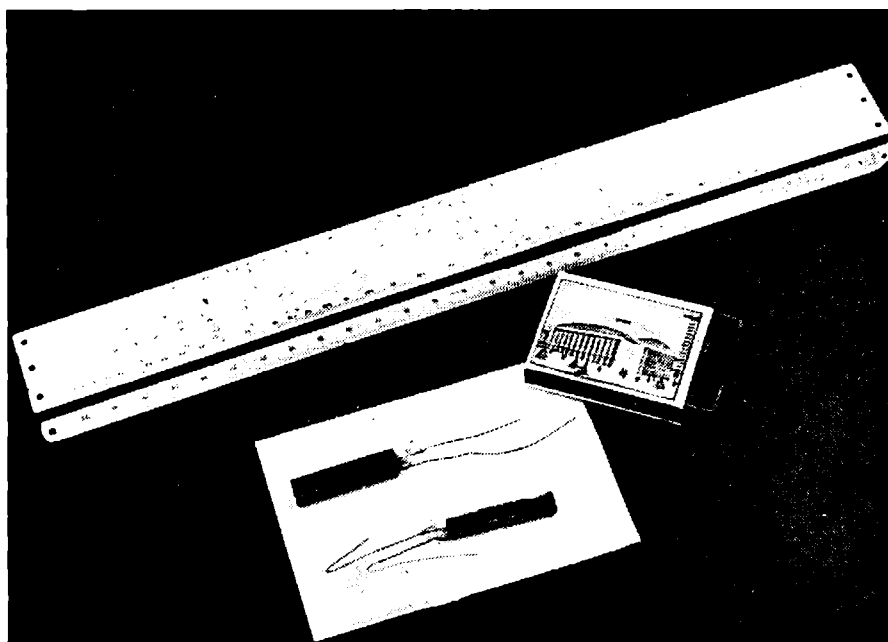


Fig. 7.7. — Contor Geiger-Müller pentru scopuri medicale cu fereastră pentru radiații beta tip B-04-M₆.

B. Contoare Geiger-Müller pentru radiații gama

În figura 7.8 este reprezentat un contor Geiger-Müller pentru radiații gama iar în figura 7.9. este reprezentată o secțiune prin același contor.

Eficacitatea contoarelor pentru radiații gama este sub 1%. Dimensiunile contorului trebuie alese judicios în funcție de di-

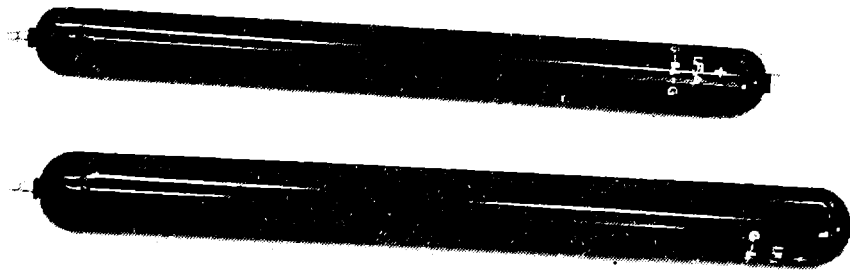


Fig. 7.8. — Contor Geiger-Müller pentru radiații gama tip G-64-G.

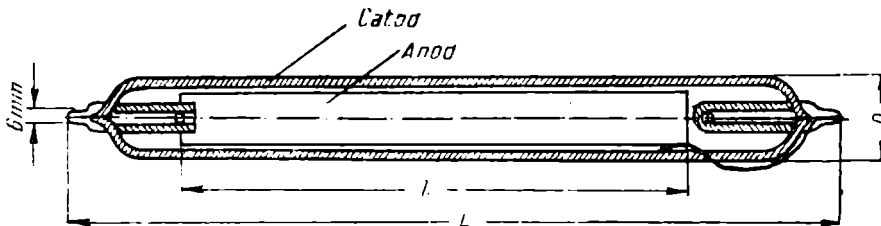


Fig. 7.9. — Secțiune printr-un contor Geiger-Müller pentru radiații gama.

mensiunile sursei de radiații, pentru a avea un raport cât mai mare între numărul de pulsuri în prezența sursei și fond.

Pentru energii sub 1 MeV, eficacitatea contoarelor poate fi mărită prin construirea catodului dintr-un material cu număr atomic mare, pentru a crește astfel probabilitatea extragerii de electroni.

În tabela 7.3 se dau eficacitățile relative ale contoarelor I.F.A. cu catod de grafit, cupru și wolfram.

Pentru carotaj radioactiv la adâncimi mari, s-a realizat contorul cu catod de wolfram tip C-64-WT, care funcționează până la 180°C.

Tabela 7.3

Denumirea tipului	Materialul catodei	Energia radiației (MeV)		
		0,076	0,66	1,3
G-64-G	grafit	1	1	1
G-64-C	cupru	7	1,4	1
G-64-W	wolfram	20	2	1

În aparatele portabile și în automatizări se recomandă *contoare cu halogeni* care funcționează la tensiuni mai mici au viață foarte lungă (fig. 7.10).

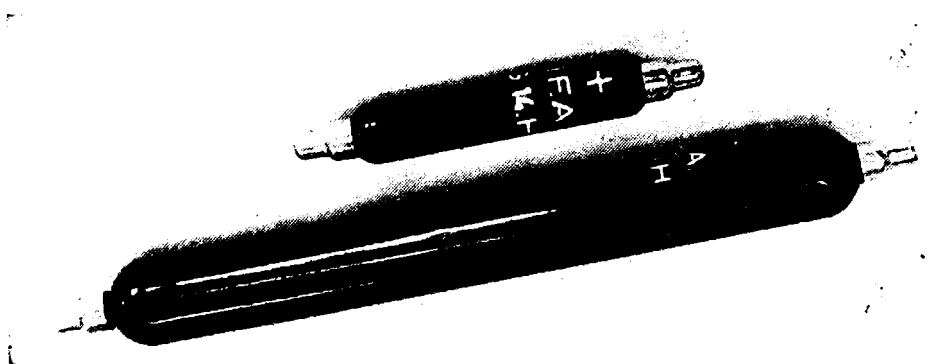


Fig. 7.10. — Contoare Geiger-Müller cu halogeni pentru radiații gama :
contor tip G-24-H și contor tip G-14-H.

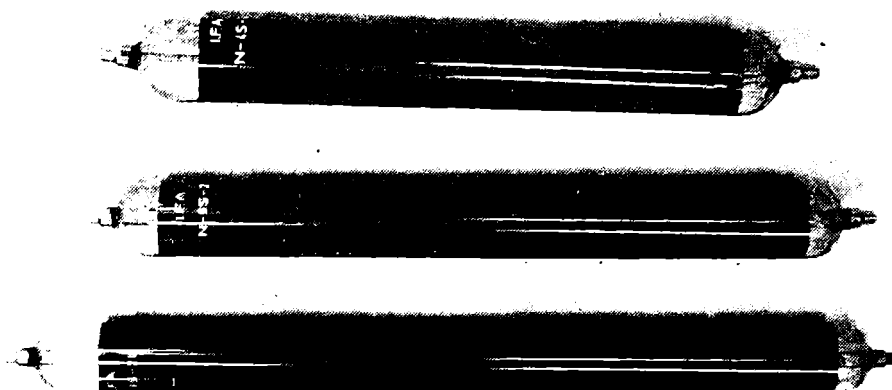


Fig. 7.11. — Contoare proporționale pentru neutroni cu trifluorură de bor.

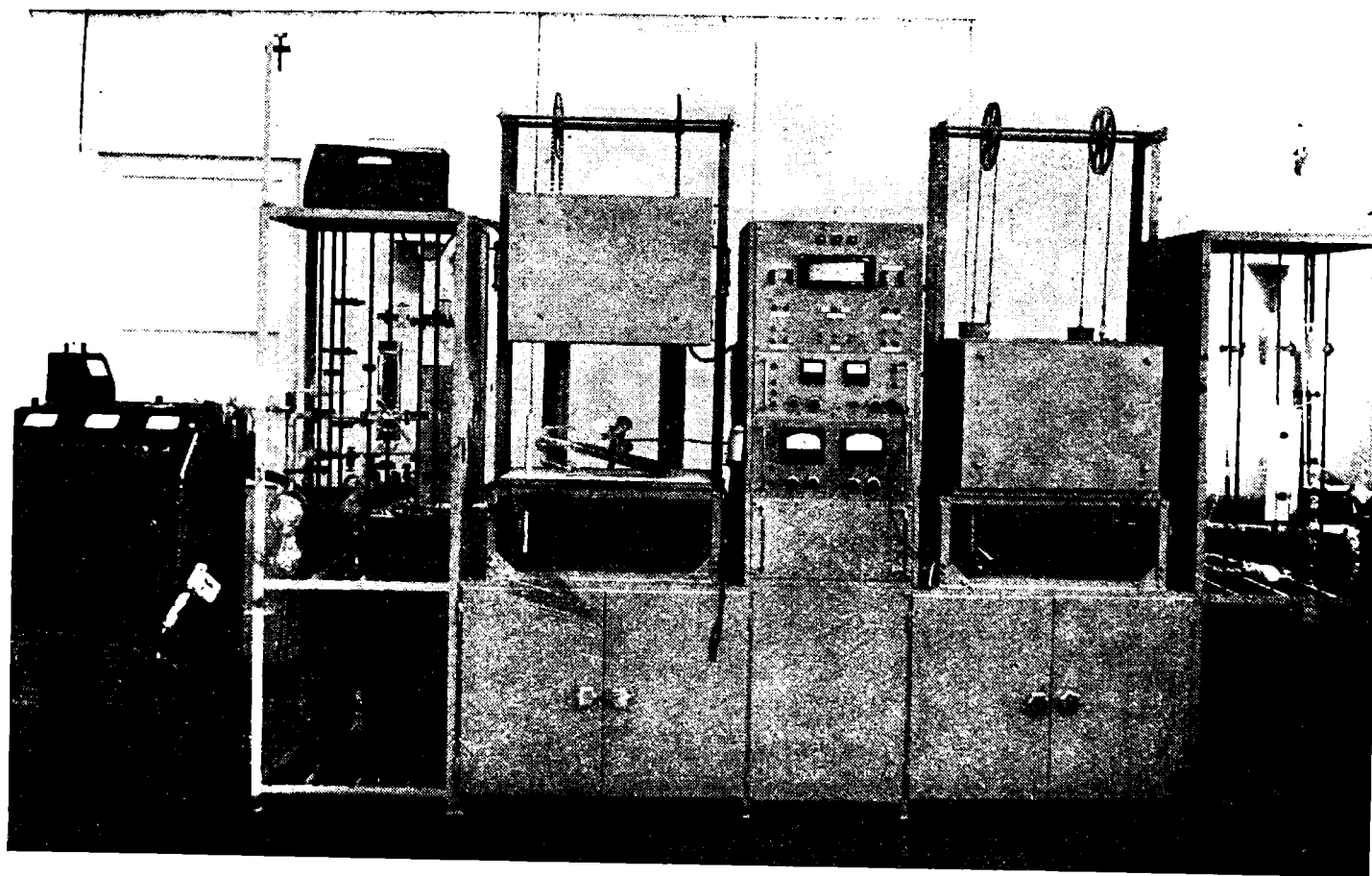


Fig. 7.12. — Instalație complexă pentru degazarea, umplerea și controlul contoarelor Geiger-Müller cu halogeni (dreapta) și a contoarelor Geiger-Müller cu gaz de stingere organic.

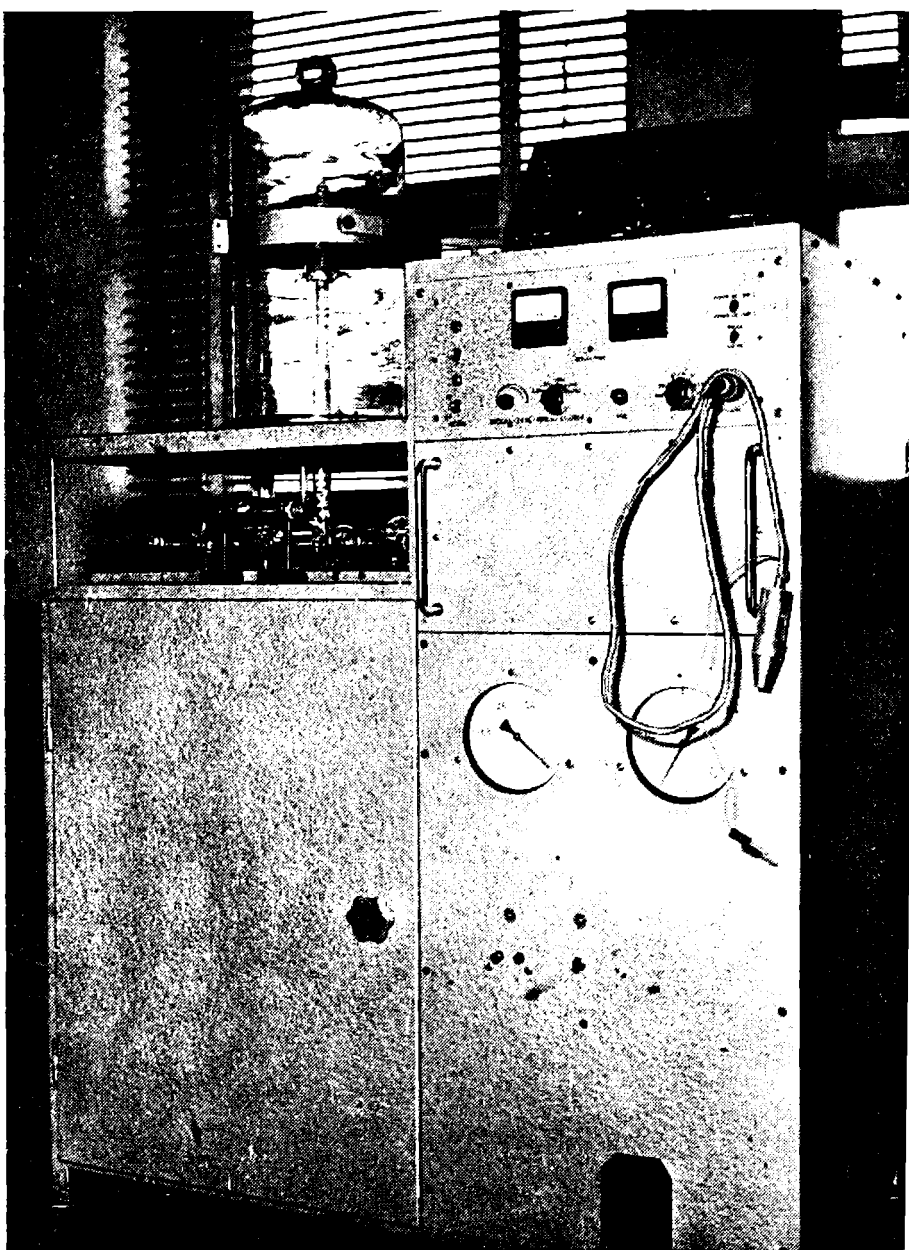


Fig. 7.13. — Instalație pentru degazarea și umplerea contoarelor Geiger-Müller cu fereastră pentru radiații beta.

C. Contoare Geiger-Müller pentru radiația cosmică

Din punct de vedere constructiv, aceste contoare sînt similare cu cele pentru radiații gama. Printr-o alegere judicioasă a gazului de umplere, se asigură o eficacitate pentru radiația cosmică mai bună de 99,8%.

D. Contoare proporționale pentru neutroni termici

Constructiv, aceste contoare sînt similare cu cele pentru radiații gama (fig. 7.11). Au diametrul de 36 mm iar lungimea se alege în funcție de dimensiunile sursei de radiații. În cazul cînd este necesară o eficacitate mare, se folosesc contoare cu trifluorură de bor îmbogățită în B^{10} (abundența naturală a acestui izotop este de circa 19%) și la presiune mărită. Contoarele I.F.A. de eficacitate mare sînt cu trifluorură de bor îmbogățită în B^{10} (80%) și la presiune de 400 mm Hg.

Pentru producerea și încercarea contoarelor, la I.F.A. au fost construite o serie de instalații complexe (fig. 7.12 și 7.13).

Probele de funcționare ale contoarelor I.F.A., efectuate atît în Institut cît și în afara lui, de către întreprinderile beneficiare, au dat deplină satisfacție.

Perfecționarea neîncetată a detectoarelor de radiații produse la I.F.A. cît și înmulțirea tipurilor specializate pentru cele mai diferite aplicații constituie o contribuție la utilizarea unităților nucleare din țara noastră și la lărgirea aplicațiilor tehnicii nucleare.

§ 8. APARATE ELECTRONICE PENTRU DETECTAREA ȘI MĂSURAREA RADIAȚIILOR NUCLEARE

MARTIN BIRNBAUM

Studiul fenomenelor legate de radiațiile nucleare nu se poate face, după cum se știe, fără o aparatură specială capabilă să detecteze și să măsoare în intervale de timp foarte scurte semnalele date de detectoarele de radiație. Caracteristicile care se impun unei astfel de aparaturi nu pot fi asigurate decât de tehnica electronică. O lucrare de fizică nucleară — o experiență de spectrometrie sau de dozimetrie — implică folosirea unei scheme bloc (fig. 8.1) compusă din detectorul de radiație, sursa de înaltă tensiune pentru alimentarea detectorului, un amplificator de impulsuri, un discriminator de amplitudine și un numărător sau un cadențmetru.

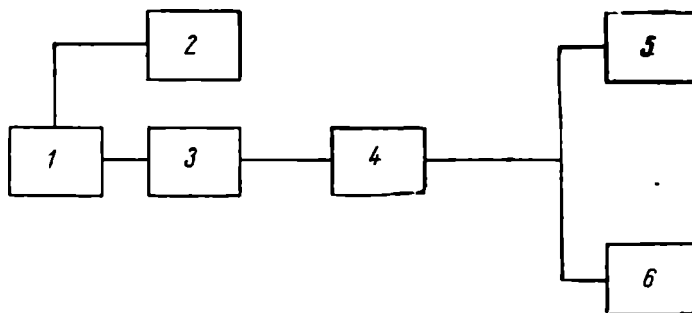
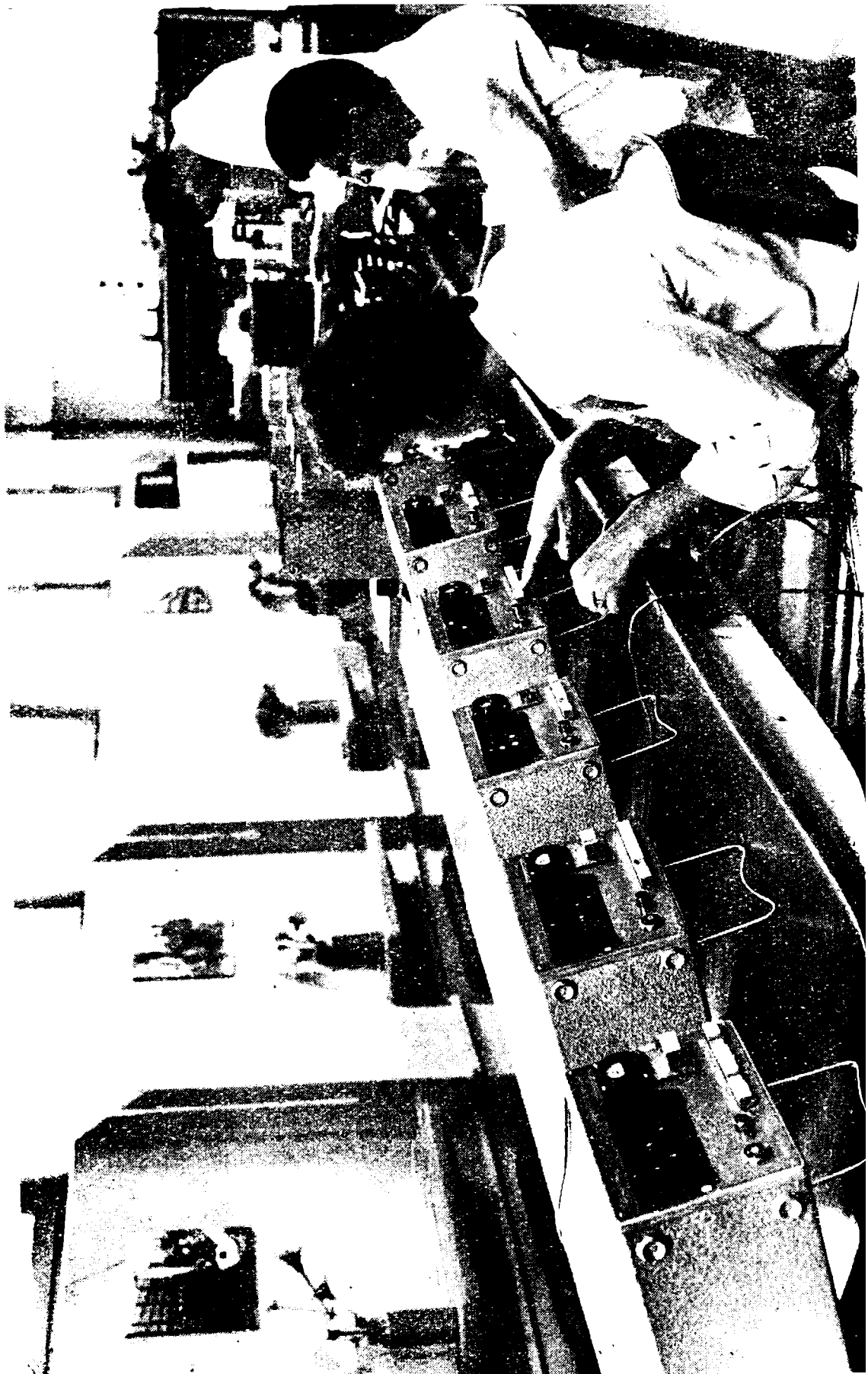


Fig. 8.1. — Schema bloc a unei lucrări tipice de fizică nucleară.
1, detectorul de radiație; 2, sursă de înaltă tensiune; 3, amplificator de impulsuri; 4, discriminator de amplitudine; 5, numărător electronic; 6, cadențmetru.

Evident, fiecare din aparatele enumerate mai sus se construiesc într-un mod deosebit, în funcție de domeniul de aplicare. Din acest punct de vedere, aparatura electronică folosită în studiul fenomenelor nucleare se împarte în trei categorii :

— aparatura de laborator ;



- aparatura portabilă (pentru măsurări pe teren și control sanitar);
- aparatura destinată aplicațiilor industriale ale izotopilor radioactivi.

În cele ce urmează vor fi prezentate, atât din punctul de vedere al constructorului cât și din cel al utilizatorului, caracteristicile și performanțele principale ale fiecărui tip de aparat, precum și unele din tipurile de aparate electronice, construite de Institutul de fizică atomică, care poartă marca „Cuantă”.

1. Aparatura de laborator

Detectoarele de radiație cu descărcare în gaz — de exemplu contoarele Geiger-Müller, camerele de ionizare, contoarele proporționale — necesită o tensiune de alimentare (polarizare), pentru ca ionii produși în volumul de gaz de către radiația ionizantă să poată fi colectați. Mărimea acestei tensiuni depinde de natura gazului cu care este umplut detectorul, de presiunea lui și de regimul de lucru necesar. Tensiunea de polarizare poate avea valori cuprinse între câteva sute și mii de volți. Tensiuni de ordinul a 1 000 ... 3 000 V sînt de asemenea necesare pentru alimentarea tuburilor fotomultiplicatoare care se utilizează în detectoarele cu scintilație.

Curenții ceruți surselor care generează aceste tensiuni sînt, în general, foarte mici, rareori depășind valoarea de 1 ... 5 mA. În aparatele alimentate de la rețeaua de 50 Hz aceste tensiuni se obțin direct de la rețea printr-un transformator ridicător de tensiune și un redresor, dimensionate corespunzător.

La detectoarele de radiație de tipul contoarelor Geiger-Müller, stabilitatea tensiunii de alimentare nu este deosebit de importantă, deoarece în regiunea palierului contorului numărul de impulsuri generat de contor variază foarte puțin cu tensiunea de alimentare. În afară de acest fapt, pentru astfel de tipuri de contoare se pot întrebuița surse cu stabilități de ordinul $\pm 5\%$, fără cerințe deosebite în ceea ce privește reducerea tensiunii pulsatorii reziduale suprapuse tensiunii continue.

← MONTAREA APARATELOR „CUANTA” ÎN SECȚIA MONTAJ
SERIE A ATELIERULUI DE APARATE ELECTRONICE AL
I.F.A.

La contoarele care lucrează în regim proporțional se pune în mod deosebit problema tensiunii pulsatorii reziduale. Într-adevăr, aceste detectoare de radiații generează pulsuri de tensiune de amplitudini foarte mici (de ordinul $1 \dots 50$ mV). Se impune deci ca amplitudinea tensiunii pulsatorii să fie cu unul sau două ordine de mărime mai mică. Pe de altă parte, se știe că factorul de amplificare al tuburilor fotomultiplicatoare variază aproximativ cu puterea „ n ” a tensiunii de alimentare, n fiind numărul de dinode. Rezultă deci, că dacă nu se admite o variație a factorului de amplificare mai mare de 0,5% pentru $n = 8$, stabilitatea relativă a tensiunii de alimentare trebuie să fie de ordinul $6 \cdot 10^{-4}$.

Sursa de înaltă tensiune „Cuanta” tip A.G. (fig. 8.2) este destinată alimentării cu înaltă tensiune a fotomultiplicatoarelor și contoarelor proporționale.



Fig. 8.2. — Sursă stabilizată de înaltă tensiune „Cuanta” tip A.G.

Principalele ei caracteristici sînt :

1. Domeniul de tensiune $600 \dots 2\,000$ V cu reglaj brut în nouă trepte, între care există un reglaj fin.
2. Polaritate negativă, polul pozitiv conectat la masa aparatului.
3. Rezistența de sarcină minimă : $500\text{ K}\Omega$.
4. Posibilități de conectare : două borne standard, pentru cablu coaxial de înaltă tensiune, legate în paralel.
5. Tensiune pulsatorie : mai mică de 15 mV pentru sarcina maximă.

6. Stabilitate : o variație a tensiunii de rețea de $\pm 10\%$ produce o variație a tensiunii de ieșire mai mică de $\pm 5 \cdot 10^{-4}$.

7. Deriva de tensiune este mai mică de $5 \cdot 10^{-4}$ pe oră pentru o stabilitate normală a temperaturii mediului ambiant și după o oră de la punerea în funcțiune.

8. Rezistența internă : mai mică de $5 \text{ K}\Omega$.

9. Alimentarea aparatului : $120-220 \text{ V}/50 \text{ Hz}$ cu un consum de putere de 170 VA .

Pentru mărirea amplitudinii pulsurilor generate de detectoarele de tip contor proporțional sau contor cu scintilație, pînă la o valoare convenabilă pentru înregistrare se folosesc amplificatoarele de pulsuri.

În general, detectoarele de radiație generează — la trecerea unei particule ionizante — un puls de sarcină electrică, a cărui mărime este funcție de tipul de detector.

Pentru declanșarea circuitului următor de standardizare este necesară o sarcină electrică de aproximativ $50 \mu\text{C}$; prin urmare, în funcție de tipul de detector întrebuintat, va fi nevoie de o amplificare mai mică sau mai mare (tabela).

Tabelă

Tipul detectorului	Sarcină electrică în plus (C)	Amplificarea necesară
Geiger-Müller cu vapori organici	$10^{-11} \dots 10^{-12}$	0,5...50
Geiger-Müller cu vapori de halogen	10^{-9}	<1
Contor proporțional cu BF ₃	10^{-13}	500
Contor cu scintilație	$10^{-14} \dots 10^{-12}$	50...5 000

În cazul unui contor cu scintilație avînd ca scintilator un cristal de iodură de sodiu, pulsul de curent electric are un timp de creștere de aproximativ $0,01 \mu\text{s}$ și un timp de cădere — exponențial — de circa $0,25 \mu\text{s}$. Pentru contoarele proporționale duratele pulsurilor sînt mai mari.

Calitatea amplificatoarelor de pulsuri folosite în fizica nucleară este apreciată după o serie de factori și anume :

— liniaritatea amplificării, care trebuie să fie cît mai bună pentru ca pulsurile de la ieșirea amplificatorului să fie riguros proporționale (ca amplitudine) cu cele de la intrarea sa ;

— frecvența maximă de repetiție a pulsurilor de intrare, care trebuie să fie cît mai mare, fără ca performanțele amplificatorului să se schimbe ;

— gama dinamică, care trebuie să fie cît mai mare, fără ca amplificatorul să se supraîncarce, devenind neliniar.

Amplificatorul liniar de impulsuri „Cuenta” tip L.C (fig. 8.3) răspunde acestor cerințe avînd următoarele caracteristici :

1. Factorul de amplificare : 20 000.
2. Frecvența maximă a impulsurilor la intrare : mai mare ca 250 KHz.
3. Semnal maxim la ieșire : ± 100 V.

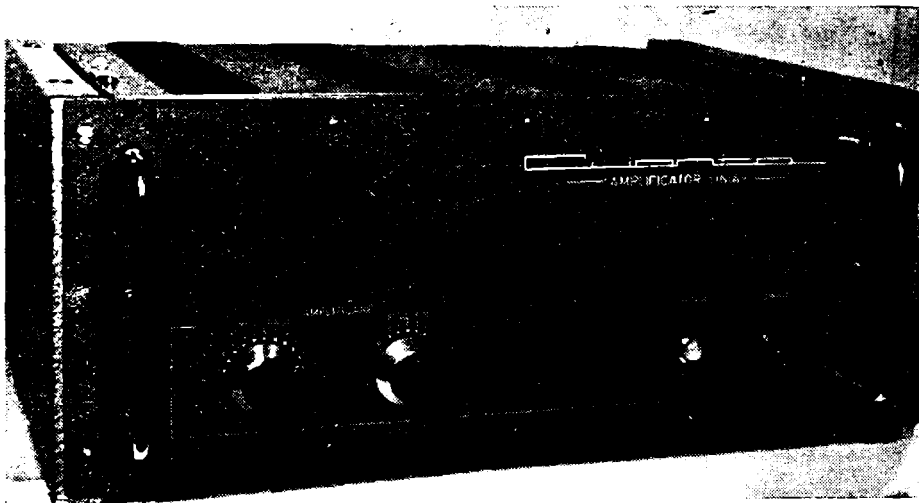


Fig. 8.3. — Amplificator liniar „Cuenta” tip L.C.

4. Amplificatorul nu se supraîncarcă pentru un raport 100 : 1 în semnalul de intrare.

5. Circuit de dublă formare inclus (impuls pozitiv și negativ cu durată de circa $0,8 \mu s$).

6. Banda de trecere mai mare ca 5 MHz.

7. Liniaritatea amplificării : mai bună de 1%.

8. Variația factorului de amplificare pentru o variație de $\pm 10\%$ a tensiunii de rețea este mai mică de 1%.

9. Alimentarea de la rețeaua de c.a. 110—220 V/50 Hz, cu un consum de putere mai mic de 200 VA.

După ce pulsurile generate de detectoare sînt amplificate la o valoare convenabilă, se face — în lucrările de spectrometrie — comparația sau discriminarea lor după amplitudine. Discriminatorul de amplitudine este folosit deci pentru a determina distribuția — după amplitudine — a pulsurilor generate

de detectoare. El este de asemenea folosit pentru a separa pulsurile utile de pulsurile de „zgomot” care apar în contor (de exemplu cele generate de curentul de întineric al unui fotomultiplicator) sau pentru a le separa de pulsuri nedorite de amplitudine mai mică.

Un caz tipic este detecția de neutroni cu ajutorul contoarelor proporționale cu trifluorură de bor. O reglare corectă a pragului discriminatorului permite eliminarea pulsurilor de răspuns la radiații gama care sînt de amplitudine mai mică decît cele generate de neutroni.

Un bun discriminator conține un circuit de standardizare care dă pulsuri de durată și amplitudine uniformă pentru toate pulsurile a căror amplitudine depășesc pragul de discriminare prereglat.

Discriminatorile de amplitudine sînt de două tipuri :

— discriminatorile de tip integral, la care se generează un puls la ieșire pentru fiecare puls de intrare a căru amplitudine depășește pragul de discriminare prereglat — discriminatorile de tip diferențial, la care se generează un puls la ieșire pentru fiecare puls de intrare care are o amplitudine cuprinsă între două praguri (inferior și superior) prereglate. Acest tip mai poartă și numele de analizor de amplitudine monocanal.

Analizorul de amplitudine monocanal „Cuenta” tip I.W. (fig. 8.4) este destinat determinării spectrelor de energie în cazul lucrului cu contoare de scintilație sau cu contoare proporționale. Pragul inferior coborît și posibilitatea de lucru la viteze de numărare mari îl fac apt pentru a fi folosit în instalațiile de spectrometrie în care se cere o precizie bună.

Principalele sale caracteristici sînt :

1. Pragul de discriminare 0,1...10 V, reglabil în trepte de 0,1 V.

2. Lărgimea canalului : 0,1...3 V, reglabilă în trepte de 0,1 pînă la 3 V.

3. Durata pulsului de intrare, pozitiv sau negativ, mai mare ca 0,3 μ s.

4. Durata pulsului de ieșire : pozitiv 8 V — 1 μ s și negativ 0,8 V — 1 μ s.

5. Posibilitatea de lucru ca discriminator integral. Puls la ieșire negativ cu amplitudine de 2 V.

6. Timpul de rezoluție ≤ 4 μ s.

7. Alimentare de la rețeaua de c.a. 110—220 V/50 Hz cu un consum de putere de circa 100 VA.

Analizorul de amplitudine monocanal este însă un aparat cu productivitate mică. Într-adevăr, dacă se urmărește ridicarea unui spectru de energie pe un număr mare de canale (50 . . . 100) și dacă totodată este necesară o statistică bună, pe fiecare canal analizorul trebuie să stea un timp îndelungat.

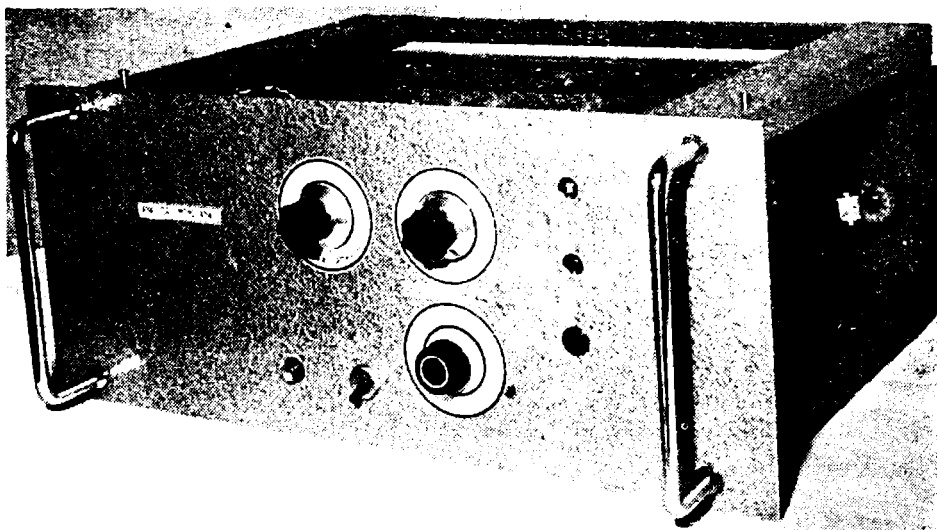


Fig. 8.4. — Analizor de amplitudine monocanal „Cuanta” tip I.W.

Pentru înlăturarea acestor neajunsuri, se construiesc analizoare multicanal, la care analiza de amplitudine a impulsurilor de la intrare se face în paralel, înregistrându-se simultan, în fiecare canal, numărul de pulsuri de amplitudine corespunzătoare. Pentru a putea reține rezultatele analizei, analizorul multicanal are nevoie de o memorie. Tipurile cele mai folosite de memorii sînt cele cu tub catodic, cu bandă magnetică sau cu miezuri de material magnetic (ferite). Un astfel de analizor (fig. 8.5) este *analizorul cu memorie electrostatică (pe tub catodic) cu 64 de canale „Cuanta” tip A.S.*

Aparatele cele mai larg folosite în fizica nucleară sînt numărătoarele electronice utilizate deseori și fără amplificatoare de impulsuri sau discriminatoare de amplitudine.

Numărătorul electronic, după cum îi spune și numele, este un aparat care numără și înregistrează pulsurile ce vin distribuite statistic în timp de la un detector de radiație. Cea mai importantă caracteristică a unui numărător este timpul său de rezoluție. Se înțelege prin timp de rezoluție intervalul

de timp care urmează fiecărui puls primit la intrare și în care numărătorul nu este apt pentru a primi spre numărare un nou puls. Timpul de rezoluție al numărătorului fixează, așa dar, viteza maximă la care numărătorul mai lucrează corect, adică numără separat fiecare puls de la intrare.

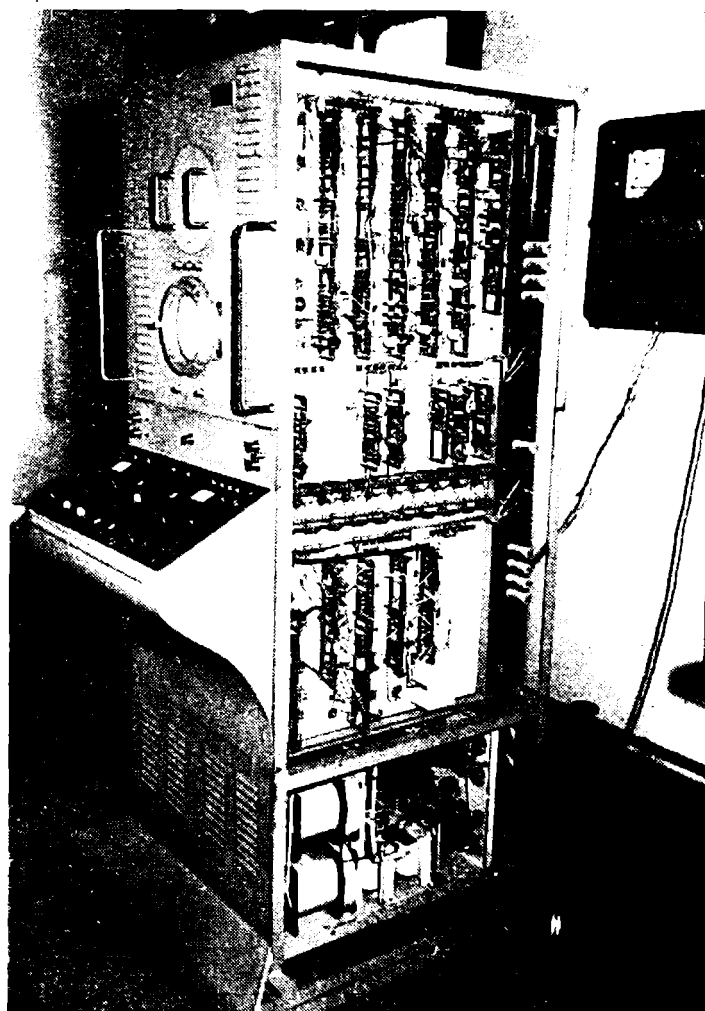


Fig. 8.5. — Analizor de amplitudine cu 64 de canale „Cuantă”
tip A.S.

Evident însă, timpul de rezoluție al numărătorului trebuie corelat cu timpul mort propriu al detectorului de radiație (§7). În general se lucrează cu numărătoare cu timp de rezoluție mai mic de 100 μ s pentru detectoare de radiație de tipul con-

torului Geiger-Müller, mai mic de $0,5 \dots 2 \mu s$ pentru contoare proporționale și mai mic de $0,05 \dots 0,1 \mu s$ pentru contoare cu scintilație rapide.

Numărătorul este caracterizat prin următoarele date:

1. Sensibilitatea, adică valoarea minimă a amplitudinii semnalului de intrare pentru care numărătorul înregistrează corect toate pulsurile sosite;

2. Viteza maximă de numărare sau frecvența maximă de repetiție a pulsurilor de intrare (presupuse a fi distribuite uniform în timp) pentru care aparatul înregistrează corect toate pulsurile.

3. Capacitatea de înregistrare, adică numărul maxim de pulsuri care poate fi reținut în dispozitivele de afișare a rezultatelor din numărător.

4. Afișarea rezultatelor numărării, care se poate face cu contoare electromecanice, cu tuburi de neon sau de tipul cifric luminos.

Funcție de destinație, numărătoarele electronice au performanțe foarte diferite.

Numărătorul lent „Cuanta” tip B.T. este destinat măsurărilor de mică viteză efectuate cu contoare de tip Geiger-Müller (fig. 8.6).

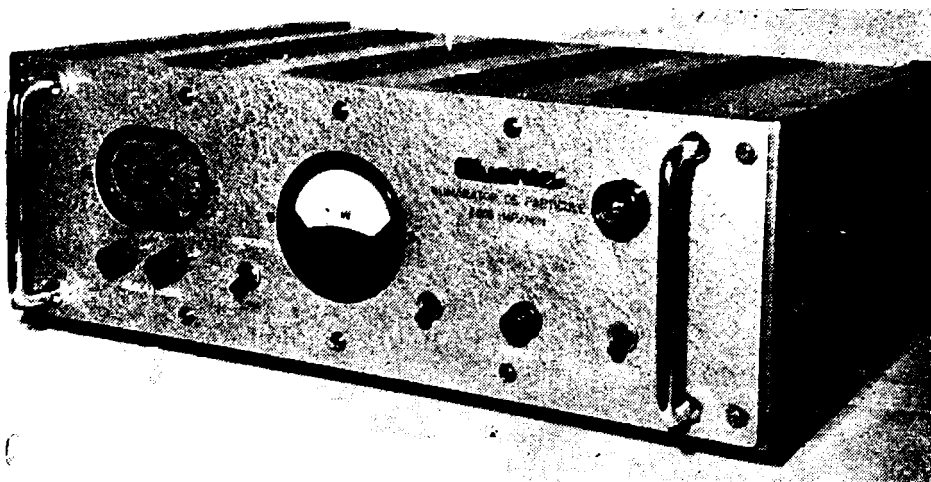


Fig. 8.6. — Numărător electronic lent „Cuanta” tip B.T.

Principalele sale caracteristici sînt :

1. Viteza de numărare maximă : 6 000 pulsuri/min ;
2. Sensibilitatea la intrare : 0,5 V puls negativ ;

3. Capacitatea de înregistrare : 10^4 pulsuri;
4. Afișarea rezultatelor pe contor electromecanic;
5. Sursa de înaltă tensiune încorporată (300 ... 2 000 V) stabilizată ($\pm 2\%$);
6. Alimentare de la rețeaua de 110 -- 220 V/50 Hz cu un consum de putere de circa 60 VA.

Numărătorul de viteză medie „Cuanta” tip B.T.-59 (fig. 8.7) este destinat lucrărilor de fizică nucleară în care se cer viteze de lucru mai mari și puteri de rezoluție mai bune.

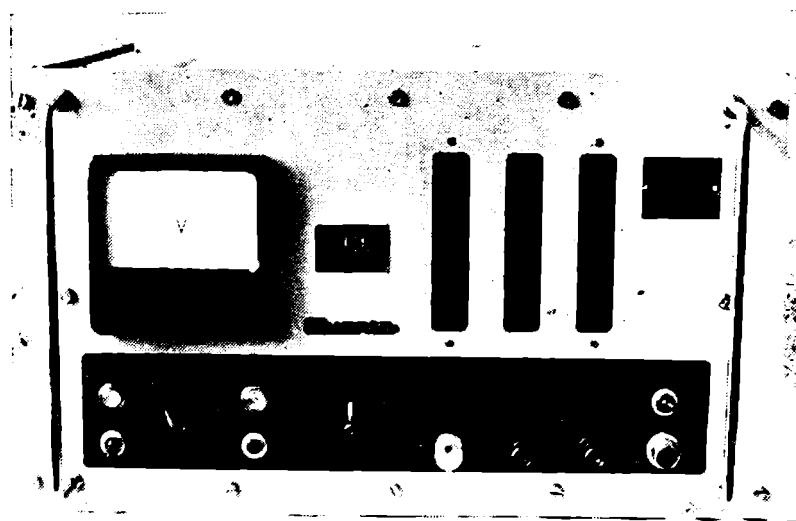


Fig. 8.7. Numărător electronic mediu „Cuanta” tip B.T.-59.

Principalele sale caracteristici sînt :

1. Timp de rezoluție : mai mic de 15 μ s;
2. Viteză maximă de numărare : mai mare de 10^4 pulsuri/s;
3. Sensibilitatea : 0,5 V puls negativ și 3 V puls pozitiv.
4. Capacitatea de înregistrare : 10^8 pulsuri;
5. Sursa de înaltă tensiune încorporată (300 ... 2 000 V) stabilizată ($\pm 2\%$).
6. Generator de pulsuri de probă inclus pentru verificarea funcționării corecte.

Pentru lucrul cu detectoare de radiație de tipul contoarelor proporționale sau al contoarelor cu scintilație este construit *numărătorul rapid „Cuanta” tip W.M.* (fig. 8.8). El este destinat măsurătorilor de fizică nucleară la care se cer viteze de numărare mari (10^6 pulsuri/s) pentru determinarea spectrelor de energie în următoarele cazuri :

- izotopi de viață scurtă;
- explorarea zonelor inferioare ale spectrelor;
- fond perturbator puternic;

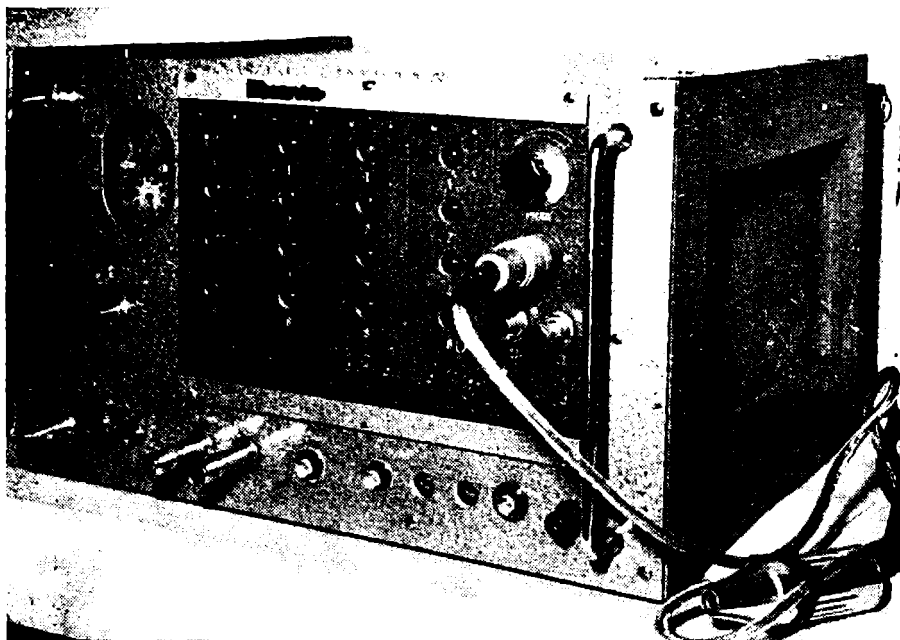


Fig. 8.8 — Numărător electronic „Cuantă” tip W.M.

Principalele sale caracteristici sînt :

1. Timp de rezoluție : mai mic de $1 \mu s$;
2. Viteza de numărare maximă : 10^6 pulsuri/s.
3. Sensibilitatea : $0,1 \dots 2 V$;
4. Capacitatea de înregistrare : 10^9 pulsuri;
5. Opreire predeterminată la 10^3 sau 10^4 pulsuri;
6. Comandă „start-stop” din exterior.
7. Alimentare de la rețeaua de $110-220 V/50 Hz$ cu un consum de putere de circa 250 VA.

Un tip nou de numărător electronic este numărătorul tranzistorizat „Cuantă” tip B.P.T. (fig. 8.9). Caracteristicile sale sînt :

1. Timp de rezoluție : mai mic de $5 \mu s$;
2. Viteza maximă de numărare : 10^5 pulsuri/s.
3. Sensibilitatea : $1,5 V$ puls negativ;
4. Capacitatea de înregistrare : 10^6 pulsuri;
5. Afișarea rezultatelor prin sistem cifric luminos;

6. Sursă de înaltă tensiune încorporată ($+400$ sau $+1\,200$ V), cu o bună stabilitate (circa 10^{-3});
7. Generator de pulsuri de probă inclus pentru verificarea funcționării corecte.
8. Oprire predeterminată la 10^3 , 10^4 , 10^5 sau 10^6 pulsuri.
9. Comanda „start-stop” din exterior și spre exterior.
10. Alimentare de la rețeaua de $110 - 220$ V/50 Hz cu un consum de putere de circa 20 VA.

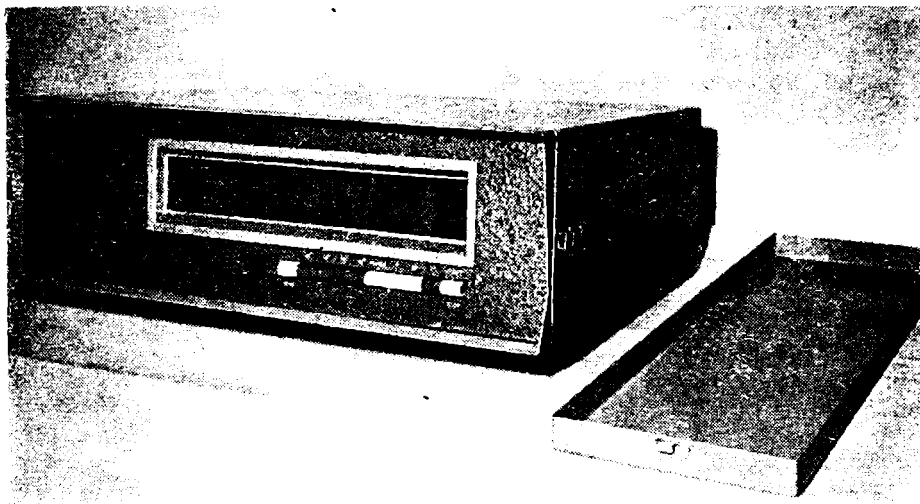


Fig. 8.9. — Numărător electronic tranzistorizat „Cuantă” tip B.P.T.-61.

Pentru numărarea pulsurilor în lucrările de fizică nucleară, în afară de folosirea numărătoarelor electronice mai există o alternativă care constă în folosirea cadențmetrelor. Aceste aparate măsoară frecvența de repetiție medie a pulsurilor în unitatea de timp (cadența). Evident, indicația care se obține nu este de tip numeric — ca la numărătoare — ci este de tip analog.

Precizia de măsură la cadențmetre este dictată de stabilitatea pieselor componente pe care le întrebuințează. Avantajele pe care le prezintă față de numărătoare sînt:

- indicarea continuă a vitezei de numărare;
- înregistrarea comodă a mărimii de ieșire (de exemplu pe un înregistrator electric).

Pentru a putea indica frecvența de repetiție medie a unui tren de pulsuri (cadența), aparatul trebuie să medieze un număr de evenimente apărute într-un interval de timp dat. Intervalul

de timp în care se face medierea este numit „constanta de timp de integrare”. Pentru fenomene care se succed la intervale mari de timp sînt necesare constante de timp mari (se utilizează constante de timp pînă la 50...100 s).

O altă caracteristică a cadențmetrelor este gama de măsur (în impulsuri pe secundă, minut sau oră) și — legată de această — eroarea relativă de măsură. Eroarea relativă de măsură este afectată de mărimea constantei de timp de integrare, precizia instrumentului de măsură, stabilitatea pieselor componente etc. Erori relative de măsură de ordinul 1...5 % sînt des întîlnite la cadențmetre.

Un aparat care dispune de posibilitățile cerute tipului respectiv este *cadențmetrul de laborator „Cuanta” tip D.P.*

2. Aparatura portabilă

Destinată folosirii în condiții ce pot diferi mult de cele existente într-un laborator, aparatura portabilă pentru detecție și măsurarea radiațiilor nucleare trebuie să satisfacă o serie de caracteristici speciale dintre care menționăm :

- o mare robustețe
- gabarit redus
- consum de putere redus.

Pentru acest tip de aparate este necesară o bună siguranță în funcționare, deoarece cu ele se face controlul sanitar al zonelor de lucru.

Destinat măsurării calitative a debitului dozelor de radiații beta sau gama, *avertizorul de radiație „Cuanta” tip V.E.* semnalizează vizual, prin aprinderea unui bec, existența în mediu înconjurător a unei anumite doze de radiație (fig. 8.10).

Caracteristicile de lucru ale acestui aparat sînt :

1. Domeniul de măsură : 1...100 mR/h.
2. Semnalizare optică : la depășirea unui debit al dozei prereglat (1...10 mR/h), aprinderile devin dese, becul fiind practic, aprins tot timpul.
3. Alimentarea se face cu o baterie uscată de 4,5 V, fiind asigurată o autonomie de funcționare de circa 50 ore.

Pentru măsurarea cantitativă a debitului dozelor de radiații beta și gama se folosește *debitmetrul portabil „Cuanta” tip B.I.* (fig. 8.11), care are o formă și o greutate convenabile pentru a nu jena pe manipulant.



Fig. 8.10. — Avertizor portabil de radiație „Cuanta” tip V.E.

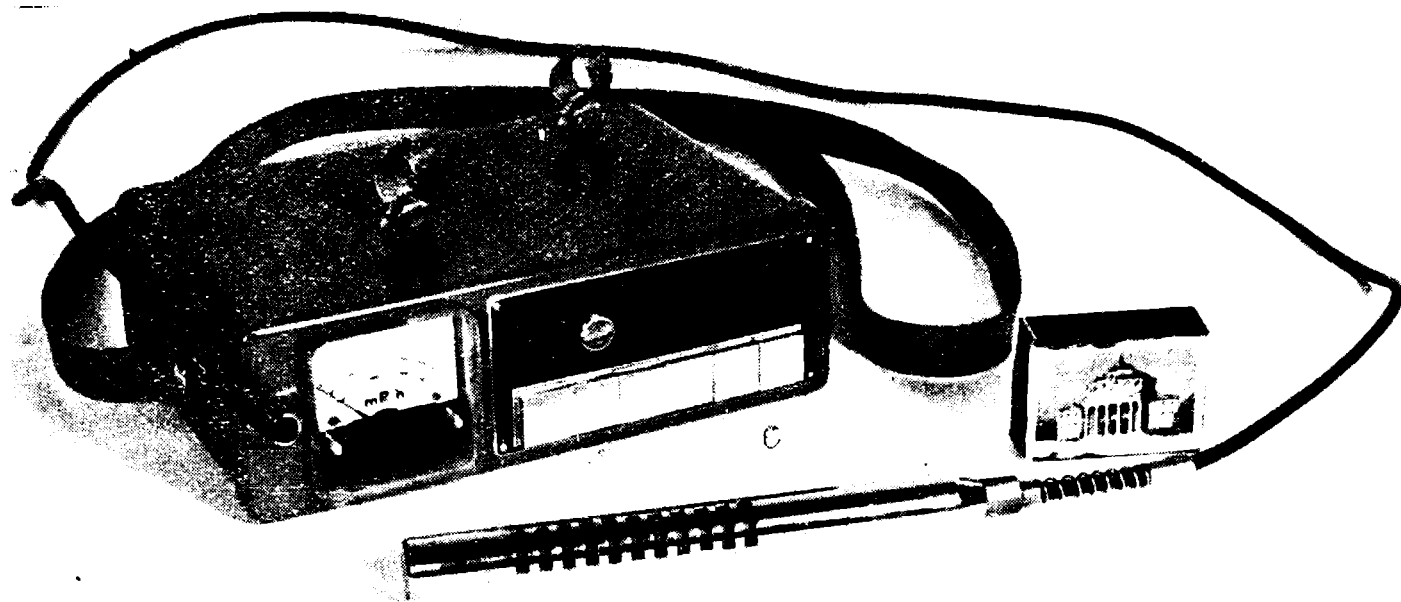


Fig. 8.11. — Debitmetru portabil „Cuanta” tip B.B.

1. Domeniul de lucru al aparatului este împărțit în patru game de măsură :

0 ... 1 mR/h

0 ... 3 mR/h

0 .. 10 mR/h

0 .. 30 mR/h

2. Eroarea relativă de măsură pe oricare din gamele de măsură nu depășește $\pm 30\%$.

3. Alimentarea se face cu două baterii uscate de 4,5 V care îi asigură o autonomie de funcționare mai mare de 100 ore.

Menționăm că la aparatele de această categorie, eroarea de măsură nu joacă un rol deosebit de important, întrucât rolul lor este de a semnaliza în primul rînd prezența radiațiilor nucleare și în al doilea rînd de a măsura debitul existent al dozei.

Un aparat de măsură destinat lucrărilor ce se execută pe teren cu ajutorul izotopilor radioactivi este *radiometrul portabil „Cuanta” tip A.V.*

Caracteristicile sale sînt :

1. Domeniul de măsură : 0 ... 5 000 pulsuri/s, împărțit în patru game de măsură.

2. Eroare relativă de măsură : $\pm 5\%$.

3. Sursa de înaltă tensiune încorporată (+400 V), stabilizată ($\pm 0,5\%$) pentru alimentarea unuia sau mai multor detectoare de radiație.

4. Alimentarea se face cu trei baterii uscate de 4,5 V, care îi asigură o autonomie de funcționare de circa 50 ore în regim intermitent.

Destinat unor măsurări de precizie care se execută pe teren, *numărătorul portabil „Cuanta” tip D.M.* este în întregime tranzistorizat (fig. 8.12).

Caracteristicile sale sînt :

1. Timp de rezoluție : mai mic de 15 μ s.

2. Viteza maximă de numărare : $5 \cdot 10^4$ pulsuri/s.

3. Capacitate de înregistrare : 10^5 pulsuri.

4. Afișarea luminoasă cu tuburi cu neon în codul 1—2—4—8.

5. Sursă de înaltă tensiune încorporată (+400 V), stabilizată ($\pm 0,5\%$).

6. Alimentare cu 10 baterii uscate de 1,5 V, care îi asigură o autonomie de funcționare de circa 20 ore.

Pentru lucrul pe teren cu contoare proporționale (de exemplu pentru măsurarea umidității cu neutroni) se folosește *adaptorul de contor proporțional „Cuanta” tip C.V.* Caracteris-

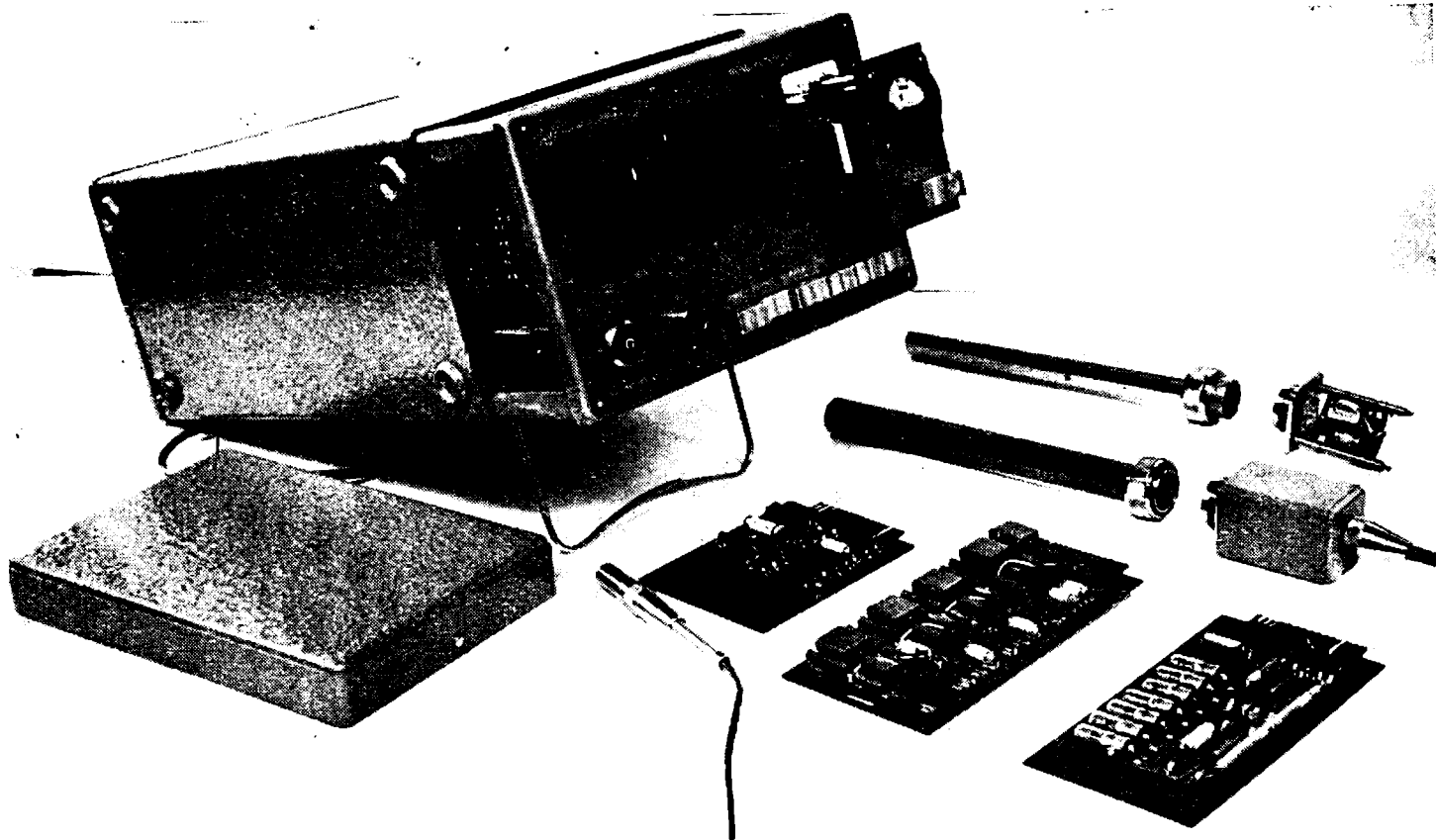


Fig. 8.12. Numărător electronic portabil „Cuanta” tip D.M.

ticile acestui aparat (care poate lucra cuplat cu radiometrul sau cu numărătorul portabil) sînt următoarele :

1. Sensibilitate de intrare : 10^{-14} Cb.
2. Impuls de ieșire : pozitiv, 4 V — 2 μ s.
3. Viteza de numărare maximă 50 000 pulsuri/s.
4. Alimentarea 12 V — 40 mA (care se obține din radiometrul sau numărătorul portabil).

3. Aparatura pentru aplicații industriale

Acest tip de aparatură trebuie să întrunească atît cerințele impuse aparaturii de laborator (precizie, stabilitate etc.) cît și cele impuse aparaturii portabile (robustețe, siguranța în funcționare etc.). Pe de altă parte, specificul aplicațiilor industriale impune construirea unei aparaturi independente de variațiile factorilor înconjurători (tensiune de alimentare, temperatură, umiditate etc.).

Releul avertizor de radiație, „Cuanta Gamadet” (fig. 8.13) este destinat aplicațiilor industriale ale izotopilor radioactivi.

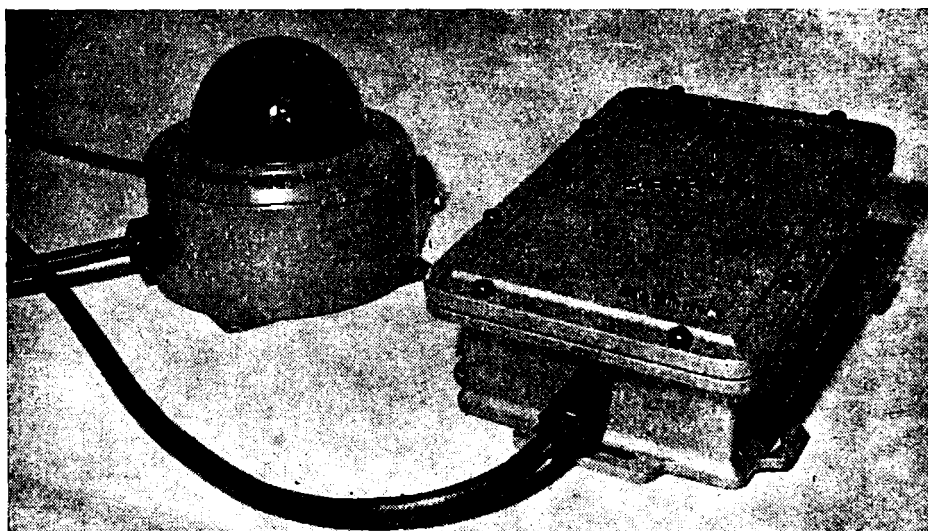


Fig. 8.13. — Releu avertizor de radiație „Cuanta Gamadet”.

Caracteristicile sale (pentru tipul Gamadet 303) sînt :

1. Debitul dozei de radiații care declanșează semnalizarea : peste 0,2 mR/h (prereglabil).
2. Constanta de timp : 0,1...10 s (prereglabilă).

3. Semnalizare în exterior prin două circuite de putere (de două ori 3 contacte, 6 A/250 V).

4. Construcție complet etanșă, putînd lucra în orice mediu cu o temperatură cuprinsă între $-20^{\circ}\text{C} \dots +45^{\circ}\text{C}$.

5. Alimentare de la rețeaua de 110–220 V/50 Hz cu un consum de putere de circa 15 VA.

6. Construcție tranzistorizată.

Următorul de nivel „Cuanta” tip B.P.T. (fig. 8.14) este destinat măsurării (sau menținerii) continue a nivelului lichidelor în recipiente închise.

Caracteristicile sale sînt :

1. Eroare de măsură : ± 1 mm.

2. Debitul dozei necesar pentru funcționare corectă : mai mare de 0,2 mR/h.

3. Constante de timp de răspuns reglabile, în funcție de necesități, între 1...10 s.

4. Construcție complet etanșă, putînd lucra în orice mediu cu o temperatură cuprinsă între $-20^{\circ} \dots +40^{\circ}\text{C}$.

5. Alimentarea de la rețeaua de 120–220 V/50 Hz cu un consum de putere mai mic de 100 VA.

6. Construcție complet tranzistorizată.

Unui alt domeniu, și anume prospectarea zăcămintelor petrolifere, îi sînt destinate electrodele de carotaj. Acestea sînt dispozitive larg folosite în carotajul radioactiv practicat în industria petrolieră și care constau din detectorul de radiație și o serie de circuite electronice speciale capabile să transmită semnalele înregistrate la distanțe mari (1...3 km) pe un cablu monofilar (pe care se face și alimentarea).

Institutul de fizică atomică a produs o serie de tipuri de electrode pentru diagrame gama-gama, pentru diagrame neutron-gama și neutron-neutron cu contoare proporționale și cu contoare de scintilație (§ 2).

4. Concluzii

Trecerea în revistă a aparaturii electronice folosite la detectarea și măsurarea radiațiilor nucleare permite aprecierea tehnicității înalte ce se cere acestor aparate. Ilustrarea cu exemple de aparate construite în țara noastră de Institutul de fizică atomică și care poartă marca „Cuanta” a permis să se cunoască o parte din eforturile făcute de Institutul de fizică

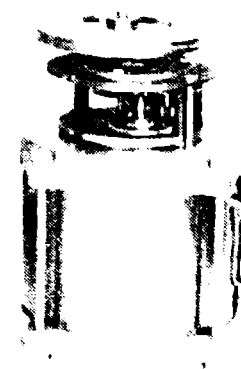
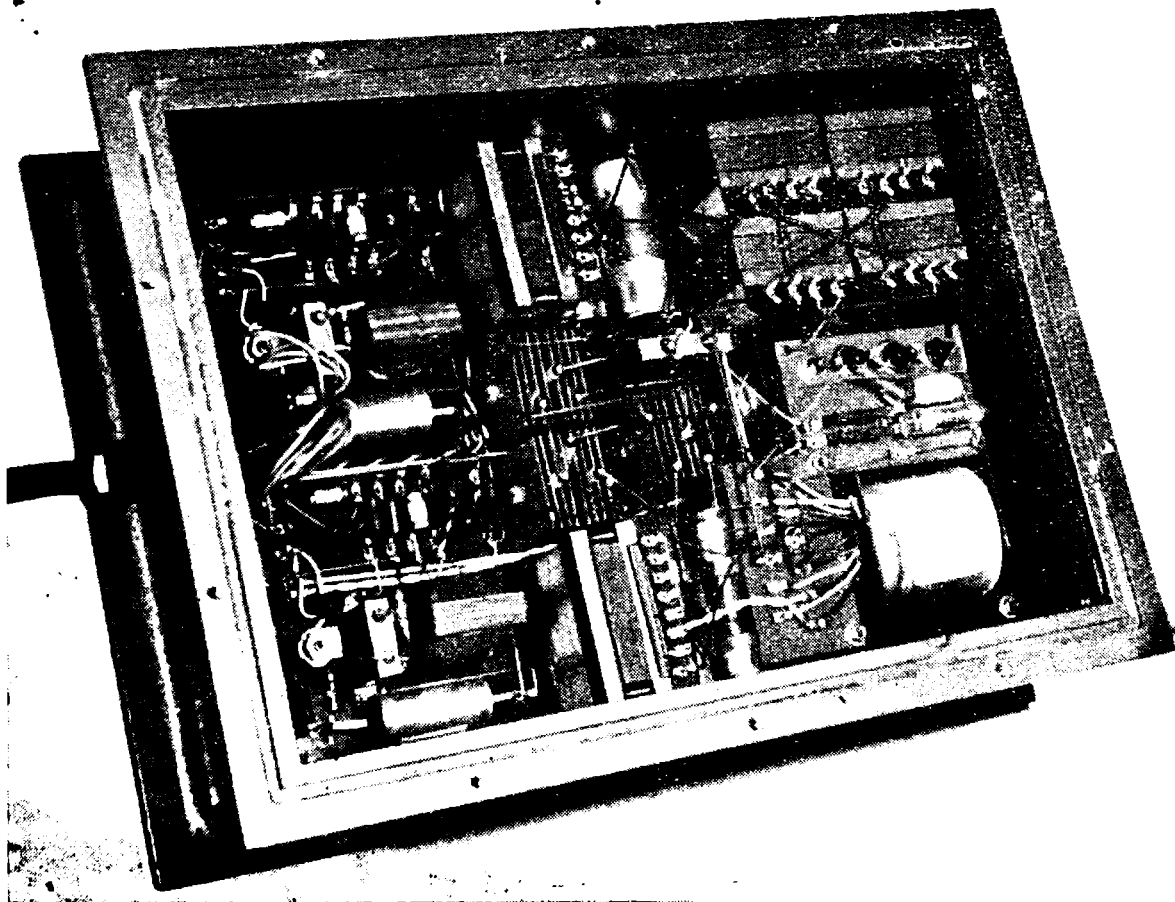


Fig. 8.14. — Urmăritor de nivel „Cuanta” tip B.P.T.

atomică pentru punerea la dispoziția celor care utilizează metode de lucru bazate pe folosirea izotopilor radioactivi a unei aparaturi la nivelul tehnicii actuale.

Linia modernă de construcție a aparatelor pentru fizica nucleară — tranzistorizarea — introdusă și la noi în țară, legată de crearea în țara noastră a unei baze proprii de producție a tranzistorilor și pieselor componente necesare, va permite construirea unor noi tipuri de aparate cu performanțe ameliorate care să satisfacă din ce în ce mai mult necesitățile de aparatură electronică pentru detectarea și măsurarea radiațiilor nucleare.

§ 9. FOLOSIREA BETATRONULUI ÎN DEFECTOSCOPIA INDUSTRIALĂ

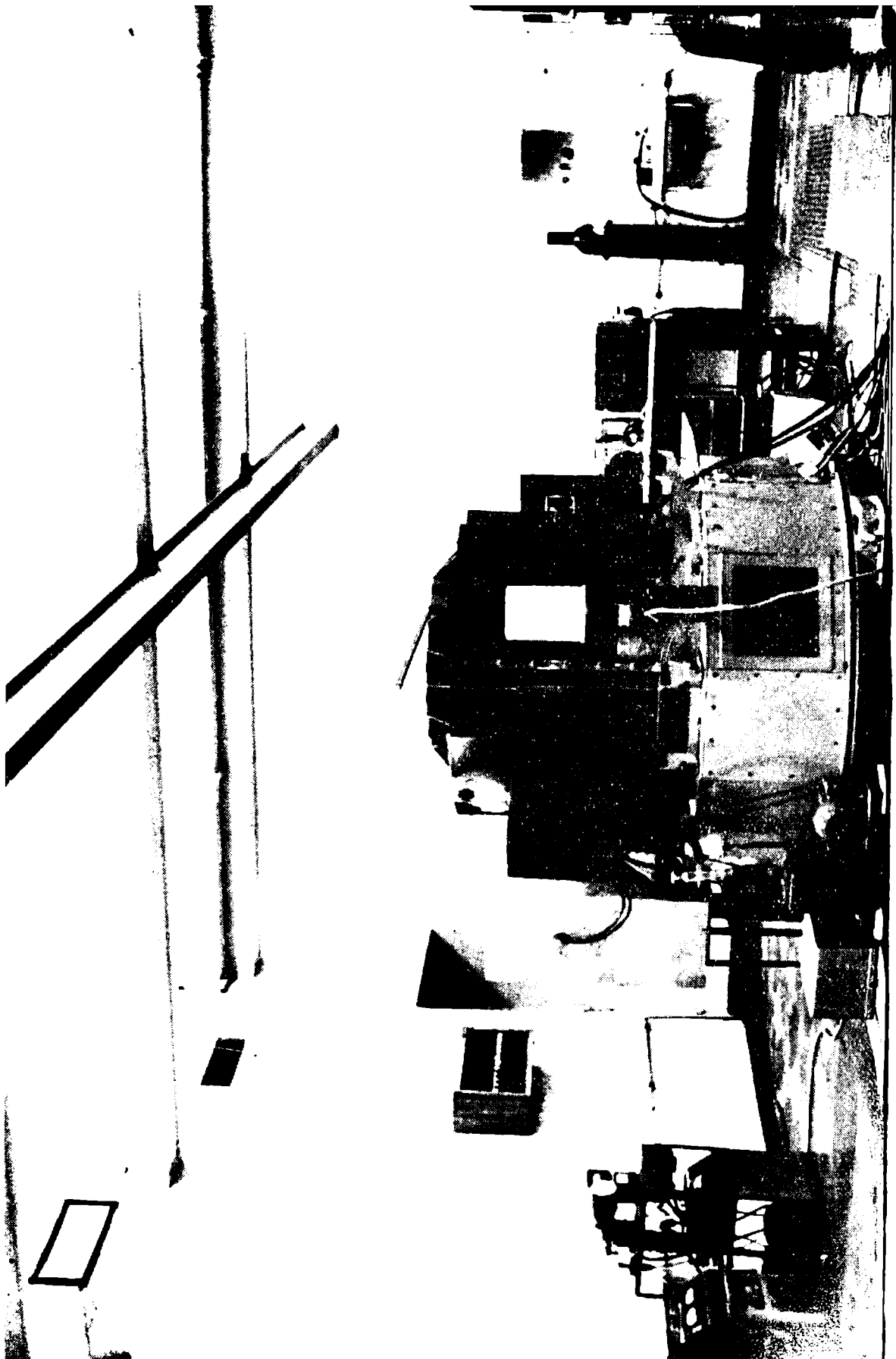
FLORIN CIORĂSCU și CONSTANTIN ILIESCU

Dezvoltarea industriei constructoare de mașini grele, a construcțiilor de instalații energetice, de prelucrare a minereurilor, chimice etc. ridică în mod permanent probleme noi de control nedistructiv. Pentru radiografierea pieselor de oțel cu grosimi între 150 ... 500 mm, la care nu mai sînt utilizabile instalațiile Röntgen sau cele de gamagrafie, tendința ultimilor ani este de a folosi ca surse de radiații acceleratoarele de electroni de diverse tipuri (electrostatice, liniare, betatroane), destinate inițial numai cercetărilor de fizică nucleară.

Principiul de producere a radiațiilor în aceste acceleratoare este analog tuburilor de radiații Röntgen din instalațiile industriale și medicale: electronii sînt accelerați cu ajutorul unui cîmp electric pînă la energia maximă E_M după care lovesc o țintă (anticatodă). Prin frînarea electronilor în cîmpul nucleelor țintei, ia naștere o radiație electromagnetică penetrantă cu un spectru continuu de energii care se întinde pînă la limita E_M , radiație numită și radiație de frînare.

Ceea ce deosebește diversele tipuri de acceleratoare este tocmai modul de producere a cîmpului electric de accelerare.

Dintre aceste acceleratoare, cel mai utilizat pentru defectoscopia pieselor groase este astăzi betatronul. Faptul că betatronul are posibilități interesante de aplicație atît în fizica nucleară, în biologie și în medicină, cît și în industrie, a determinat Institutul de fizică atomică al Academiei R.P.R. să treacă la realizarea unui asemenea tip de accelerator. El a fost proiectat și construit în întregime în țară de către specialiști din I.F.A. în colaborare cu cîteva unități industriale. Betatronul I.F.A. a fost pus în funcțiune în august 1959.



O dată cu începerea lucrărilor de cercetare cu ajutorul betatronului au fost întreprinse și primele studii și încercări cu privire la particularitățile folosirii betatronului pentru radiografieri.

1. Betatronul Institutului de fizică atomică

Procesul de accelerare a electronilor în betatron are loc într-o cameră de porțelan glazurat, de formă toroidală. În interiorul camerei de accelerare este menținut un vid înalt de ordinul 10^{-6} torr, cu ajutorul unui grup de pompare compus dintr-o pompă mecanică de vid preliminar și o pompă de difuzie cu vapori de ulei. Camera de accelerare este așezată între piesele polare ale unui electromagnet de curent alternativ de construcție specială, realizat din tole silicioase de transformator de 0,35 mm grosime.

În interiorul camerei, electronii parcurg un drum foarte lung, care constă din circa un milion de rotații pe o orbită circulară cu diametrul de 500 mm. Pe tot acest parcurs de circa 1 500 km, electronii cîștigă treptat energie, ajungînd pînă la sfîrșit la o energie de 30 MeV. Accelerarea electronilor se datorește cîmpului electric de inducție, generat de fluxul magnetic alternativ care străbate planul orbitei.

Betatronul posedă o înfășurare primară, alimentată la o tensiune alternativă de valoare eficace 6 kV. Pentru îmbunătățirea factorului de putere, în paralel cu această înfășurare se conectează o baterie de condensatoare de 1 000 kVA. Rclul înfășurării secundare este jucat de însăși fasciculul de electroni care prin executarea unui milion de rotații acumulează o energie echivalentă accelerării sub tensiunea unei înfășurări secundare de un milion de spire. Din acest punct de vedere, funcționarea betatronului prezintă o oarecare analogie cu funcționarea unui transformator electric.

Menținerea electronilor pe o orbită circulară și focalizarea fasciculului sînt realizate cu ajutorul cîmpurilor magnetice de o anumită variație în spațiu și în timp, realizată printr-o formă adecvată a profilului pieselor polare.

Funcționarea corectă a agregatului este asigurată de o instalație electronică (fig. 9.1). Introducerea electronilor în cameră se face cu ajutorul unui tun de electroni cu catod încălzit. La câteva milionimi de secundă după trecerea prin zero a cîmpului magnetic alternativ, se aplică tunului un puls de 30 ... 50 kV, care determină energia inițială a electronilor

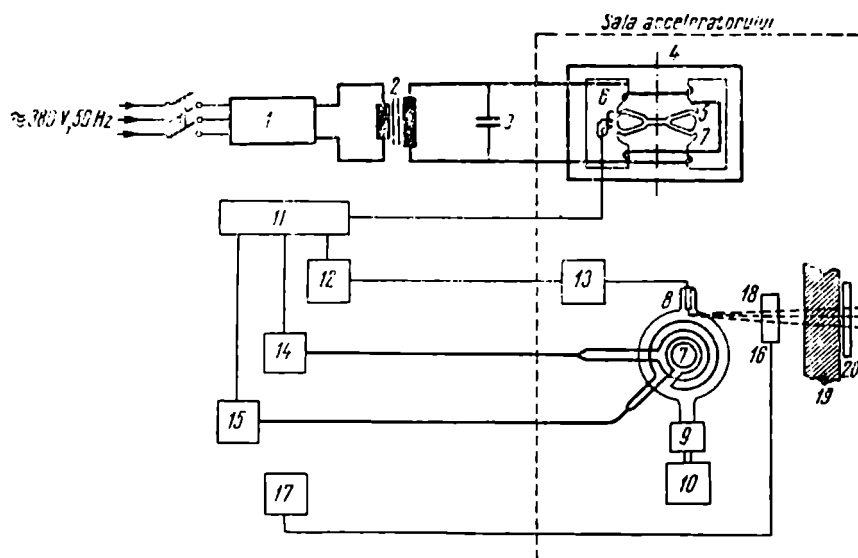


Fig. 9.1. — Schema de principiu a agregatului.

1, instalație de alimentare; 2, transformatorul de înaltă tensiune; 3, bateria de condensatoare; 4, circuitul magnetic; 5, bobinele de excitație; 6, bobină sondă de sincronizare; 7, camera de accelerare; 8, injectorul de electroni și ținta; 9, pompa de vid înalt; 10, pompa de vid preliminar; 11, circuitele de sincronizare și comandă; 12, generatorul de pulsuri pentru injecția electronilor; 13, transformatorul de impuls de înaltă tensiune; 14, generatorul de pulsuri pentru contracția orbitei; 15, generatorul de pulsuri pentru expansia orbitei; 16, camera de ionizare; 17, dozimetrul; 18, fasciculul de radiație; 19, obiectul radiografiat; 20, caseta cu filmul radiografic.

injecția. Imediat după aceasta, un alt circuit generează un puls de curent printr-o înfășurare specială, care face ca fasciculul de electroni să se grupeze pe orbita de accelerare, evitînd astfel ciocnirea cu injectorul la următoarele rotații. După un sfert de perioadă a tensiunii alternative, adică după un interval de timp de $1/200$ s, electronii au atins energia finală. În acest moment se aplică printr-o altă înfășurare un nou puls de curent care determină deplasarea fasciculului către ținta de tantal, așezată în interiorul camerei de accelerare. Prin ciocnire cu ținta, electronii accelerați generează un puls de radiație de frînare de durată foarte scurtă (cîteva milionimi de secundă). Procesul se repetă la fiecare perioadă a tensiunii de alimentare, adică de 50 de ori pe secundă.

Electromagnetul betatronului, în greutate de peste 3 tone, este așezat într-o încăpere prevăzută cu ziduri de beton greu, necesare pentru protecția contra radiațiilor a personalului de deservire. O serie de încăperi alăturate sînt destinate instalațiilor de alimentare, bateriei de condensatoare, aparatelor de protecție și măsură. Comanda și supravegherea întregii instalații sînt centralizate la un pupitru de comandă, aflat în camera de comandă.

Betatronul I.F.A. nu este destinat în mod exclusiv defectoscopiei industriale. Pentru acest scop se construiesc de obicei instalații cu comandă de la distanță, la care electromagnetul se poate deplasa în interiorul halelor de fabricație cu ajutorul unui cărucior sau cu podul rulant. Asemenea betatroane sînt produse în serie de unele întreprinderi. Dintre țările socialiste, betatroane specializate pentru defectoscopie se produc în U.R.S.S. și în R.S.Cehoslovacă.

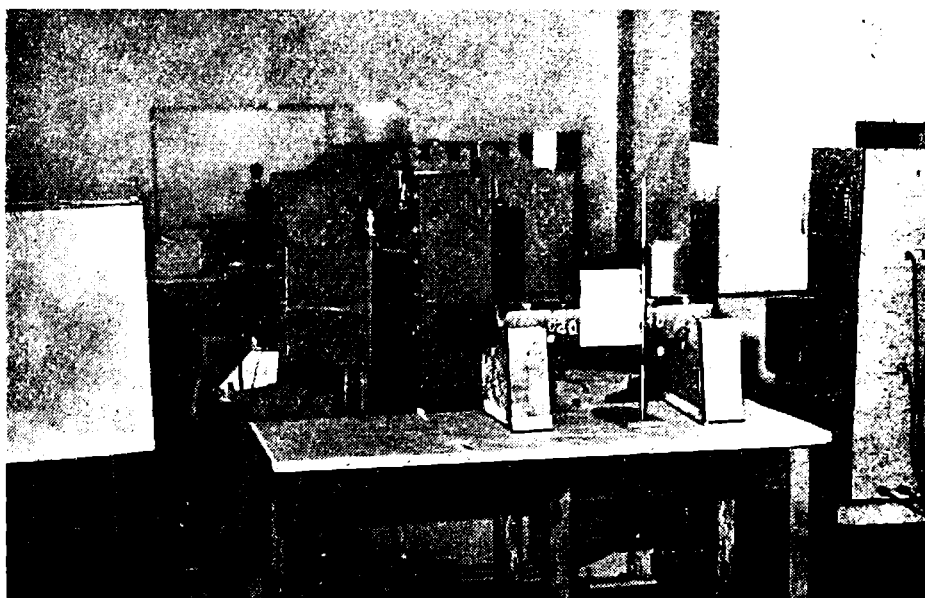


Fig. 9.2 — Radiografierea unui lingou la betatronul Institutului de fizică atomică.

Betatronul de cercetare realizat în țara noastră permite totuși și executarea unor lucrări de radiografiere industrială cu radiații foarte dure (fig. 9. 2.) și acumularea unei experiențe deosebit de necesare în acest domeniu nestudiat la noi în țară pînă în prezent.

2. Particularitățile și posibilitățile betatronografiei

Posibilitățile betatronografiei, adică ale radiografierii cu ajutorul betatronului, se apreciază, ca pentru oricare metodă de radiografiere industrială, în primul rînd în funcție de următorii doi factori :

a) posibilitatea de a detecta defecte cît mai mici într-un obiect cît mai gros, numită și sensibilitate de detectare a defectelor ;

b) timpul de expunere necesar pentru obținerea unei radiografii la o grosime dată a materialului, care, din considerente în primul rînd economice, este de dorit să fie cît mai scurt.

În funcție de acești doi factori se poate stabili care este domeniul de utilizare cel mai potrivit pentru fiecare metodă radiografică și, în cazul de față, pentru betatronografie.

Defectul minim detectabil pe o radiografie este dat de variația minimă de înnegrire care poate fi observată pe un film de un ochi exersat. Din acest punct de vedere, este avantajos să se lucreze cu radiații de energia cea mai joasă compatibilă cu un timp de expunere economic. Această concluzie nu este însă valabilă în domeniul de grosimi de care ne ocupăm, deoarece nu ține seama de un factor cu influență însemnată asupra sensibilității și anume de radiația împrăștiată care ia naștere în obiectul supus cercetării. Această radiație, cu atît mai însemnată cu cît piesa de cercetat este mai masivă, dă la rîndul ei o imagine pe film, care se suprapune peste cea dată de radiația primară și înrăutățește considerabil calitatea imaginii obținute. Radiația secundară împrăștiată, generată în obiect mai ales prin efect Compton, este însă cu atît mai redusă cu cît energia radiației primare este mai ridicată și, în plus, este îndreptată sub un unghi mic față de radiația primară. Ca rezultat al acestor fenomene, sensibilitatea de detectare a defectelor este în realitate superioară, pentru piese groase, în cazul utilizării radiațiilor Röntgen de energie înaltă.

Sensibilitatea de detectare a defectelor poate fi încă îmbunătățită prin procedeul de radiografiere cu mărire, în care filmul nu este pus în contact cu piesa ci la o anumită distanță, convenabil aleasă, în spatele ei. Acest procedeu poate fi aplicat cu mult succes la betatroane datorită micimii petei focale, ale cărei dimensiuni pot fi reduse la fracțiuni de milimetru. Se obțin în felul acesta radiografii clare cu mărimi pînă la 4×1 .

Betatronografia oferă și alte posibilități specifice. Printre acestea se numără :

1. Posibilitatea radiografierii pe o singură imagine a pieselor de forme complexe, cu mari variații de grosime sau alcătuite din materiale cu coeficienți de atenuare diferiți (de exemplu piese asamblate).

2. Există posibilitatea ca un betatron să lucreze cu două fascicule, folosind pentru aceasta fie o accelerare în decursul a două sferturi de perioadă ale tensiunii de alimentare, fie două camere de accelerare deosebite.

Dacă cele două fascicule sînt îndreptate la 180° , productivitatea operațiunii de expunere poate fi dublată prin radiografierea simultană a două piese. Dacă însă fasciculele sînt îndreptate în aceeași direcție, formînd între ele un unghi mic, astfel ca ele să se intersecteze la o anumită distanță de betatron, apare posibilitatea executării de radiografii stereoscopice. O asemenea radiografie, formată din două imagini, permite determinarea precisă a poziției defectului în adîncimea piesei examinate.

3. O altă posibilitate interesantă este radiografierea pieselor aflate în mișcare periodică, mai ales de rotație. Aceasta se realizează prin sincronizarea funcționării acceleratorului cu mișcarea obiectului, astfel ca fiecare impuls de radiații de frînare să găsească obiectul în aceeași poziție. Se obțin astfel strobografiile, utile în cazul mașinilor electrice, pompelor, centrifugelor etc., la care este necesar controlul unor dimensiuni interioare în timpul funcționării.

3. Locul și importanța economică a betatronografiei

Din cele de mai sus reiese că betatronografia este recomandată în primul rînd pentru piese groase (100...500 mm), piese care intră în construcția aparatelor de mare importanță economică și a căror siguranță în funcționare este o condiție esențială. Astfel, sînt potrivite pentru a fi radiografiate cu betatronul următoarele piese :

a) cusături sudate la cazane și containere cu pereți groși, pentru industria chimică, energetică etc.;

b) piese turnate din oțel sau bronz : corpuri de supape de înaltă presiune, carcase de turbine cu aburi, rotoare de turbine hidraulice, piese turnate pentru nave sau mașini grele, miezuri de electromagneți etc.

c) ansamblele sau subansamblele cuprinzînd piese și materiale diferite, ca de exemplu izolatoare de înaltă tensiune asamblate, aparate optice și de precizie, focoase de obuze etc.

Dintre acestea, anumite piese în funcție de grosimea și complexitatea lor, pot fi radiografiate numai cu betatronul. Pentru altele, există posibilitatea folosirii fie a betatronului fie a surselor cu Co^{60} .

În ceea ce privește timpul de expunere, este de menționat că betatroanele furnizează fascicule de intensități comparabile cu surse de sute și mii de curie de Co^{60} (o sursă de 1 c Co^{60} dă la 1 m o intensitate de 1,3 R/h, pe cînd betatronul I.F.A. dă la aceeași distanță 42 R/min). Ca urmare, duratele de expunere sînt mult inferioare în betatronografie față de gamagrafia cu Co^{60} . Sensibilitatea de detectare a defectelor este de asemenea, pentru motivele arătate, superioară la betatroane.

În schimb, gamagrafia cu izotopi radioactivi are unele avantaje importante, printre care: simplitatea și mobilitatea instalației ca și independența față de sursele de energie electrică, ceea ce oferă posibilitatea de lucru în condiții de șantier sau în lungul traseelor conductelor sudate, costul redus de investiții și întreținere, precum și faptul că nu necesită personal de exploatare de înaltă calificare. Aceste caracteristici se compară foarte favorabil cu complicația tehnică, mobilitatea redusă, greutatea și volumul relativ mari, costul ridicat de investiții și întreținere și calificarea înaltă a personalului necesar pentru exploatare, în cazul betatronului.

De aceea, trecerea la folosirea betatronografiei ca metodă de defectoscopie nedistructivă într-o anumită ramură industrială trebuie făcută numai pe baza unui studiu tehnico-economic aprofundat, bazat pe o experiență destul de bogată de radiografieri a diferitelor tipuri de piese cu diferite tipuri de defecte, care să permită stabilirea metodelor și condițiilor optime de folosire a betatronografiei în industrie. Trebuie de asemenea acumulată experiență privind caracteristicile de exploatare în timp ale instalațiilor, pentru a asigura robustețea utilajului impusă de cerințele unei exploatare industriale.

Acestea sînt direcțiile în care se fac cercetări în prezent cu ajutorul betatronului Institutului de fizică atomică. În acest scop au fost executate o serie de radiografii, atît pe piese masive cît și pe ansambluri, pentru a se pune la punct tehnica de lucru destul de specifică a betatronografiei. Astfel, în colaborare cu Uzinele „23 August” din București, a fost întreprins un studiu asupra calității lingourilor de oțel cu diametrul de

200 mm. Cu ajutorul betatronografiei, a fost cercetată zona superioară a lingoului și maselota, punându-se în evidență prezența, formele și dimensiunile retasurilor. În felul acesta au putut fi studiate direct, prin mijloacele defectoscopiei nedistructive, efectele diferitelor procedee moderne de turnare a lingourilor, cum este de exemplu vibrarea în timpul turnării.

Cercetări ulterioare au permis îmbunătățirea sensibilității de detectare a defectelor pînă la 0,5% din grosimea piesei controlate.

Lucrările de defectoscopie efectuate cu ajutorul betatronului I.F.A. au permis acumularea unui material experimental interesant, necesar în aplicarea în țara noastră a acestei metode moderne de control industrial, în vederea îmbunătățirii calității și reducerii prețului de cost al produselor.

§ 10. DOUĂ METODE RADIOSPECTROSCOPICE CU LARGI APLICAȚII: REZONANȚA MAGNETICĂ NUCLEARĂ (R.M.N.) ȘI REZONANȚA PARAMAGNETICĂ ELECTRONICĂ (R.P.E.)

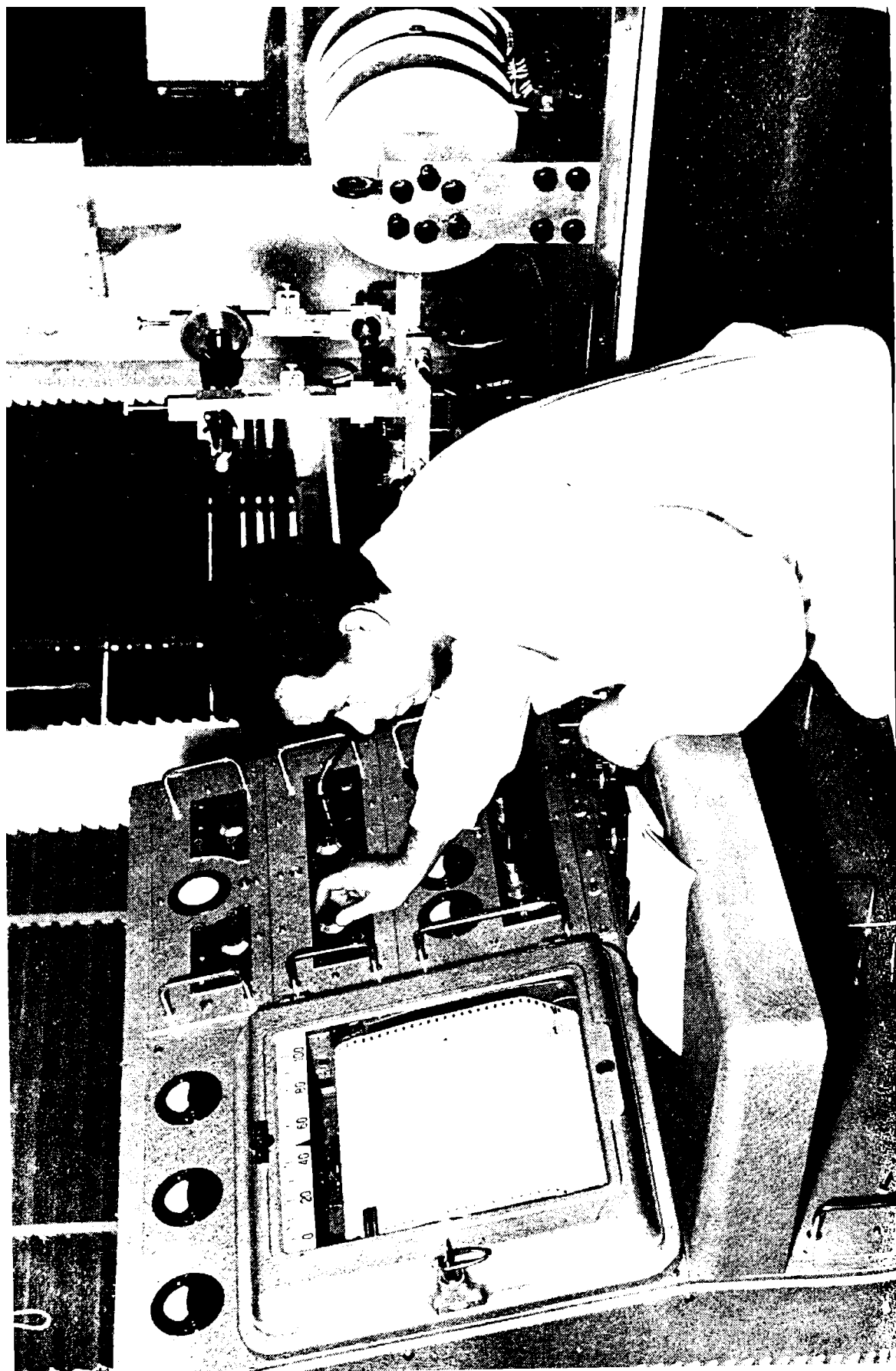
ADRIAN VALERIU și ALEXANDRU T. BALABAN

Fenomenele de rezonanță magnetică au putut fi observate experimental pentru prima oară în jurul anului 1945. De atunci, s-au descoperit numeroase posibilități de aplicarea lor în chimie, biologie, geofizică și metrologie, așa încît astăzi în mai toate țările există grupuri de cercetare care se preocupă de introducerea și dezvoltarea acestor metode radiospectroscopice.

La Institutul de fizică atomică, aceste probleme au fost abordate în cadrul laboratorului de radiospectroscopie. Aici au fost construite spectrografe de R.M.N. și R.P.E., care se află din anul 1959 în regim de exploatare curentă, alte instalații experimentale fiind în curs de realizare. Toate spectrele prezentate în cele ce urmează au fost înregistrate cu aceste spectrografe.

1. Bazele fizice ale R.M.N. și R.P.E.

Electronii și unele din nucleele atomilor posedă un moment cinetic de spin $I\hbar/2\pi$ care poate fi prezentat intuitiv ca o rotație în jurul unei axe ($\hbar$ este constanta lui Planck iar I este numărul cuantic de spin și este un multiplu de $1/2$). Aceste particule se comportă ca niște mici magneți. Într-un câmp magnetic exterior orientarea axei lor de rotație, adică a direcției momentului magnetic, este cuantificată, adică sînt posibile doar $2I + 1$ orientări ale axei acestor magneți față de direcția cîmpului magnetic exterior. Energia particulei depinde de această orientare: cînd sensurile cîmpului magnetic exterior și al magnetului elementar coincid, energia este minimă, cînd sînt perpendiculare particula are energia pe care ar fi avut-o în absența cîmpului magnetic exterior iar cînd sensurile sînt opuse, energia particulei este maximă.



Cu alte cuvinte, un câmp magnetic exterior produce o scindare a nivelelor de energie, care se recunoaște în spectrele optice prin efectul Zeeman și care este cu atât mai mare cu cât este mai intens câmpul magnetic exterior H_0 . O radiație electromagnetică de frecvență $\nu = \gamma H_0 / 2\pi$ poate provoca tranziții între două nivele energetice vecine, fenomen care poate fi pus în evidență printr-o absorbție de energie din câmpul electromagnetic. Aceasta constituie fenomenul de rezonanță magnetică. Energia absorbită este folosită la aducerea magnetilor elementari în opoziție cu câmpul magnetic exterior. După un anumit „timp de relaxare”, acești magneti elementari revin la starea inițială, eliminând excesul de energie sub formă de căldură.

Electronul are numărul cuantic de spin $I = 1/2$, deci sînt permise $2I + 1 = 2$ orientări : paralel și antiparalel cu câmpul magnetic exterior. Nucleele atomice au diverse valori ale numărului cuantic de spin I și ale constantei γ , numită raport giromagnetic. Diferenții izotopi ai aceluiași element pot fi ușor deosebiți avînd rapoarte giromagnetice net diferite. În schimb, nuclee ca O^{16} sau C^{12} (și în general nuclee cu număr par de protoni și neutroni) au $I = 0$, deci, neavînd moment magnetic, nu dau semnale de R.M.N. Cu valorile uzuale de cîteva mii de gauși ale câmpului magnetic, rezonanța diferitelor nuclee poate fi observată la frecvențe de $1 \dots 100$ MHz (în domeniul undelor scurte) iar rezonanța electronică la frecvențe de circa $1\,000$ de ori mai mare (în domeniul undelor centimetrice). Această deosebire se explică prin faptul că electronul are un moment magnetic mult mai mare decît cel nuclear.

Astfel, în funcție de diferența de energie din ce în ce mai redusă dintre nivelul fundamental și cel excitat, excitările electronice dau naștere spectrelor ultraviolete și vizibile, excitările vibraționale spectrelor infraroșii, excitările rotaționale spectrelor de microunde, excitările spinilor electronici spectrelor de R.P.E. iar excitările spinilor nucleari spectrelor de R.M.N.

În domeniul rezonanței electronice, se folosește de preferință, pentru a specifica poziția rezonanței, în locul raportului giromagnetic, o mărime adimensională proporțională cu γ și anume g (factorul de despicare spectroscopică). În timp ce factorul γ (respectiv g) determină poziția rezonanței, lărgimea și forma curbei de absorbție sînt determinate de alte două mărimi caracteristice și anume timpul de relaxare spin-rețea T_1 și

timpul de relaxare spin-spin T_2 . Aceste constante nu sînt proprii nucleului sau electronului ci depind de natura probei solide sau lichide care conține nucleele studiate.

Cîmpul magnetic în care se găsește fiecare nucleu este influențat în oarecare măsură de ecranarea magnetică datorită electronilor. La fel, cînd se studiază rezonanța unui atom sau a unei molecule care conține un electron nepereche, valoarea lui g este modificată datorită intervenției momentului magnetic și cinetic orbital. Din această cauză, natura chimică a probei modifică puțin frecvența la care apare rezonanța. Acest efect, denumit deplasare chimică, deschide un larg cîmp de aplicare a R.M.N. în chimie. El permite studiul legăturii chimice în compuși lichizi covalenți.

R.M.N. și R.P.E. constituie metode spectroscopice nedestructive care studiază atomii și moleculele în stare neexcitată, în probe solide sau lichide la diverse temperaturi.

2. Observarea experimentală a rezonanței magnetice. Spectrografe de R.M.N. și R.P.E.

Proba, constituită dintr-o fiolă (de sticlă, plexiglas sau teflon) cu cîteva miligrame pînă la cîteva grame din substanța de studiat, este introdusă între polii unui electromagnet care produce un cîmp magnetostatic intens. Acestuia i se suprapune

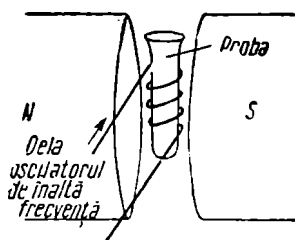


Fig. 10.1. — Proba de R.M.N. se găsește în cîmpul magnetostatic dat de electromagnet și în cîmpul magnetic de înaltă frecvență produs de o bobină.

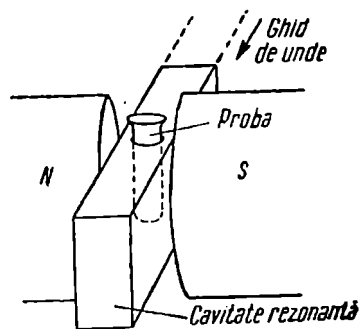


Fig. 10.2. — Proba de R.P.E. se găsește în cîmpul magnetostatic dat de electromagnet și în cîmpul magnetic de foarte înaltă frecvență produs de o cavitate rezonantă.

un cîmp slab de înaltă frecvență, produs de o simplă bobină în cazul R.M.N. (fig. 10. 1) iar în cazul R.P.E. de o cavitate rezonantă (fig. 10. 2), alimentată prin intermediul unor ghiduri de unde de la un oscilator de microunde cu tub clistron.

Fenomenul de rezonanță produce o ușoară modificare în caracteristicile electrice ale bobinei, respectiv ale cavității rezonante. Aceste modificări sînt puse în evidență, amplificate și înregistrate, cu ajutorul aparaturii electronice specializate. Electromagnetul cu sursa de alimentare stabilizată, oscilatorul care produce cîmpul de înaltă frecvență, aparatura electronică de observare și înregistrare și dispozitivele anexe constituie spectrograful de rezonanță magnetică.

Spectrografele de R.M.N. sînt de două tipuri :

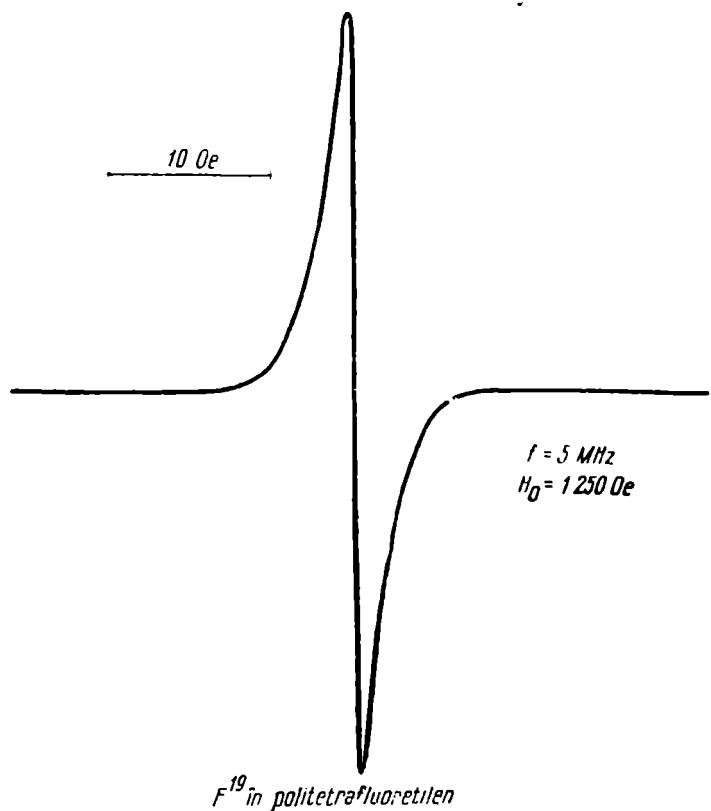


Fig. 10.3. — Linia nucleului de F^{19} într-o probă de politetrafluoretilenă (teflon). Se înregistrează derivata curbei de absorbție.

a. *Spectrografe diferențiale*, la care curba este explorată prin suprapunerea unei componente alternative peste cîmpul static H_0 . În acest fel, se înregistrează un semnal proporțional cu derivata curbei de absorbție (fig. 10.3). Acest tip de spectrograf se caracterizează printr-o sensibilitate ridicată, fiind adaptat

pentru lucrul cu probe solide. Un asemenea spectrograf este în funcțiune la I.F.A. (fig. 10.4).

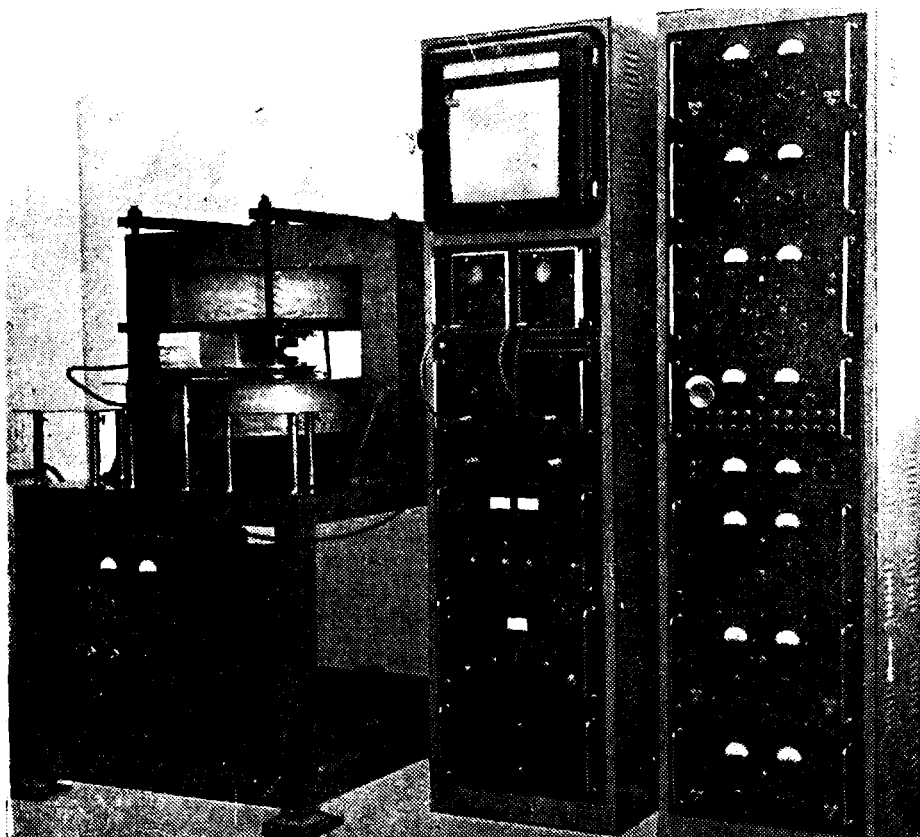


Fig. 10.4. — Spectrograful de R.M.N. de tip diferențial realizat la I.F.A.

b. *Spectrografe de înaltă rezoluție*, destinate studiului deplasărilor chimice la probe lichide. Aici principala problemă este realizarea unei uniformități și stabilități a câmpului magnetic de ordinul a 10^{-8} ; timpii de relaxare lungi exclud posibilitatea ridicării diferențiale, deci spectrografele R.M.N. de înaltă rezoluție înregistrează curba direct (nederivată), avînd o sensibilitate mai redusă. La I.F.A. este prevăzută realizarea unui asemenea spectrograf.

Spectrografele de R.P.E. sînt toate cu ridicare diferențială. După felul cum se face detecția ele se împart în :

a. *Spectrografe cu detecție directă*, care ating o sensibilitate de ordinul a 10^{13} centri paramagnetici.

b. *Spectrografe cu detecție superheterodină*, a căror sensibilitate, cu un ordin de mărime mai bună, se apropie de valoarea limită teoretică.

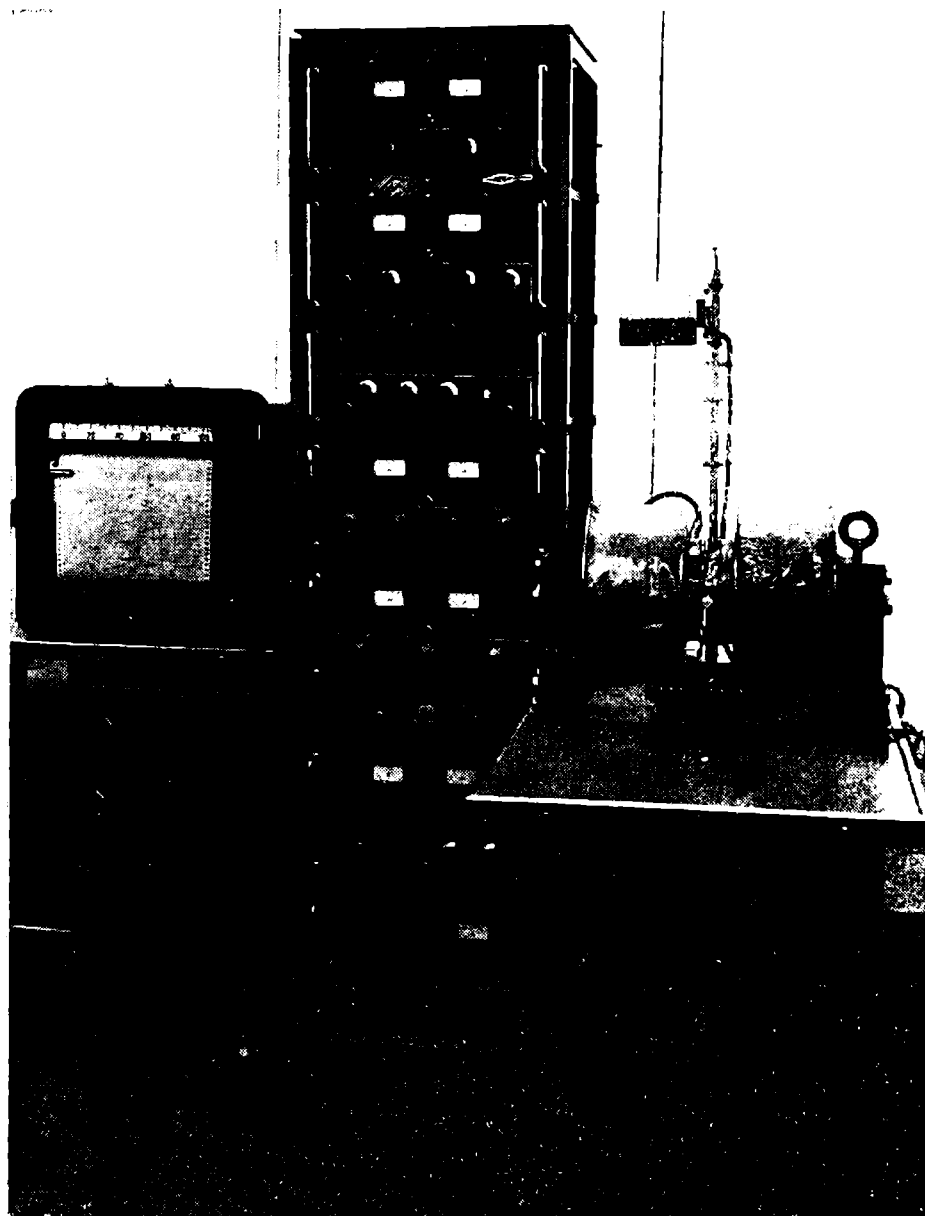


Fig. 10.5. — Spectrograful de R.P.E. cu detecție directă realizat la I.F.A.

În prezent este în funcțiune la I.F.A. un spectrograf R.P.E. cu sensibilitatea de 10^{13} centri paramagnetici (electroni neîmperechiați) pe gauss (fig. 10. 5) și se construiește un spectrograf superheterodină cu o sensibilitate și mai bună.

3. Aplicațiile R.M.N.

Prin R.M.N. pot fi studiate toate elementele ale căror nuclee posedă moment magnetic, printre care în primul rând hidrogenul H^1 , larg răspândit în compuși anorganici și mai ales organici, precum și Li^7 , B^{11} , C^{13} , N^{14} , O^{17} , F^{19} , P^{31} etc., în diferite combinații ale lor. Probele solide și lichide se adaptează bine la măsurători de R.M.N.; probele gazoase dau semnale slabe din cauza concentrației reduse de nuclee pe unitatea de volum; probele metalice sau semiconductoare pot fi studiate numai sub formă de pulberi foarte fine.

Pe lângă măsurarea exactă a momentelor magnetice nucleare, R.M.N. are multe alte posibilități care își găsesc utilizare în cercetarea aplicată și în industrie.

A. Analize cantitative chimice și izotopice

O spectrogramă de rezonanță magnetică nucleară furnizează atât informații calitative (deduse din valoarea cîmpului la care apare rezonanța pentru o frecvență dată), cât și informații cantitative, deduse din amplitudinea liniei de rezonanță. Datorită faptului că liniile de rezonanță sînt mult mai înguste decît distanța care le separă (fig. 10. 6) se poate identifica întotdeauna fără ambiguitate elementul (respectiv izotopul) care dă semnalul de R.M.N. Deși metoda are o sensibilitate limitată la concentrații de ordinul 1%, ea are avantajul de a fi rapidă și nedestructivă.

O aplicație dintre cele mai răspîndite este determinarea umidității în diverse produse chimice și biologice (amidon, lapte praf, medicamente, produse liofilizate etc). Metoda se bazează pe faptul că semnalul de rezonanță magnetică nucleară al protonilor din apă este mult mai îngust decît al hidrogenului legat chimic în proba solidă.

O aplicație specifică o constituie dozarea izotopilor cu ajutorul R.M.N. De pildă, semnalul protonului este folosit pentru indicarea (eventual continuă) a proporției de apă într-un amestec apă-apă grea.

Substanțele paramagnetice pot fi observate cu R.M.N. chiar în concentrații foarte slabe (impurități) prin modificarea sensibilă a timpului de relaxare T_1 . De pildă, înlocuirea a $4 \cdot 10^{-5}$ din ioni de Al cu Cr la un alaun de aluminiu micșorează la jumătate timpul de relaxare al protonilor din apa de cristallizare.

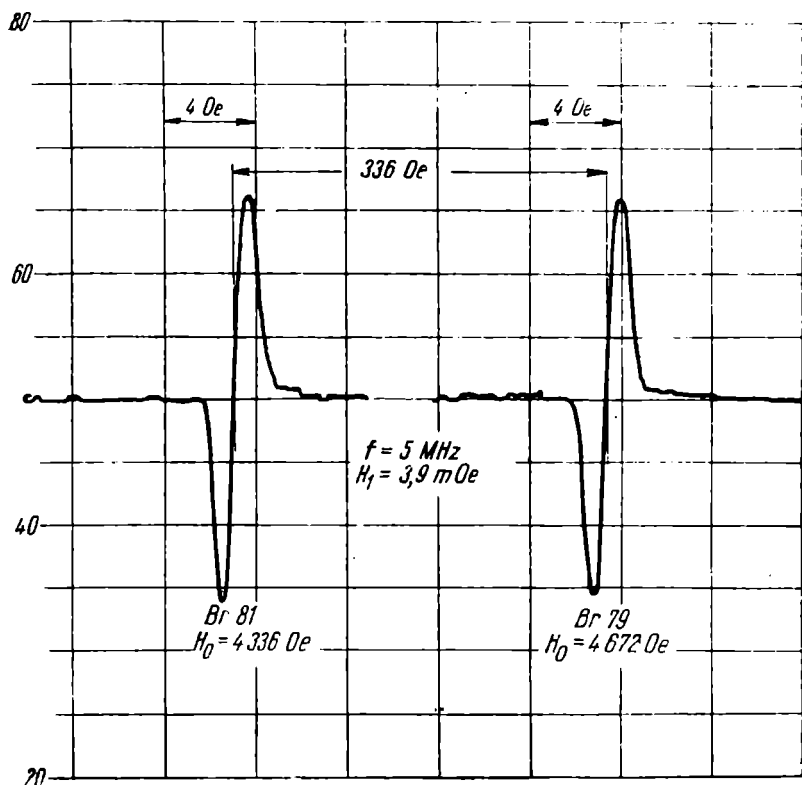


Fig. 10.6. — Liniile de absorbție corespunzând celor doi izotopi ai bromului, într-o probă de KBr.

B. Studii de structură la solide

Lărgimea și forma liniei de rezonanță la solide sînt determinate de interacțiunea fiecărui nucleu cu nucleele vecine din rețeaua cristalină. Teoria acestor interacțiuni, elaborată de Van Vleck, leagă anumiți parametri măsurabili ai spectrelor de R.M.N. la solide (pulberi sau monocristale) de configurația rețelei cristaline, permițînd astfel verificarea experimentală a unor ipoteze privind structura solidului respectiv. Metoda completează datele obținute cu radiații Röntgen, în special în cazul nucleelelor ușoare, care sînt mai greu de studiat cu ajutorul radiațiilor Röntgen.

În studiul polimerilor, R.M.N. poate pune în evidență existența simultană a unei faze cristaline (linie de absorbție largă) și a unei faze amorfe (linie îngustă).

Studiile de R.M.N. la solide necesită o bună sensibilitate a aparaturii, deoarece semnalele obținute sînt slabe (în special

la probe cristaline). Spectrograful de R. M. N. cu ridicare diferențială, care este în funcțiune la I.F.A., este adaptat pentru asemenea studii.

C. Studii de structură moleculară la lichide cu ajutorul R.M.N. de înaltă rezoluție

Liniile de absorbție la lichide se caracterizează prin faptul că sînt deosebit de înguste (sub 10^{-3} Oe), ceea ce permite punerea în evidență a efectului de „deplasare chimică”. Cîmpul magnetic în care se găsesc nucleele diferă în mică măsură de cîmpul aplicat H_0 , din cauza ecranării diamagnetice datorite electronilor din moleculă. De aceea, nuclee de aceeași specie, de exemplu de hidrogen, vor fi ecranate diferit atunci cînd ocupă poziții diferite în moleculă, adică atunci cînd repartizarea electronilor din jurul acestor nuclee este diferită. Rezonanța acestor nuclee va apărea deplasată în funcție de felul cum sînt legate chimic în moleculă, deplasările relative fiind de ordinul cîtorva unități la milion.

Studiul deplasărilor chimice ale hidrogenului în molecule organice a luat o mare extindere, obținîndu-se spectre care dau informații prețioase despre structura moleculei. Aceste informații se referă la modul de legare a atomilor, întrucît anumitor grupări din molecule le corespund întotdeauna valori caracteristice ale deplasărilor chimice. Pentru aplicațiile în chimia organică, metoda R.M.N. de înaltă rezoluție este cel puțin tot atît de utilă ca și spectroscopia de absorbție în infraroșu. Spectrele de R.M.N. sînt de regulă mai simple, și deci mai ușor de interpretat, decît cele în infraroșu, și dau informații ce nu pot fi obținute prin alte metode.

Este interesant de observat că spectroscopia R.M.N. de înaltă rezoluție nu urmărește studiul nucleului în sine ci îl folosește ca un „informator” care, slab cuplat cu învelișul electronic al moleculei, poate furniza date cu privire la legăturile chimice.

D. Măsurarea și stabilizarea cîmpurilor magnetice

Determinarea frecvenței ν la care apare rezonanța într-un cîmp magnetic dat poate servi la măsurarea absolută a intensității H_0 a cîmpului magnetic, în baza relației

$$H_0 = 2\pi\nu/\gamma.$$

Introducerea acestei metode a sporit cu cel puțin două ordine de mărime precizia atinsă în măsurările de câmp magnetic, datorită preciziei cu care se pot măsura frecvențele ($10^{-4} \dots 10^{-5}$ în mod curent), preciziei cu care este cunoscut γ pentru proton (10^{-5}) și ascuțimii deosebite a liniei de rezonanță (lărgime naturală sub 10^{-3} Oe).

La I.F.A. au fost realizate mai multe magnetometre cu R.M.N. care funcționează cu bune rezultate, precum și un stabilizator de câmp magnetic ce folosește semnalul de R.M.N. ca referință.

La măsurarea cu R.M.N. se pretează câmpurile magnetice suficient de intense ($H_0 > 200 \dots 300$ Oe), de uniforme și de bine stabilizate în timp.

Dacă linia de absorbție este parcursă rapid, datorită reorientărilor succesive ale spinilor nucleari semnalul este însoțit de un tren de oscilații amortizate, observabile într-un câmp suficient de uniform (fig. 10.7). Oscilațiile amortizate ce însoțesc semnalul de rezonanță servesc pentru aprecierea și eventual corectarea uniformității câmpului magnetic.

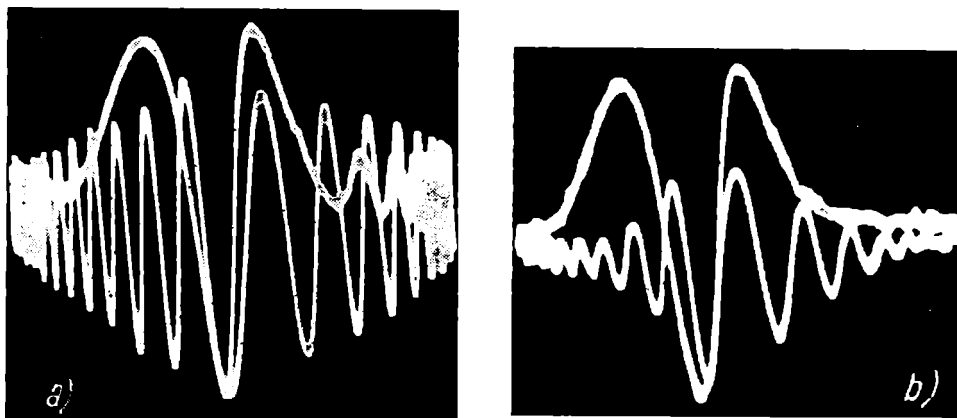


Fig. 10.7. — Semnalul de absorbție al protonului în apă. Fenomenele tranzitorii ce însoțesc trecerea rapidă prin rezonanță indică uniformitatea câmpului :
a) câmp magnetic uniform : b) câmp magnetic neuniform.

Folosind un procedeu special (inducția nucleară liberă) s-a putut măsura cu R.M.N. câmpul terestru sau câmpul magnetic în spațiul cosmic. Geomagnetometrele cu R.M.N. sînt adecvate pentru prospecțiuni geofizice (semnalarea anomaliilor magnetice). Această problemă urmează să fie abordată în cadrul laboratorului de radiospectroscopie din I.F.A.

4. Aplicațiile R.P.E.

Rezonanța paramagnetică electronică poate fi observată la substanțe care conțin electroni nepereche. Majoritatea moleculelor conțin un număr par de electroni, grupați doi câte doi cu spinul antiparalel, însă există unele molecule și unii atomi cu unul sau mai mulți electroni nepereche. În această ultimă categorie intră radicalii liberi organici și anorganici, ionii elementelor de tranziție (care au pături electronice interioare incomplete) și unele tipuri de defecte ale rețelelor cristaline.

Datorită faptului că momentul magnetic al electronului este mult mai mare decât cel nuclear, sensibilitatea metodelor de R.P.E. depășește cu câteva ordine de mărime sensibilitatea R.M.N. ceea ce prezintă importanță pentru concentrațiile mici în care apar radicalii liberi în procesele chimice și biochimice.

A. Radicali liberi

Radicalii liberi sînt în general nestabili și apar în procese pirolitice, fotolitice, sau electrochimice, de exemplu în cracări, polimerizări, oxidări, reacții fotochimice etc. În caz că se ating și se mențin concentrații suficiente de radicali, ei pot fi decelați prin R.P.E. Pe de altă parte, există și unii radicali liberi stabili: datorită conjugării, electronul nepereche este delocalizat și de aceea acești radicali au o tendință redusă de a se dimeriza și există în stare monomeră chiar la temperatura obișnuită.

Majoritatea radicalilor liberi au un factor g apropiat de al electronului liber (2,0023), totuși măsurări precise pot pune în evidență abateri mici, care indică existența unui slab cuplaj spin-orbită caracteristic structurii radicalului.

Spectrele de R.P.E. ale radicalilor liberi prezintă adesea, în special în soluție, o structură hiperfină datorită interacțiunii electronului cu spinii nucleari, de exemplu în cazul radicalului trifenilmetil, cu spinii nucleelor de hidrogen (fig. 10.8). Analiza structurii hiperfine permite să se precizeze gradul de localizare a electronului nepereche la fiecare din atomii cu spin diferit de zero ai unei molecule. Aceste date asupra repartizării densității de spin nu pot fi obținute prin alte metode; ele au dus la importante concluzii teoretice.

Printre posibilitățile deschise de studiul radicalilor liberi cu R.P.E. cităm : detectarea biradicalilor și a stărilor electronice de triplet, studiul stabilizării radicalilor în faze condensate și prin înghețare, studii de recombinație atomică la temperaturi joase și de cinetica reacțiilor chimice în general, analiza semichinonelor și a hidrocarburilor policiclice, rolul radicalilor liberi

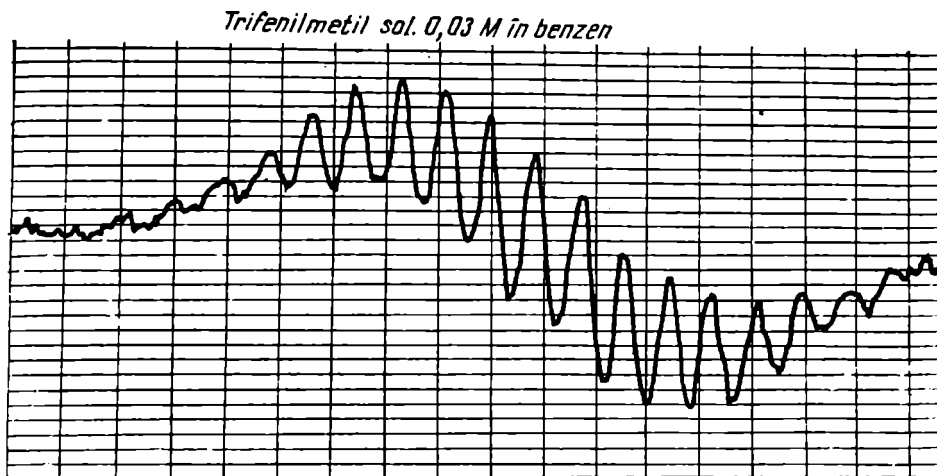


Fig. 10.8. — Spectrul de R.P.E. al radicalului liber trifenilmetil în soluție benzenică.

în coroziune, studii asupra țigărilor și cărbunilor. Decelarea radicalilor liberi produși prin anumite procese biochimice (fotosinteză etc.), a interacțiunilor enzimactice, sau a relațiilor între conținutul de radicali liberi și activitatea cancerigenă deschid perspective pentru aplicarea R.P.E. în biologie.

B. Ioni elementelor de tranziție

În această categorie intră elementele din grupele tranziționale ale sistemului periodic, în special cele din grupa fierului, a lantanidelor și a actinidelor. Printre rezultatele obținute cităm : determinări de spin nuclear prin descompunerea liniei de R.P.E., studiul aliajelor conținând ioni paramagnetici, dozarea impurităților paramagnetice (de pildă a vanadiului în țigări), studiul compușilor organometalici (de exemplu hemoglobina), studii de solvatare etc.

Factorul g poate diferi mult de valoarea 2 și depinde de combinația în care se găsește ionul paramagnetic.

C. Defecte de rețea

Defectele în rețelele cristaline pot fi produse de impurități sau de acțiunea radiațiilor ionizante. Unele din aceste defecte (ioni cu sarcină anormală, electroni nepereche) sînt paramagnetice și prezintă semnale de R.P.E., cu eventuală structură hiperfină datorită interacțiunii cu nucleul cel mai apropiat. Aceasta permite să se tragă concluzii privind amplasarea și constituția defectelor.



Pe lîngă domeniile de aplicare enumerate, publicațiile de specialitate descriu în fiecare an numeroase noi posibilități de utilizare ale rezonanței magnetice în cercetarea științifică fundamentală sau aplicată în industrie ori în biologie.

§ 11. MAȘINILE ELECTRONICE DE CALCUL ȘI APLICAȚIILE LOR ÎN ECONOMIA NAȚIONALĂ

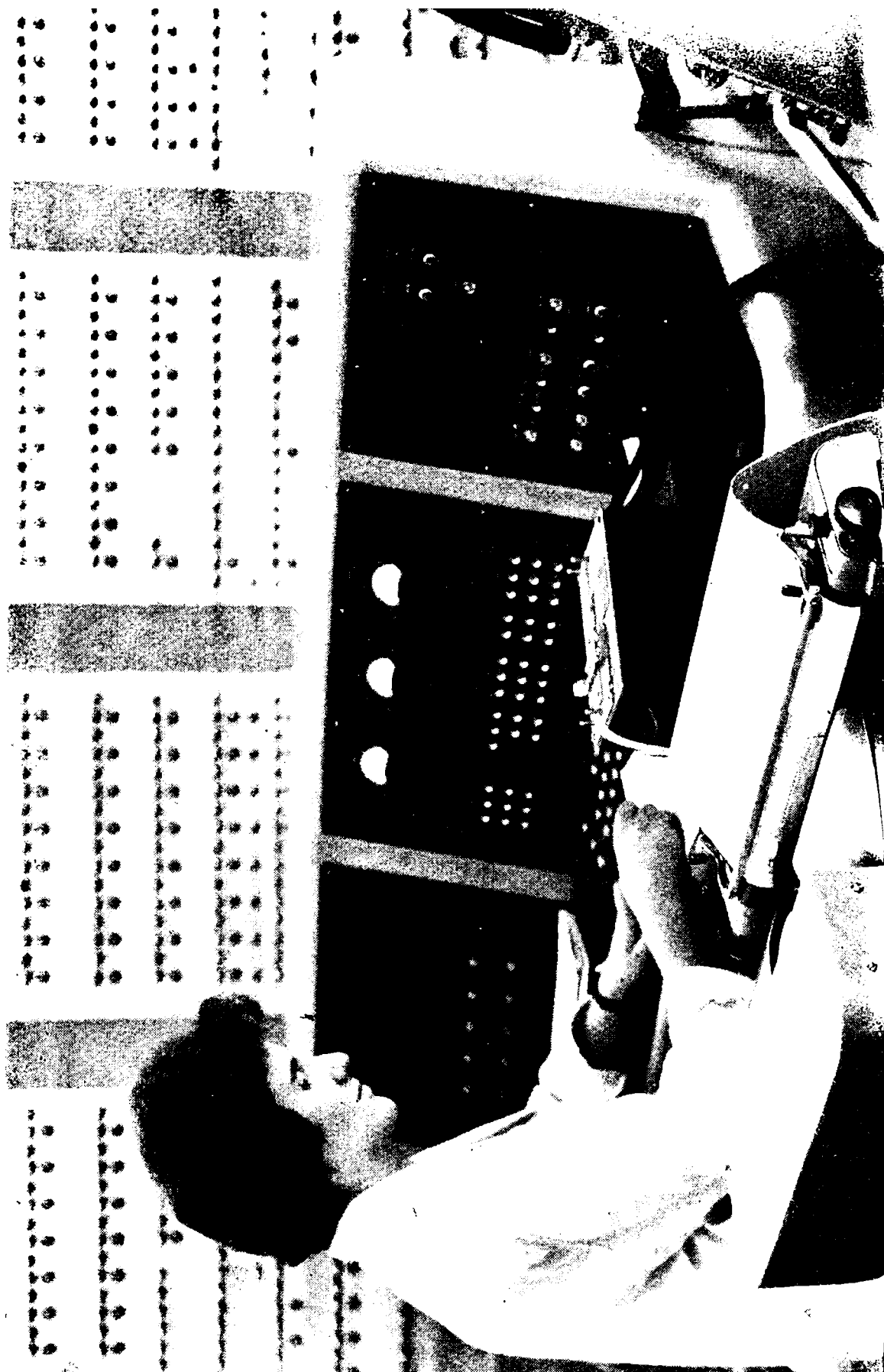
VICTOR TOMA

1. Dezvoltarea construcției mașinilor electronice de calcul în cadrul Institutului de fizică atomică

Importanța dezvoltării mașinilor electronice de calcul pentru economia națională a unui stat industrial modern este astăzi în mod unanim recunoscută. Ea se bazează pe capacitatea acestor mașini de a rezolva prin calcul probleme de natură foarte variată, în mod corect, într-un timp mult mai scurt în comparație cu mijloacele clasice de calcul și cu un efort uman incomparabil mai redus.

O asemenea mașină electronică de calcul se compune în principiu dintr-un sistem aritmetic care execută operațiile fundamentale: adunarea, scăderea, înmulțirea și împărțirea, precum și unele operații logice, dintr-un dispozitiv de memorie, în care se înregistrează datele unei probleme și programul ei de rezolvare, și din dispozitive auxiliare pentru introducerea problemelor și comunicarea rezultatelor calculelor efectuate.

În țara noastră, primele preocupări în acest domeniu au apărut în anul 1953, când, un colectiv de cercetători ai Institutului de fizică al Academiei R.P.R. (azi Institutul de fizică atomică) a început studiul acestei probleme. S-a început cu o serie de realizări din diferite domenii ale tehnicii impulsurilor, ca de exemplu studiul elementelor logice ale mașinilor electronice, realizarea numărătoarelor electronice de diferite tipuri, principiile de executare a operațiilor aritmetice fundamentale în sistemul binar, studiul dispozitivelor de memorie și altele. După o serie de experiențe necesare însușirii acestei tehnici specifice, în anul 1955 a fost începută proiectarea calculaturu-



lui electronic numeric CIFA-1. Proiectul logic al acestei mașini electronice a fost prezentat cu ocazia colocviului internațional de mașini matematice care a avut loc la Dresda (R.D.G.), în noiembrie 1955.



Fig. 11.1. — Calculatorul electronic CIFA-1.

Mașina electronică CIFA-1 (fig. 11.1), a cărei denumire reprezintă inițialele cuvintelor „Calculatorul Institutului de fizică al Academiei R.P.R.“, a executat primul calcul automat în aprilie 1957.

← EFECTUAREA UNOR CALCULE CU MAȘINA ELECTRONICĂ
CIFA-3.

Deși în construcția acestei mașini soluțiile tehnice alese nu au fost întotdeauna cele mai fericite, lucru ușor de înțeles la o primă realizare, totuși mașina a putut fi folosită la rezolvarea cu succes a numeroase probleme din diferite domenii de activitate.

Dar rolul mult mai mare al mașinii CIFA-1 a fost acela de școală, în jurul ei formându-se cercetători care au obținut o prețioasă experiență în acest domeniu de înaltă tehnicitate, matematicieni specializați în soluționarea problemelor cu ajutorul mașinilor electronice; prin exemplele practice de probleme rezolvate, s-a deșteptat de asemenea interesul unor cercuri largi de cercetători, proiectanți sau specialiști din producție, pentru rezolvarea cu mijloace automate a problemelor lor specifice.

Mașina CIFA-1 a fost urmată de CIFA-2, pusă în funcțiune în 1959, de CIFA-3 în 1961 și de CIFA-4 și CIFA-101 în 1962. Fiecare dintre aceste mașini a fost perfecționată din punct de vedere tehnic atât în cursul funcționării sale, cât și în special prin trecerea de la un tip la altul. S-a urmărit în special creșterea siguranței de funcționare pentru ca mașinile electronice realizate să poată funcționa fără greșeli și întreruperi lungi perioade de timp. A fost mult îmbunătățită introducerea datelor prin folosirea benzii perforate și prin înscrierea numerelor numai cu ajutorul cifrelor semnificative. S-a îmbogățit codul instrucțiunilor folosite, obținându-se o scurtare considerabilă a timpului de rezolvare a unor categorii de probleme.

Mașinile electronice CIFA-1, 2, 3, 4 sînt de tip paralel, în care o operație se execută cu toate cifrele unui număr în același timp. Spre deosebire de acestea, mașina CIFA-101 este de tip serie, diferitele cifre ale unui număr fiind prelucrate în timp în mod succesiv.

Mașina CIFA-3 (fig.11.2) este destinată Centrului de calcul al Universității din București.

Toate mașinile enumerate mai sus sînt numerice sau cifrice, ceea ce înseamnă că execută operații cu numere abstracte care iau valori discrete. În Institutul de fizică atomică a existat și preocuparea realizării mașinilor de tip analog în care datele sînt reprezentate prin valori continue și care modelează comportarea anumitor fenomene fizice complexe. Din această categorie face parte calculatorul analogic construit la Filiala Cluj și prevăzut cu 20 de amplificatoare operaționale și simulatorul reactorului nuclear realizat la I.F.A. București.

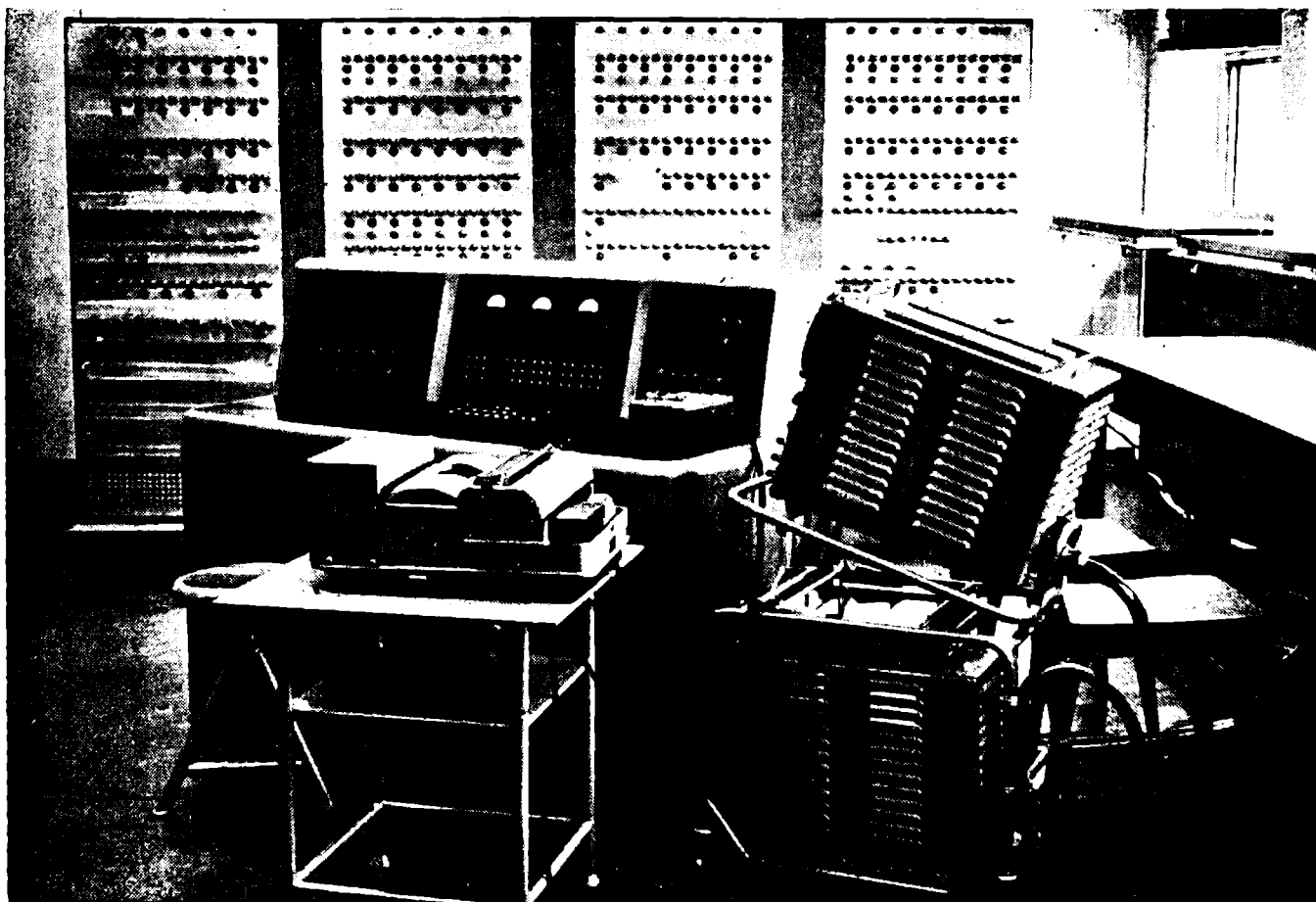


Fig. 11.2. -- Calculatorul electronic CIFA-3.

În paralel cu realizarea, perfecționarea și întreținerea mașinilor electronice s-a dus o muncă susținută pentru folosirea lor în diferite domenii ale economiei naționale. Felul în care a crescut interesul beneficiarilor pentru folosirea acestor mașini rezultă din evoluția în timp a volumului de calcule utile efectuate și indicate în tabela 11.1

Tabela 11.1

Mașina electro- nică	1957 ore efectuate	1958 ore efectuate	1959 ore efectuate	1960 ore efectuate	1961 ore efectuate	1962 ore efectuate	Total
CIFA-1	4	43	210	—	—	—	257
CIFA-2	—	—	152	758	1 216	1 200	3 326
CIFA-3	—	—	—	—	571	2 200	2 771
CIFA-4	—	—	—	—	—	1 200	1 200
Total ore efectuate	4	43	362	758	1 787	4 600	7 554

Rezultatele sînt exprimate în ore efective de către 100 000 operații aritmetice în medie pe oră (echivalent cu munca unui calculator uman cu o mașină de calcul obișnuită timp de aproximativ 3 luni) și nu conțin timpul de verificare a mașinilor, timpul de încercare a programelor, timpul de întrerupere datorit rețelei de alimentare cu energie electrică, etc. ci numai timpul util, efectiv folosit pentru rezolvarea problemelor.

Pentru anul 1962 rezultatele indicate sînt obținute prin extrapolare din realizările primelor 9 luni ale anului.

Interpretînd situația din tabela 11.1 se desprinde următoarea concluzie :

Fiecare mașină electronică realizată a fost folosită în mod efectiv un timp din ce în ce mai îndelungat, ceea ce a presupus între altele : existența problemelor propuse de beneficiari, efectuarea corectă a programelor respective, funcționarea sigură a mașinilor electronice.

2. Caracteristicile tehnice ale mașinilor electronice realizate

Mașinile electronice CIFA-1, CIFA-2, CIFA-3 și CIFA-4, folosesc sistemul binar atît pentru reprezentarea instrucțiunilor cît și a datelor numerice. În acest scop, instrucțiunile se introduc

Tabela 11.2

Caracteristici tehnice	Mașina electronică		
	CIFA-1	CIFA-2	CIFA-3 și CIFA-4
Introducerea problemelor	Manual	Manual și cu bandă perforată (20 de caractere/s)	Manual și cu bandă perforată (20 caractere/s).
Sistemul de introducere	Octal pentru program. Zecimal cu 9 cifre pentru date	Octal pentru program. Zecimal cu 9 cifre pentru date	Octal pentru program. Zecimal cu număr variabil de cifre pentru date
Operații aritmetice realizate	Adunarea și scăderea (0,15 ms). Înmulțirea și împărțirea (5 ms)	Adunarea și scăderea (0,5 ms). Înmulțirea și împărțirea (19 ms)	Adunarea și scăderea (0,5 ms). Înmulțirea și împărțirea (19 ms)
Dispozitivul de memorie folosit	Cilindru magnetic 400 date sau 800 instrucțiuni. 2 800 rot./min.	Cilindru magnetic 512 date sau 1 024 instrucțiuni 2 800 rot./min.	Cilindru magnetic 512 date sau 1 024 instrucțiuni. 2 800 rot./min.
Stratul magnetic întrebuințat	Nichel	Aliaj : 80 % nichel, 20 % cobalt	Aliaj : 80 % nichel, 20 % cobalt
Dispozitivul de ieșire a rezultatelor	Mașina de scris electrică : 10 caractere/s	Mașina de scris electrică : 10 caractere/s. Perforator de bandă : 10 caractere/s	Mașina de scris electrică : 10 caractere/s. Perforator de bandă : 10 caractere/s
Viteza medie de lucru	Circa 40 operații/s	Circa 50 operații/s	Circa 65 operații/s
Tuburi electronice folosite	1 500	800	800
Diode cu germaniu folosite	500	2 500	2 500
Siguranța de funcționare obținută	30 %	90 – 95 %	90 – 95 %

în grupe de câte trei cifre binare, reprezentate printr-o cifră octală, iar datele se introduc în sistemul zecimal, conversiunea în binar fiind efectuată automat, în timpul introducerii.

Lungimea unui cuvînt este de 31 cifre binare, dintre care prima cifră indică semnul iar următoarele 30, exprimate prin 10 cifre octale, reprezintă fie două instrucțiuni, fie o dată numerică formată din 9 cifre zecimale.

Mașinile sînt universale, adică permit rezolvarea unor largi categorii de probleme, utilizează sistemul de instrucțiuni cu o singură adresă și poziția fixă a virgulei.

Unele caracteristici tehnice, diferite de la o mașină la alta, sînt înfățișate în tabela 11.2.

Se observă creșterea siguranței de funcționare, pe care o definim ca raportul dintre timpul de funcționare corectă a mașinii și timpul total în care este alimentată cu energie electrică. S-a obținut ca în perioade de timp apreciabile acest raport, exprimat în procente, să fie de 95 %, adică din 12 ore de funcționare, timpul rezervat încălzirii, verificărilor și eventualelor reparații să nu depășească 30 de minute. Montajele electronice folosite au fost astfel proiectate încît în unele cazuri au fost găsite tuburi electronice avînd numai 15 % din emisia nominală iar mașina continua să funcționeze corect. De asemenea, scoaterea din funcțiune a ventilației nu influențează funcționarea corectă a mașinii. În felul acesta, s-a dovedit că atît concepția logică cît și realizarea tehnică este corespunzătoare. Mașina CIFA-1 a fost scoasă din funcțiune în 1960, în vederea reconstruirii.

3. Probleme rezolvate cu ajutorul mașinilor electronice CIFA-1, CIFA-2, CIFA-3 și CIFA-4

Pînă în prezent, mașinile electronice realizate au fost folosite pentru rezolvări de probleme, totuși datorită siguranței de funcționare obținută, ele ar putea fi întrebuințate, cu unele modificări și pentru conducerea automată a unor procese industriale.

În privința problemelor rezolvate se observă că beneficiarul cel mai important este Institutul de fizică atomică. Totuși, în ansamblu, numai aproximativ 25 % din volumul calculurilor efectuate au fost destinate Institutului de fizică atomică, restul de 75 % fiind cerute de beneficiari exteriori.

Programarea problemelor în scopul rezolvării lor cu mașinile electronice a fost făcută în cea mai mare parte de matematicienii laboratorului de mașini electronice al I.F.A., care s-au specializat în acest domeniu, aducând numeroase contribuții originale la soluționarea problemelor prezentate. Multe rezultate obținute au fost prezentate sub formă de comunicări cu caracter științific. Personalul laboratorului a avut de asemenea o activitate rodnică în pregătirea unor salariați ai unor întreprinderi exterioare în domeniul programării problemelor, organizându-se cursuri teoretice și practice, frecventate în special de ingineri specialiști în domeniul respectiv. Asemenea cursuri au fost organizate în 1961 pentru sectorul energetic iar în 1962 pentru specialiști din domeniul chimiei, petrolului, construcțiilor și din învățământul superior. În felul acesta o serie de întreprinderi își pregătesc de pe acum cadre specializate pentru o etapă viitoare, când vor fi dotate cu mașini electronice proprii. Prin aceste măsuri se deschid perspective largi introducerii calculului cu mijloace electronice, în primul rând în ramurile cele mai importante ale economiei noastre naționale.

Din punct de vedere matematic, problemele care au fost rezolvate pot fi clasificate în câteva mari categorii :

A. Soluționarea sistemelor liniare

A fost rezolvat un număr mare de sisteme de ecuații, cu numărul maxim de necunoscute egal cu 42, în special în domeniul construcțiilor și al rețelelor electrice. Aceste sisteme aveau ca particularitate gruparea elementelor în jurul diagonalei principale și faptul că numeroși coeficienți erau egali cu zero. De asemenea, au fost soluționate numeroase sisteme, cu numărul maxim de necunoscute egal cu 26, ai căror coeficienți erau diferiți de zero, dar având matricea simetrică și pozitiv definită. Asemenea sisteme apar în problemele de geodezie și topografie. Pentru proiectarea turbinelor, pentru construcții, pentru probleme de astronomie, geofizică etc., au fost soluționate câteva mii de sisteme, cu numărul maxim de necunoscute egal cu 17, dar cu matricea oarecare. Au fost calculate valorile proprii ale unui număr de matrici cu $n_{max} = 10$, pentru unele probleme de fizică teoretică interesând Institutul de fizică atomică.

B. Probleme energetice

Calcululele cu privire la exploatarea rețelei de înaltă tensiune din țara noastră, care mai înainte erau efectuate cu mijloace clasice, au fost adaptate și executate cu succes cu ajutorul mașinilor electronice, obținându-se un înalt grad de precizie și o economie apreciabilă de timp și de efort.

Îată citeva dintre problemele rezolvate în acest domeniu : calculul în complex al impedanței echivalente a unei rețele de transport de energie electrică, calculul circulației puterilor active și reactive în rețeaua electrică de înaltă tensiune, stabilitatea statică și dinamică a unui sistem energetic, planul repartițiilor economice ale surselor de energie într-o rețea.

În toate aceste probleme, rezolvate într-o strînsă cooperare cu dispecerul național al energiei electrice și cu Institutul de studii și proiectări energetice (I.S.P.E.), au fost folosite metode de programare originale.

C. Tabele de funcțiuni și prelucrări de date

Cu ajutorul mașinilor noastre electronice au fost calculate un număr mare de tabele de funcțiuni pentru diferite valori ale parametrilor : tabele ale transformării Lorentz, reprezentînd aproximativ 20 000 de rezultate, pentru Institutul de fizică atomică — laboratorul de raze cosmice —, tabele pentru evaluarea în perspectivă a populației țării, conținînd aproximativ 75 000 de rezultate, pentru Direcția generală de statistică, tabelarea unor formule din domeniul rezistenței materialelor, avînd aproximativ 10 000 de rezultate, pentru Institutul de mine și geologie din Sofia, tabelarea unor formule din domeniul fizicii atomice pentru Institutul de fizică nucleară din Varșovia, tabelarea unor formule pentru proiectarea turbinelor, pentru Combinatul metalurgic Reșița, tabele pentru optimizarea unui sistem optic, pentru Industria optică romînă, tabele pentru proiectarea electromagneților cu gabarit redus, pentru Uzinele Electroaparataj și numeroase altele.

Ca exemple de prelucrări de informații cităm : problema conținutului în substanțe nutritive a meniurilor cantinelor, pentru Ministerul Comerțului Interior, problema prospecțiunilor geologice cu ajutorul curenților telurici, pentru Ministerul Industriei Petrolului și Chimiei, diferite studii pentru Ministerul Agriculturii.

Alte numeroase asemenea exemple sînt tratate în lucrarea lui D. Vaida: „Aplicații ale calculatoarelor electronice realizate la I.F.A”, apărută la București în 1961.

D. Probleme de programare liniară și aplicații economice

Mașinile electronice CIFA-2 și CIFA-3 au fost folosite de asemenea pentru minimalizarea (sau maximalizarea) unei expresii liniare, în cadrul problemelor de programare liniară. O asemenea problemă a fost rezolvată pentru industria alimentară.

Alte aplicații de același gen au fost făcute pentru planurile de transport ceea ce conduce la economii apreciabile. Astfel, pentru planul de repartiție optimă a cimentului au fost rezolvate matrici cu 28×7 elemente, folosindu-se metoda Egervárý, căreia i s-au adus importante îmbunătățiri. De asemenea, pentru formarea garniturilor de vagoane goale pe rețeaua C.F.R. au fost rezolvate numeroase matrici cu un număr mai redus de elemente într-un mod operativ, datele și rezultatele fiind comunicate telefonic la interval de o oră.

În privința problemelor cu caracter economic, menționăm calculele cu privire la rentabilitatea întreprinderilor, executate pentru C.S.P.

Deosebit de importante au fost aplicațiile mașinilor electronice în domeniul hidrotehnic și anume: calculele bazinelor hidrologice ale Siretului, Crișului și Someșului, pentru Institutul de proiectări, amenajări și construcții hidrotehnice (I.P.A.C.H) și planul de amenajare a luncii Dunării pentru Institutul de studii și cercetări hidrotehnice (I.S.C.H.). Avantajele economice ale folosirii mașinilor electronice la rezolvarea acestor probleme au fost arătate în rapoartele prezentate la sesiunea științifică a I.S.C.H., care a avut loc la București, în mai 1962. Astfel s-a arătat că efectuarea calculelor cu mașina electronică se face în medie într-un timp de 300 de ori mai scurt decît în cazul practicat anterior, cînd aceste calcule se executau cu mijloace manuale. Prețul efectuării calculelor cu mașina electronică este de 13 ori mai ieftin decît cu mijloace manuale. S-a arătat de asemenea că prin automatizarea calculelor au putut fi rezolvate probleme complicate care necesitau volume de calcul atît de mari, încît nici nu putea fi gîndită folosirea mijloacelor obișnuite. În plus, desfășurarea calculului este foarte sistematică, rezultatele sînt prezentate ordonat și aceasta oferă posibilități noi în rezolvarea problemelor și în interpretarea soluțiilor.

În afara problemelor menționate mai sus, au fost rezolvate o serie de alte probleme, din cele mai diferite domenii, de exemplu : soluționarea sistemelor de ecuații diferențiale neliniare pentru stabilitatea dinamică a reactorului nuclear al Institutului de fizică atomică, soluționarea unor ecuații transcendente pentru Institutul de mecanică aplicată al Academiei R.P.R., calculul unor expresii dezvoltate în serie, calculul unor integrale definite, calculul unor probleme de logică matematică, calculul traselor obținute cu ajutorul camerei cu bule cu propan și multe altele.

4. Manifestări de colaborare internațională

Rezultatele obținute în laboratorul de mașini electronice al I.F.A. au fost comunicate adesea, cu prilejul diferitelor congrese sau conferințe internaționale, la care au fost prezentate lucrări sau au fost trimiși delegați. Printre aceste manifestări cităm : colocviul de mașini matematice, Dresda, noiembrie 1955 ; conferința unională de mașini electronice, Moscova, martie 1956 ; al 2-lea Congres internațional de cibernetică, Namur, septembrie 1958 ; al 7-lea Congres de electronică, Roma, iunie 1950.

Laboratorul a fost vizitat de numeroși specialiști din U.R.S.S. și din alte țări, care au luat cunoștință de lucrările efectuate.

Subliniem de asemenea o intensă colaborare internațională între Academia R.P.Bulgaria și Academia R.P.R., care au inclus dezvoltarea mașinilor electronice în acordurile culturale dintre cele două țări.

5. Perspective de dezvoltare

Marile perspective de dezvoltare a mașinilor electronice în țara noastră se datoresc sprijinului acordat de partid și guvern acestui domeniu de activitate, considerat în mod just ca un important mijloc de progres al economiei naționale.

În raportul prezentat de tov. Gh. Gheorghiu-Dej la cel de-al III-lea congres al P.M.R. se spune :

„Va începe folosirea mașinilor electronice de calcul și a altor sisteme de programare electronică pentru automatizarea complexă a unor procese de producție la rafinării, instalații ale industriei chimice, precum și automatizarea unor lucrări

de calcule economice și de statistică. Un rol important în această direcție revine Institutelor de fizică atomică și de fizică ale Academiei Republicii Populare Române, care vor trebui să colaboreze cu industria, în special în problema proiectării și folosirii mașinilor electronice de calcul, în aplicarea izotopilor radioactivi, în realizarea prototipurilor de aparate electronice cu tehnicitate ridicată**).

Mergînd pe această linie, în cadrul laboratorului de mașini electronice se perfecționează tipurile de mașini electronice realizate pînă în prezent, se folosesc mașinile electronice într-un ritm din ce în ce mai susținut pentru rezolvarea problemelor prezentate, se pregătesc cadre pentru folosirea mașinilor electronice.

Pentru multiplicarea tipurilor realizate se prevede colaborarea cu industria noastră electronică.

În felul acesta, mașinile electronice sînt și vor fi din ce în ce mai mult folosite pentru economia națională a țării, pentru desăvîrșirea construcției socialismului.

*) Gh. Gheorghiu-Dej, *Raport la cel de al III-lea Congres al Partidului Muncitoresc Român*, Ed. politică, București, 1960, p. 68.

§ 12. TEHNICA VIDULUI ȘI INDUSTRIA

GEORGE COMȘA

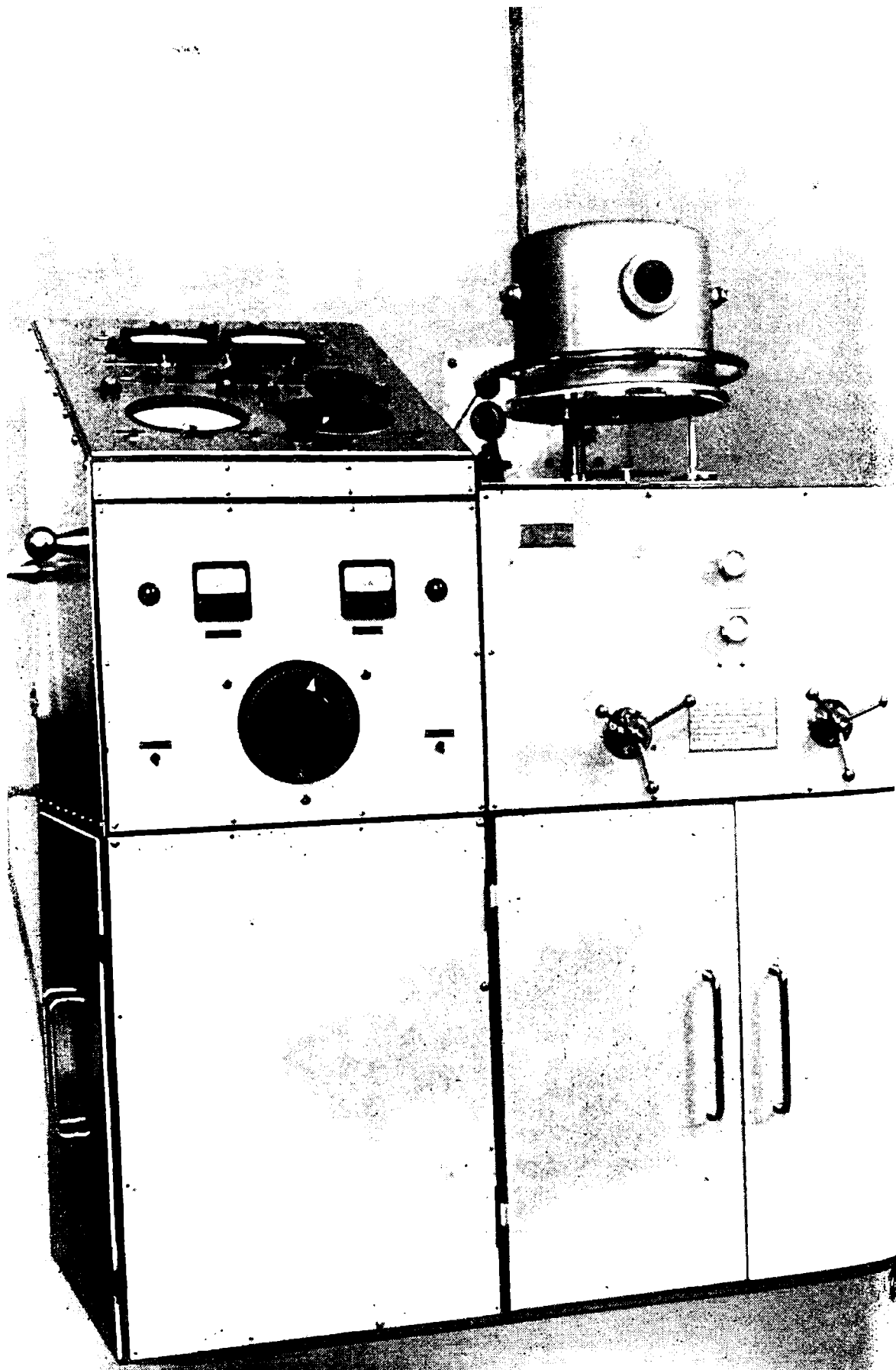
Deși presiuni mai scăzute decît presiunea atmosferică au fost obținute de mai bine de trei sute de ani, nu putem vorbi de folosirea lor sistematică în cercetarea științifică decît de pe la jumătatea secolului trecut. Utilizarea tehnicii vidului în industrie este însă caracteristică numai secolului XX și în special ultimilor 10...15 ani, cînd aplicațiile au devenit foarte numeroase. Un imbold puternic a fost dat tehnicii vidului prin dezvoltarea fizicii și tehnicii nucleare, care au reprezentat un important domeniu de aplicare.

Este poate suficient pentru a caracteriza larga folosire a acestei tehnici în industrie să amintim că, după o apreciere făcută în 1958, circa 1 500 000 de muncitori, ingineri și oameni de știință sînt angrenați, în întreaga lume, în domeniul utilizării presiunilor scăzute în industrie.

În cele ce urmează, vom prezenta în primul rînd domeniile cele mai importante ale industriei în care se folosește tehnica vidului și în al doilea rînd acele realizări obținute în Institutul de fizică atomică în domeniul tehnicii vidului care sînt susceptibile de aplicații industriale imediate sau de perspectivă.

1. Tehnica vidului, auxiliar prețios al metalurgiei

Dezvoltarea tehnicii vidului este un exemplu tipic de interacțiune a practicii tehnologice cu cercetările științifice. La început o anexă a cercetării științifice, tehnica vidului și-a găsit aplicații importante în industrie și apoi, sub impulsul



și cu ajutorul acesteia, s-a dezvoltat cu repeziciune, permițând la rândul ei rezolvarea unor noi probleme puse de industrie ca și de cercetarea științifică.

Procesele tehnologice în care se utilizează tehnica vidului în industrie pot fi împărțite în două categorii mari:

- a) procese în care tehnica vidului este absolut necesară;
- b) procese în care tehnica vidului duce la îmbunătățiri substanțiale calitative și cantitative ale produsului obținut.

Din prima categorie fac parte unele procese tehnologice bine cunoscute și care în general reprezintă, așa după cum era de așteptat, cele mai vechi aplicații ale tehnicii vidului în industrie și anume: construcția lămpilor cu filament incandescent, a tuburilor electronice, a lămpilor fluorescente, a dispozitivelor cu semiconductoare etc. Nu considerăm necesar să insistăm asupra acestor probleme deoarece ele implică în mod necesar folosirea tehnicii vidului și de aceea specialiștii în domeniile respective nu ar putea afla nimic nou.

Procesele cuprinse în cea de-a doua categorie, chiar dacă actualmente au o pondere relativă mai mică, se dezvoltă cu o repeziciune deosebită, cuprinzând din ce în ce mai multe ramuri industriale. Majoritatea acestor aplicații ale tehnicii vidului sint de dată foarte recentă, fiind introduse de mai puțin de 10...15 ani. Vom expune câteva exemple semnificative.

După cum se știe, evacuarea aerului dintr-o incintă permite înlăturarea efectelor lui nocive asupra materialelor, în special cînd acestea se află la temperatură ridicată și contribuie la îndepărtarea gazelor din aceste materiale (proces ce se numește degazare).

Începînd din anul 1948, s-au început studii sistematice pe scară industrială privind turnarea în vid a oțelurilor în vederea reducerii conținutului de gaze în piesele turnate (în special hidrogen și azot). Cu ajutorul acestui tratament se înlătură fulgii în topitură, se evită suflurile, se îmbunătățesc simțitor calitățile mecanice ale pieselor produse etc.

Se folosesc mai multe procedee de turnare și degazare ce dau rezultate foarte bune. Aceste procedee s-au dovedit a fi deosebit de utile în special la turnarea pieselor mari la care, în cazul turnării în aer, apar adeseori sufluri care duc la rebutarea pieselor. Deși prețul de cost al turnării în vid este evident mai ridicat, folosirea acestui procedeu este rentabil prin scăderea

accentuată a rebuturilor. În lucrările de specialitate se arată că, chiar dacă creșterea prețului impusă de turnarea în vid ar fi de cinci ori mai mare, procedeul ar continua să fie totuși rentabil. Instalațiile de turnare în vid actualmente în funcțiune permit turnarea de șarje mergînd pînă la 250 tone. Deși procedeul este relativ recent, în întreaga lume se toarnă în vid anual milioane de tone de oțel.

Elaborarea unor oțeluri sau aliaje cu proprietăți deosebite (mecanice, termice, anticorozive etc.) necesită tratarea lor la presiuni mult mai scăzute ($10^{-2} \dots 10^{-4}$ torr). Metoda respectivă se deosebește de cea amintită mai sus și prin aceea că topirea metalelor se efectuează chiar în instalație, sub vid. Se folosesc mai multe procedee de încălzire și anume: cu ajutorul curenților de înaltă frecvență, al unui arc electric, al unor rezistențe electrice și prin bombardament cu electroni. Ținînd seama de complexitatea unor asemenea instalații, ele nu au în general o capacitate mai mare de 10...15 tone. În afară de prepararea unui număr deosebit de mare de aliaje cu proprietăți excelente, asemenea instalații se folosesc și la turnarea metalelor refractare, a metalelor active (de exemplu titan) etc.

Pentru obținerea unor piese metalice de înaltă puritate este necesară topirea și degazarea lor la presiuni deosebit de scăzute, în domeniul vidului foarte și ultraînalt (sub 10^{-8} torr). Acest procedeu nu este folosit deocamdată decît într-o fază semiindustrială, datorită dificultăților tehnice deosebite pe care le ridică. Probabil însă că în scurt timp se vor face progrese și în această direcție.

Folosirea tehnicii vidului în metalurgie nu se rezumă însă numai la procedeele expuse mai sus, adică la elaborarea pieselor turnate, ci se extinde și asupra unor prelucrări ulterioare. Este vorba în primul rînd despre sudarea și laminarea în vid a metalelor.

Obținerea sudurilor de înaltă calitate, evitarea oxidării părților componente ale sudurii și alte considerente impun în numeroase cazuri efectuarea acestor operații în atmosferă inertă sau în vid. Rezultatele ce se obțin sînt foarte bune. Se folosesc în acest scop instalații de înaltă frecvență cu rezistențe electrice și, în special, în ultimul timp, cu fascicul electronic.

Sudarea cu fascicul electronic are avantaje deosebite, permițînd încălzirea locală a regiunii sudurii cu ajutorul unui fascicul foarte îngust de electroni (secțiunea acestuia putînd fi redusă la circa 4 mm²), dar care transportă o putere de 45...200 kW. Este important de amintit că acad. Keldiș, pre-

ședintele Academiei de Științe a U.R.S.S., a arătat că procedeele de sudare și prelucrare a metalelor cu ajutorul unui fascicul electronic au perspective deosebite în dezvoltarea metalurgiei.

În Institutul de fizică atomică al Academiei R.P.R. s-a pus la punct un procedeu de lipire în vid a metalelor care nu necesită instalații complexe și despre care vom aminti mai jos.

Laminarea la cald a metalelor efectuată în vid începe să se dezvolte tot mai mult, în special în domeniul prelucrării metalelor active sau în cazul în care se impun condiții de puritate deosebită produsului finit.

2. Depunerea și evaporarea în vid

Este cunoscut faptul că într-o incintă evacuată la o presiune mai mică de 10^{-2} torr se pot încălzi și evapora, în bune condiții, materiale metalice și nemetalice care se depun apoi pe suprafețele aflate la o temperatură mai scăzută.

Folosirea acestor procedee este deosebit de răspândită în practica industrială, astfel încât nu vom face altceva decât să amintim câteva dintre ele. Din acest grup face parte elaborarea lentilelor antireflectoare prin depunerea unor straturi dielectrice suprapuse, confecționarea oglinzilor, a farurilor de automobile, a obiectelor decorative, unele variante de lucru în domeniul producerii dispozitivelor cu semiconductoare ș.a.m.d.

După cum se știe la evacuarea aerului dintr-o incintă în care se află materiale îmbibate cu lichid (în particular apă) se produce o evaporare forțată a acestuia.

În afară de binecunoscuta aplicație a acestui fenomen la producerea laptelui praf, care constă în evaporarea apei din lapte la o temperatură mult mai scăzută decât temperatura de 100°C , el este folosit tot mai mult și în alte domenii industriale.

În industria construcțiilor, un loc tot mai important îl ocupă folosirea prefabricatelor de beton. În numeroase cazuri, este necesară o precizie deosebit de mare a pieselor prefabricate și astfel se impune turnarea lor în cofraje metalice executate îngrijit. În timpul în care se usucă betonul turnat, cofrajul este imobilizat, ceea ce scumpește mult produsele obținute. Vidarea cofrajului, sau în cazul în care piesele o permit, vidarea unor cavități din piesa prefabricată, permite scăderea de câteva ori a timpului de uscare și în felul acesta utilizarea mult mai eficientă a cofrajelor respective.

Una din problemele importante și complicate ale industriei lemnului este problema uscării materialului lemnos în vederea obținerii unor produse de înaltă calitate. Pentru a obține asemenea produse, este necesară scăderea umidității lemnului pînă la 6—10%, ceea ce impune un tratament special timp de 18—45 zile. Introducînd materialul lemnos într-o încălț vidată și încălzindu-l cu curenți de înaltă frecvență, se obține o scădere a umidității pînă la 8% în numai 13 ore. Folosirea acestui procedeu permite astfel obținerea de produse de foarte bună calitate, într-un timp extrem de scurt.

Evaporarea forțată a apei are drept consecință scăderea bruscă a temperaturii materialului din care ea s-a evaporat. Acest fenomen și-a găsit o importantă aplicație în industria piscicolă. După cum se știe, o serie de specii de pești o dată pescuiți din mare se strică în timpul de 20—40 de ore necesar transportului lor în instalațiile frigorifice din porturi. De aceea, este necesară montarea unor frigorifere costisitoare pe vasele de pescuit, în care peștii sînt păstrați pînă la intrarea în port. Pentru a evita aceste investiții mari, s-a recurs la următorul procedeu: peștii o dată pescuiți se introduc în butoaie etanșe, bine izolate termic, din care se evacuează brusc aerul. Se produce astfel, în cîteva minute, o scădere a temperaturii peștilor pînă la 3°C. Butoaiile cu peștii astfel răciți sînt depozitate pe vas pînă la întoarcerea în port, instalația de vid putînd fi folosită imediat pentru răcirea unei noi șarje de pești. Astfel, cu o singură instalație de vid se poate răci o mare cantitate de pește, ceea ce duce la scăderea apreciabilă a prețului de cost.

Un procedeu asemănător, denumit liofilizare, de mare importanță în medicină și biologie, permite conservarea timp de mulți ani a culturilor de microbi.

3. Realizările Institutului de fizică atomică

După cum rezultă din cele de mai sus, folosirea tehnicii vidului într-o serie de procese tehnologice, care erau efectuate pînă acum la presiunea atmosferică, duce la elaborarea de produse de calitate superioară, la obținerea unor produse calitativ noi, la scăderea prețului de cost, la creșterea substanțială a randamentului și la reducerea rebuturilor, dovedindu-se astfel deosebit de rentabilă.

În Institutul de fizică atomică, cercetările în domeniul presiunilor scăzute au fost dirijate în special în direcția vidului înalt și ultraînalt. În cursul acestor lucrări, a fost cîștigată o experiență utilă în vederea folosirii tehnicii vidului în industrie.

Au fost puse la punct de asemenea o serie de aparate, mijloace și procedee tehnice, dintre care unele originale, ce pot ușura mult construcția instalațiilor de vid necesare în industrie.

În atelierul de prototipuri al Institutului au fost construite pompe mecanice preliminare avînd o viteză de evacuare de circa $4 \text{ m}^3/\text{h}$ și o presiune limită de circa 10^{-2} torr și pompe de difuzie cu ulei cu o viteză de evacuare de circa 100 l/s și o presiune limită mai mică de 10^{-7} torr. Au fost construite robinete de vid cu clapetă și cu tub flexibil avînd deschideri efective cu un diametru cuprins între 30 și 160 mm . De asemenea, au fost construite mai multe tipuri de capcane răcite cu azot lichid, respectiv cu apă, pentru a împiedica pătrunderea vaporilor de ulei din pompa de difuzie în incinta vidată. Pentru măsurarea presiunilor scăzute au fost construite manometre de ionizare care, cu ajutorul vacuummetrelor respective, permit măsurarea presiunilor în domeniul $10^{-3} \dots 10^{-10}$ torr.

Cu ajutorul acestor organe separate au fost construite mai multe tipuri de instalații de vid, printre care amintim o instalație de metalizare care constă dintr-un clopot metalic (de aluminiu) avînd un diametru de circa 500 mm și o înălțime de circa 550 mm , în care se produce o presiune de $2 \dots 3 \cdot 10^{-5}$ torr. Clopotul este așezat pe un platan prin care trec $8 \dots 10$ contacte electrice, capabile să conducă curenți pînă la 200 A , și două contacte electrice de înaltă tensiune. Tot prin platan trece și o bară ce poate transmite mișcări în interiorul incintei vidate. Clopotul este prevăzut cu vizoare pentru observarea proceselor ce se petrec în interior. Clopotul și platanul, ca de altfel capcana și pompa de difuzie, sînt răcite cu apă. Cu ajutorul unei asemenea instalații s-au efectuat o serie de operații de tipul celor descrise în paragraful privind evaporarea și depunerea în vid a materialelor metalice și nemetalice. Instalația s-a dovedit ușor maniabilă și foarte robustă, funcționînd fără reparații mii de ore.

În ultimii ani a fost pusă la punct o metodă simplă de analiză a gazelor în vid înalt, cu ajutorul unui mic spectrograf de masă, omegatronul. Acest instrument este mult folosit în industria tuburilor electronice, în special a chineascoapelor pentru televizoare, unde permite urmărirea în amănunt a evoluției proceselor în cursul fabricării tuburilor respective, și în industria chimică, în vederea analizei amestecului de gaze ușoare. La Institutul de fizică atomică a fost construit și funcționează un omegatron care permite trasarea automată într-un timp scurt a spectrului de mase al unui amestec de gaze ușoare aflat la o presiune de $10^{-4} \dots 10^{-9}$ torr.

Printre procedeele tehnice noi, concepute și puse la punct în laboratoarele Institutului, trebuie amintite sudurile etanșe, rezistente la temperaturi ridicate și scăzute, metal-metal, metal-ceramică și ceramică-ceramică. Aceste suduri se pot efectua și în vid, fără folosirea unor mijloace complicate și costisitoare. Ele permit sudarea a două metale identice sau diferite, cum ar fi oțel, oțel inoxidabil, titan, cupru, kovar etc. Acest procedeu este susceptibil de largi aplicații nu numai în tehnica vidului, dar și în industria chimică și în orice alt domeniu în care sînt necesare suduri curate în incinte vidate sau cu presiune, care să reziste unor variații mari de temperatură. Un alt procedeu pus la punct în institut permite confecționarea de treceri etanșe de fire sau țevi metalice prin sticlă sinterizată. Trecerile respective prezintă proprietăți electrice și mecanice superioare celor realizate prin sticlă obișnuită.

În ceea ce privește colaborarea cercetătorilor institutului cu industria, vom aminti lucrările efectuate la I.O.R. în vederea producerii în serie a unor elemente pentru aparate optice și anume: oglinzi frontale de aluminiu și divizoare de fascicul luminos (oglinzi semitransparente de crom). Pe baza colaborării cu specialiștii Institutului, uzina a putut pune la punct producția în serie a acestor dispozitive. La producerea unor filtre de interferență pentru domeniul vizibil a fost necesar ca, după efectuarea unor experiențe în laborator, unul dintre cercetătorii Institutului să lucreze în uzină, punînd la punct producția unor asemenea filtre formate din trei straturi semitransparente suprapuse (argint + dielectric + argint). Acestea au dat rezultate mai bune decît cele ce s-ar fi putut obține cu gelatină.

În afară de aceasta, au fost efectuate studii asupra unor instalații industriale în funcțiune, în vederea îmbunătățirii performanțelor lor. Astfel, a fost efectuată o lucrare în care s-au determinat parametrii de lucru ai unei instalații de turnare în vid a oțelului de la Combinatul metalurgic Reșița. De asemenea, s-au întreprins lucrări preliminare în vederea proiectării unor instalații de mari dimensiuni.

Construirea în Institut a unor pompe ionice cu evaporare, respectiv cu pulverizare de titan, efectuată deocamdată în scopuri științifice, va permite, pe baza experienței obținute, construcția unor tipuri tot mai eficiente de pompe care, într-un viitor nu prea depărtat, sînt susceptibile de largi aplicații practice.

În cursul acestui an se va pune la punct aparatajul necesar măsurării continue a presiunii în domeniul 0,1 ... 5 torr, domeniu relativ greu accesibil în condiții de uzină. Acest fapt

va permite rezolvarea problemei măsurii și controlului presiunii în instalațiile de turnare și degazare a oțelului.

În perspectivă, se întrevide posibilitatea construcției unei instalații pilot de topire și sudare în vid cu fascicul electronic, instalație cu caracter semiindustrial.

Rolul specialiștilor institutului în domeniul tehnicii vidului constă în aceea ca, într-o strânsă colaborare cu întreprinderile interesate, să dea un sprijin activ la proiectarea instalațiilor, la găsirea soluțiilor de principiu și tehnologice cele mai bune, la verificarea și punerea în funcțiune a agregatelor și instalațiilor și, de asemenea, să pună la dispoziția celor interesați utilaje anexe importante, cum ar fi aparatura de măsură și control.

După cum rezultă din cele de mai sus, activitatea de cercetare și de construcție efectuată în Institutul de fizică atomică contribuie și va contribui în viitor, în și mai mare măsură, la introducerea în industrie a procedeelor tehnologice moderne bazate pe folosirea tehnicii vidului, obținându-se astfel o creștere cantitativă și calitativă a producției, scăderea prețului de cost și creșterea apreciabilă a rentabilității mijloacelor folosite.

§. 13. DIN POSIBILITĂȚILE DE UTILIZARE A MICROSCOPULUI ELECTRONIC

ILIE MIRION

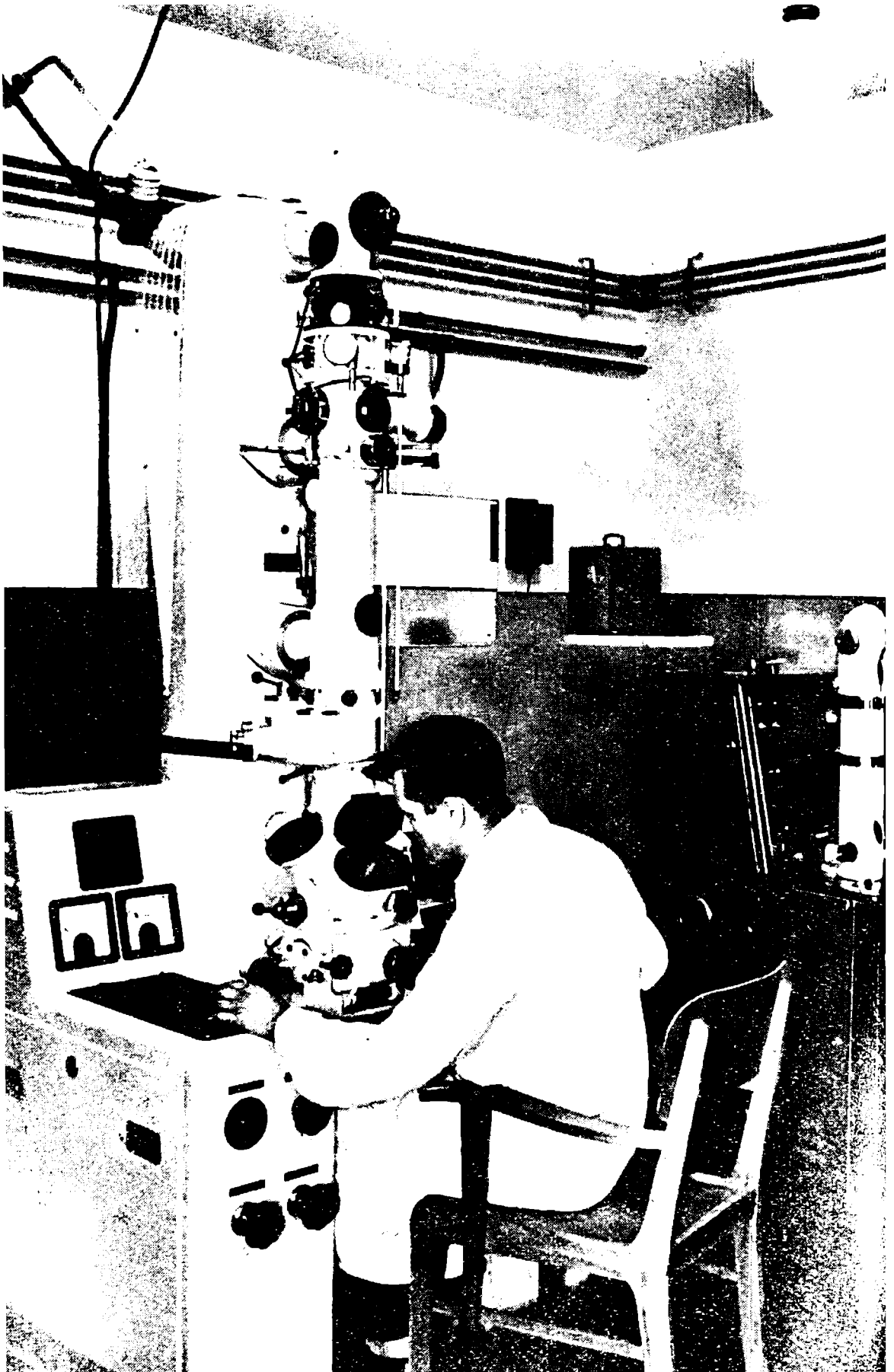
1. Particularitățile microscopului electronic

Puterea de rezoluție a microscopului optic obișnuit este limitată la o valoare de același ordin de mărime cu lungimea de undă a luminii, adică $4\,000 - 6\,000 \text{ \AA}$. Cu precauții deosebite, se pot construi microscopae optice avînd puterea de rezoluție de $1\,000 \text{ \AA}$. Pentru observarea obiectelor și mai mici sau a detaliilor și mai fine se folosește astăzi microscopul electronic care mărește de cîteva zeci și chiar sute de mii de ori.

Microscopul electronic folosește pentru formarea și transmiterea imaginii, în loc de lumină, un fascicul de electroni. Marele avantaj al acestui sistem constă în lungimea de undă foarte mică asociată electronilor în mișcare rapidă, ceea ce permite obținerea unei puteri de rezoluție mult mărită. Avînd posibilitatea să releve detalii foarte fine de structură, instrumentul trebuie în același timp să le mărească foarte mult, spre a le face vizibile cu ochiul.

În privința formării imaginii există similaritate între cele două tipuri de microscopae. Fasciculul de electroni, străbătînd obiectul de cercetat, este parțial absorbit și deviat în funcție de neregularitățile acestuia. În continuare, fasciculul este focalizat cu ajutorul unor lentile speciale, a căror funcționare se bazează pe devierea suferită de electroni la trecerea prin cîmpuri electrostatice sau magnetice.

Condițiile speciale de lucru ale microscopului electronic (tensiune înaltă pentru accelerarea electronilor, vid înaintat), dimensiunile mari ale sistemului optic și cel mai înalt grad de precizie cerut la execuția lentilelor complică mult construcția aparatului. Manipularea lui necesită personal cu calificare specială. Tehnica de lucru este de asemenea mai complicată decît



a microscopul obișnuit. Electronii, chiar accelerați la energii mari, au o putere de pătrundere mică și nu pot trece decât prin obiecte foarte subțiri. Majoritatea probelor de studiat absorb total fasciculul de electroni și deci nu se pot observa direct la microscop. Există două mijloace pentru rezolvarea acestei probleme : observarea directă a secțiunilor subțiri și realizarea replicilor de suprafață. Tăierea secțiunilor extrem de subțiri cu microtomul este o operație extrem de delicată și nu este aplicabilă pentru studierea oricărui obiect. De obicei se recurge la tehnica preparării replicilor. Acestea sînt „tipare” luate de pe suprafața obiectelor de cercetat. O replică destinată a fi examinată la microscop constă dintr-o peliculă suficient de subțire care reproduce întocmai cele mai fine detalii ale suprafeței obiectului. Structura proprie a substanței din care este confecționată nu trebuie să apară în imagine. În plus, pelicula trebuie să fie rezistentă la acțiunea fasciculului de electroni. Rezultate bune dau peliculele de colodiu, polistiren, unele metale depuse în vid, cuarț etc. Prepararea replicilor este o muncă migăloasă și necesită experiență și pricepere.

Replica astfel obținută este supusă fasciculului de electroni. „Imaginea electronică” obținută în cele din urmă este proiectată pe un ecran luminescent care o transformă într-o imagine luminoasă.

2. Aplicațiile microscopului electronic

Microscopul electronic poate fi utilizat cu succes în toate domeniile în care s-a impus mai înainte microscopul optic. Fizica, chimia, metalurgia, biologia, medicina sînt cîteva din domeniile mai importante. Se pot obține informații prețioase în studiul celulelor vii, structurii materialelor plastice, structurii substanțelor cu proprietăți magnetice, materialelor ceramice, semiconductoarelor etc.

Prin microscopie electronică se pot studia atît corpuri mici ca pulberi, suspensii, particule coloidale, fibre, macromolecule, virusuri, bacterii, cît și corpuri mai mari ca piese metalice, ceramice, organisme mari etc., la care se pun în evidență detalii fine de structură.

Materialele fin divizate, frecvente în industria coloranților, în rafinării, în atmosferă, prezente în fum ca suspensii și în

soluții coloidale, conțin un procent mai mic sau mai mare de particule fine, sub $1\ 000\ \text{\AA}$, care pot fi observate direct pentru determinarea formei și mărimii lor, numai la microscopul electronic, cu condiția ca să poată fi izolate și așezate pe un suport. Tehnica de lucru cea mai des folosită în asemenea situații constă în depunerea acestor particule pe un film subțire de colodiu, nitroceluloză sau material plastic. De mare importanță este analiza particulelor din materiale inflamabile. Se știe că pericolul de aprindere este cu atât mai mare cu cât dimensiunile particulelor sînt mai mici. În industria textilă de exemplu, se poate determina din ce material sau parte a mașinii provin aceste particule și se pot lua astfel măsuri pentru eliminarea lor. Un alt exemplu este negrul de fum, folosit în industria coloranților și ca ingredient la fabricarea cauciucului, la care forma și dimensiunea particulelor au o importanță deosebită pentru calitatea produselor obținute. De asemenea, se obțin rezultate utile în studiul prafului din atmosferă, în special în regiuni industriale, mine etc., în studiul catalizatorilor, al argilelor folosite la rafinarea petrolului etc.

Se pot obține informații prețioase și asupra corpurilor macroscopice, în ceea ce privește sistemul de cristalizare, dimensiunile și orientarea cristalelor sau cristalitelor. La metale și aliaje se pun în evidență fazele prezente în structură și transformările de fază suferite la tratamente termice. Un exemplu tipic este studiul îmbătrînirii aliajelor de aluminiu-cupru, unde se poate observa apariția unei noi faze, foarte fin dispersată, care modifică proprietățile aliajului.

Cele cîteva exemple de mai sus prezintă în mod succint posibilitățile microscopului electronic și sînt departe de a epuiza multiplele sale aplicații.

3. Microscopul electronic al Institutului de fizică atomică

La Institutul de fizică atomică este instalat un microscop electronic cu lentila obiectiv electrostatică și celelalte două lentile magnetice. Aparatul posedă o putere maximă de rezoluție de $50\ \text{\AA}$ și un grosiment de $1\ 500 \dots 15\ 000$ ori. Microscopul este prevăzut cu un dispozitiv de fotografiere a imaginii pe plăci.

Printre lucrările legate nemijlocit de nevoile producției, efectuate la cererea unor întreprinderi și instituții de către laboratorul de microscopie electronică al I.F.A., se numără: stabilirea unei metode de cercetare, cu ajutorul microscopului electronic, a structurii unor fibre sintetice, pentru Institutul

de cercetări textile, studiul a șapte substanțe care intră în componența cauciucului fabricat de Combinatul de cauciuc. Jilava, studiul îmbătrânirii unui aliaj de aluminiu, pentru uzinele „23 August”.

De asemenea, au mai fost efectuate și alte lucrări cu caracter aplicativ, ca de exemplu studiul depunerii unui coloid în funcție de timp sau al structurii unor pături subțiri de argint.

Un număr de întreprinderi și instituții, care au fost dotate cu microscopae electronice, au trimis cadre pentru specializare în tehnica de lucru cu acest aparat la Institutul de fizică atomică (Uzinele de tractoare din Brașov, Institutul politehnic din Cluj, Institutul de cercetări metalurgice etc.).

Utilizarea microscopului electronic este în plin proces de extindere, atât în tehnică cât și în biologie și medicină, deoarece el reprezintă un instrument de reală valoare în cercetarea științifică, foarte folositor în multiplele probleme legate de introducerea tehnicii noi.

§ 14. DIN APLICAȚIILE PRACTICE ALE SPECTROMETRIEI DE MASĂ

NICOLAE MARTALOGU

Spectrometrul de masă este un aparat cu ajutorul căruia pot fi determinate masele nucleare ale unor ioni atomici sau moleculari dintr-o moleculă cercetată. Pe baza rezultatelor obținute, poate fi tabelată abundența izotopică relativă din diverse substanțe sau proporția relativă a ionilor moleculari.

Principiul de funcționare a spectrometrului de masă constă în aceea că ionii accelerați, care se deosebesc între ei prin raportul dintre sarcina electrică și masă, se mișcă pe traiectorii diferite într-un câmp magnetic transversal.

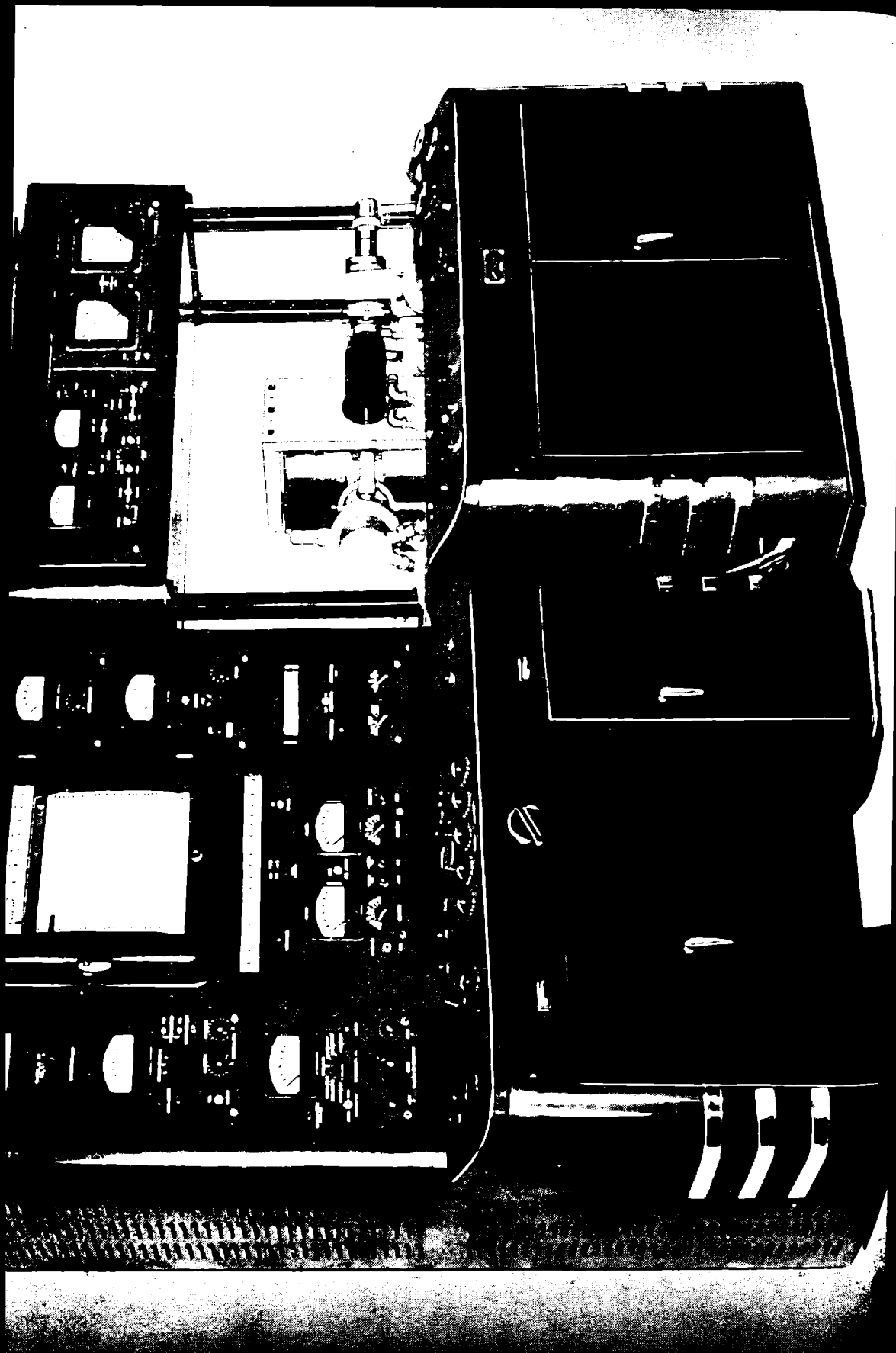
Ionizarea se face în sursa de ioni, sub acțiunea electronilor emiși de un catod încălzit, sau de o suprafață metalică încălzită — în funcție de starea de agregare a substanței de analizat. Ionii formați sînt accelerați în câmp electric și focalizați într-un sistem iono-optic de focalizare (fig.).

Fasciculul de ioni trece prin camera analizoare situată în câmp magnetic transversal omogen și se descompune în raze ionice, care diferă una de alta prin raportul m/e (masa ionilor supra sarcina lor).

Spectrometrul de masă sovietic M.I.1205, pe care-l posedă I.F.A., folosește un câmp magnetic de tip sectorial, constînd dintr-un electromagnet cu piese polare de formă trapezoidală. În acest caz, în afară de rolul de analizor, cu ajutorul lui se realizează și focalizarea fasciculului ionic.

Parcurgînd camera analizoare, raza ionică trece printr-o fantă îngustă în receptorul de ioni și cade pe colector, dînd naștere la un curent electric în circuitul acestuia.

În funcție de valoarea cîmpului magnetic, care depinde de curentul electromagnetului, pe colectorul receptorului vor cădea ioni de masă mai mare sau mai mică.



Măsurarea curenților din colectorul spectrometrului de masă (de valori $10^{-14} \dots 10^{-9}$ A) se face după o amplificare prealabilă în amplificatoare de curent continuu cu caracteristici liniare.

Cu ajutorul unui potențiomtru înregistrator, se poate obține grafic spectrul de masă al componentelor de analizat.

Pentru comoditatea determinării numărului de masă al componentelor de analizat, în spectrometru este instalat un indicator al numerelor de masă.

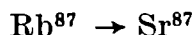
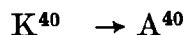
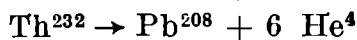
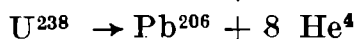
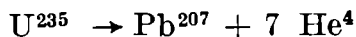
Deși destul de veche, spectrometria de masă este o metodă de analiză care se impune din ce în ce mai mult, atât în domeniul cercetării în fizică, chimie, geologie, biologie, biochimie etc., cât și în industria petrolului, industria chimică, industria semiconductorilor, ocupînd o situație din ce în ce mai importantă prin precizia și rapiditatea obținerii rezultatelor.

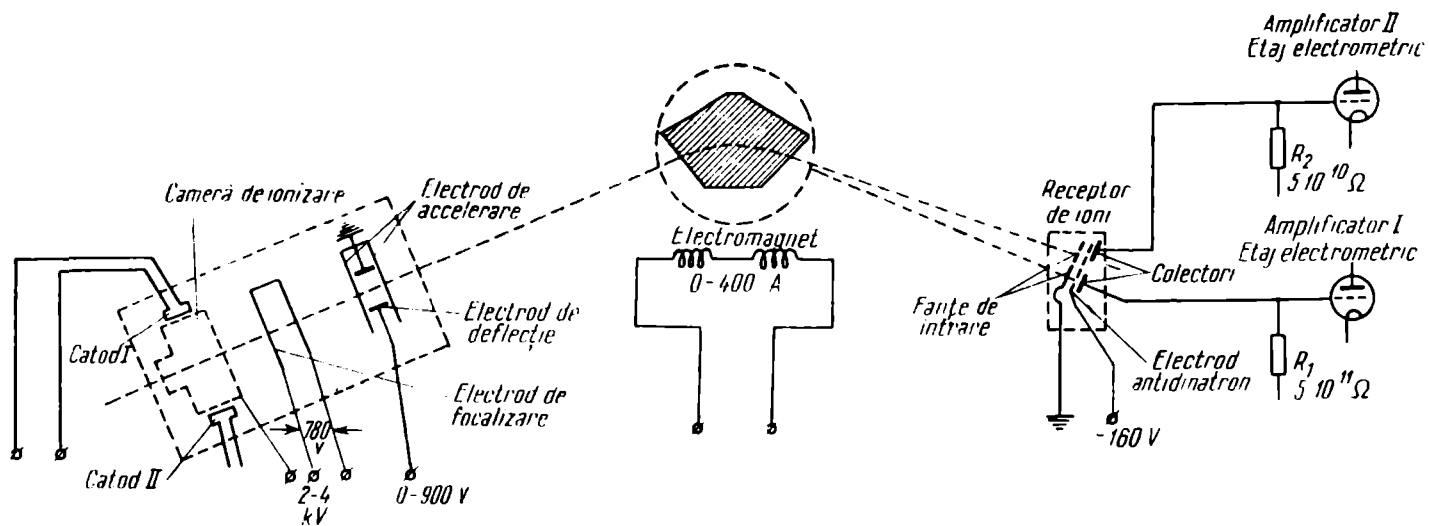
Determinarea precisă a masei elementelor și abundenței lor izotopice cu ajutorul spectrometriei de masă a dat posibilitatea folosirii acesteia în foarte multe domenii. Astfel :

În fizica nucleară : la determinarea duratei de înjumătățire a unor elemente (Pu^{240} , U^{232} , Cs^{137} , Sr^{90}), la studiul unor reacții nucleare ca și la determinarea raportului de ramificare pentru Eu^{152} , Cu^{64} , Br^{80} , Br^{82} , Te^{128} , Kr^{85} , K^{40} . S-au obținut de asemenea date asupra produșilor din fisiunea cu neutroni termici a U^{235} și Pu^{239} , din fisiunea cu neutroni rapizi a Th^{232} , din iradierea cu deuteroni a I^{127} etc. Au mai fost studiate dezintegrarea beta a Re^{187} , dezintegrarea beta dublă a Te^{130} , fisiunea spontană a U^{238} și Th^{232} etc.

În geologie, se folosește posibilitatea de determinare a abundenței izotopice a unor elemente pentru :

Determinarea vârstei absolute a mineralelor, rocilor și formațiilor geologice. În acest scop se folosesc cîțiva izotopi radioactivi avînd durata de înjumătățire comparabilă cu vîrstele geologice, sute sau mii de milioane de ani. În practică se folosesc transformările radioactive :





Schema principală a spectrometrului de masă M. I. 1305

pentru care, determinînd compuşii existenţi astăzi — respectiv Pb, A, Sr — se pot calcula vîrstele rocilor care-i conţin.

Detectarea unor variaţii foarte mici care apar în procesele geologice prin intermediul variaţiei naturale a izotopilor stabili. În acest scop s-au folosit C, O, S, N, Pb.

În urmărirea proceselor *biochimice*, cu ajutorul spectrometrului de masă, se pot utiliza ca trasori atît izotopii stabili cît şi cei radioactivi ai elementelor. S-au folosit izotopii hidrogenului (H_1^2 , deuteriu, H_1^3 tritiu) ai carbonului (C^{12} , C^{13} , C^{14}) ai azotului (N^{14} , N^{15}), ai oxigenului (O^{16} , O^{17} , O^{18}), ai sulfului (S^{32} , S^{33} , S^{34} , S^{35} , S^{36}), din care în special H, C^{13} , N^{15} , O^{18} .

Un domeniu în care spectrometria de masă a ocupat un loc de nesubstituit este *industria petrochimică*. Metodele optice de analiză a hidrocarburilor complexe în amestec, razele infraroşii, spectroscopia Raman sau în ultraviolet dau rezultate bune numai în analize ce nu conţin mai mult de 5 componenţi. Distilarea fracţionată nu este atît de precisă şi durează mult. Cu ajutorul spectrometriei de masă se pot rezolva aceste probleme de analiză a hidrocarburilor mult mai rapid, metoda fiind şi cea mai precisă.

De exemplu se poate executa analiza uleiului lubrifiant conţinînd în amestec alkene, ciclopentan necondensat, ciclohexan necondensat, cicloalkene condensate, monoaromatice, naftene; analiza directă a fracţiunilor neutre şi acide din gudroane, amestecuri de hidrocarburi gazoase foarte complexe incluzînd de asemenea O, N, CO, CO_2 , separarea parţială a butenelor în izobutene şi normal butene; analiza amestecurilor de parafine şi naftene; detectarea şi dozarea unor cantităţi mici de parafine în prezenţa olefinelor şi aromatelor; identificări de impurităţi în diferite amestecuri etc.

Prin folosirea maşinilor de calcul se pot rezolva spectre complexe, calculînd contribuţia fiecărei specii de molecule.

Un avantaj al spectrometriei de masă este marea ei sensibilitate. Folosind metoda diluţiei izotopice, sensibilitatea care poate fi atinsă variază de la cîteva miligrame pînă la 10^{-12} g sau mai puţin. Diluţia izotopică poate fi uşor aplicată la 80% din elemente, fiind folosită în special în lucrările cu caracter de cercetare.

Tot în domeniul cercetărilor, spectrometrul de masă se întrebuintează pentru studierea mecanismului de formare a ionilor în gaze şi determinarea potenţialului de ionizare, studierea stărilor metastabile ale ionilor (în unele cazuri se poate determina timpul în care ionii se găsesc în stare metastabilă), studierea constituţiei moleculelor precum şi a radicalilor liberi.

Spectrometria de masă are posibilități de aplicare în cele mai variate domenii ca determinarea impurităților în unele gaze, aliaje, semiconductori, determinarea cantităților mici de gaz în tuburile electronice etc.

La spectrometrul de masă al Institutului de fizică atomică pot fi analizate substanțe sub formă gazoasă, lichidă, solidă și solide greu volatile, domeniul de masă fiind de la 1 la 400. Sensibilitatea aparatului fiind de 0,02 %, există posibilități destul de mari de analiză chiar fără îmbunătățiri suplimentare. Cu ajutorul acestui spectrometru s-au realizat pînă în prezent cîteva tipuri de analize, din care cităm :

- determinarea abundenței izotopice a plumbului ;
- analiza pentametilbenzenului deuterat ;
- punerea în evidență a unui dimer al ciclobutadienei.

Lucrările ce se pot executa la acest aparat sînt însă mult mai numeroase și pot aduce un aport efectiv în cercetările științifice sau în rezolvarea unor probleme industriale importante.

§ 15. METODE RADIOCHIMICE DE ANALIZĂ

SILVIA IONESCU

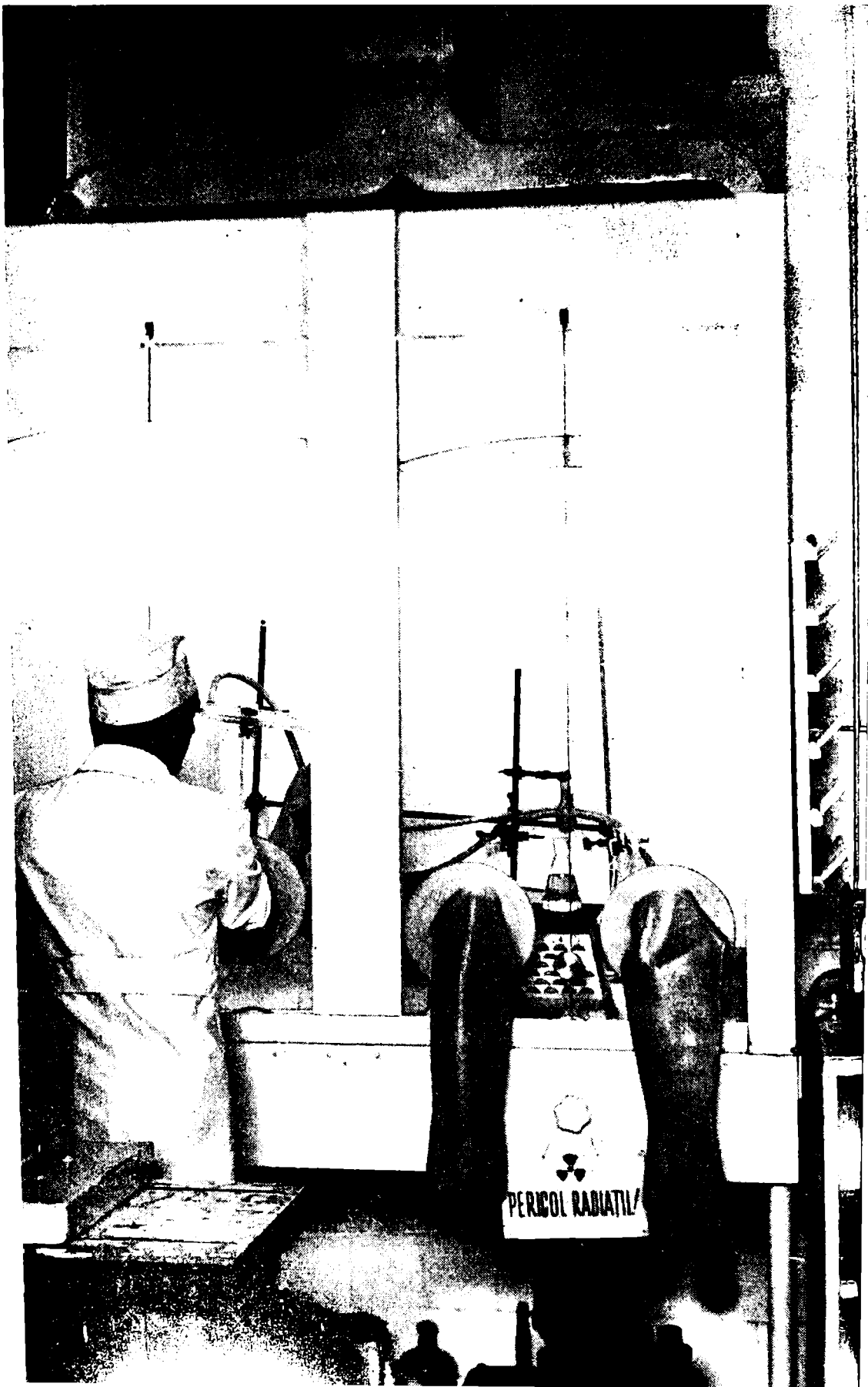
1. Introducere

O mare parte din metodele radiochimice de analiză se bazează pe aplicarea indicatorilor radioactivi. Aceștia se obțin adăugînd la amestecul natural de izotopi ai unui element o cantitate trasoare dintr-un izotop al său, radioactiv. Datorită radioactivității sale, amestecul poate fi urmărit în toate transformările chimice care se studiază. Sensibilitatea metodei este deosebit de mare, atomii radioactivi putînd fi urmăriți individual.

Metoda trasoare presupune identitatea proprietăților fizice și chimice ale izotopilor unui element dat. Practic vorbind, acesta este cazul la elemente mai grele. La elemente ușoare, unde raporturile maselor a doi izotopi au valori apreciabile, se simt efectele izotopice. Acestea au cele mai mari valori în cazul izotopilor hidrogenului unde, în diferitele reacții chimice, poate avea loc o fracționare a hidrogenului după mase. În cazul izotopilor carbonului, de mase 12 și 14, există prea puține reacții în care acești doi izotopi se diferențiază.

A doua presupunere pe care se bazează metoda trasoare admite că radiațiile emise de izotopul radioactiv nu influențează cu nimic comportarea chimică a sistemului studiat. În general, se lucrează cu nivele mici de activitate, care sînt departe de a cauza reacții chimice secundare, datorite radiațiilor ionizante.

Metoda indicatorilor radioactivi este întrucîtva limitată neputîndu-se aplica la elementele ușoare. Oxigenul are doi izotopi radioactivi O^{15} și O^{18} cu timpuri de înjumătățire de 126, respectiv 31 s; azotul are trei izotopi activi N^{13} , N^{16} , și N^{17} cu $T = 10$ min., respectiv 7 și 4 s. Heliul și borul au izotopi



radioactivi cu vieți medii mai mici de o secundă. Tritiul, singurul izotop activ al hidrogenului, prezintă un efect izotopic marcat, cauzat de raportul mare al numerelor lor de masă. De aceea, în cazul elementelor ușoare se folosesc ca trăsori izotopii lor stabili care însă se detectează mai greu.

În câteva cazuri, atomii radioactivi artificiali se dezintegrează trecînd în atomi care pot fi tot radioactivi. Astfel stronțitul 90, emițător β^- , trece în ytriu 90, tot emițător β^- . Deoarece stronțitul și itriul nu sînt identici din punct de vedere chimic, o mostră de stronțiu va cuprinde totdeauna o fracțiune de ytriu. Pentru a le deosebi în măsurătorile de radioactivitate, se fac numărători duble cu și fără absorbția radiației mai puțin energice.

În general, în chimie, se fac măsurători relative. Din reactivul activ se face la început o probă standard, la care se raportează toate măsurătorile din fazele intermediare și finale ale procesului chimic.

2. Radiochimia analitică

Chimia analitică folosește adesea metoda trasoare pentru a-și simplifica metodele de lucru. Alteori, metodele indicatoare introduc procedee noi.

Trasorii radioactivi prezintă un mare avantaj prin faptul că permit determinarea precisă a randamentelor chimice în orice treaptă a procesului urmărit. Precipitățile, coprecipitățile, extracțiunile, depunerile electrolitice, distilările și separările cromatografice evidențiază acest fapt.

Prin această metodă se observă dacă o precipitare este completă, dacă nu coprecipită și alte substanțe și totodată dacă prin spălare nu se pierde din precipitat. În cazul cînd se urmărește controlul unei precipitări totale se marchează substanța care se precipită, iar dacă se urmărește coprecipitarea, se marchează microcomponentul. În acest mod s-au controlat numeroase metode analitice clasice.

În laboratorul de radiochimie al I.F.A. s-au elaborat mai multe serii de metode analitice care folosesc izotopii radioactivi. În chimia paladiului și a sodiului s-au introdus metode noi de determinare și identificare, folosind reactivi noi sau metode de

extracție cu solvenți. S-a urmărit și studiat depunerea electro-litică a taliului. Hexamina cu Co^{60} a fost întrebuințată ca re-activ de precipitare pentru identificarea beriliului și bismutului. Pentru separarea ionilor Co^{2+} de Co^{3+} , reacția Spacu-Dick a fost transformată într-o metodă radiochimică de extracție cu solvenți. S-a verificat eficacitatea acestei metode la o concen-trație de ioni de cobalt de 10^{-9} g. Precizia și rapiditatea deter-minărilor a făcut posibilă aplicarea acestei metode la determi-narea retenției în reacția nucleară $\text{Co}^{59} (n, \gamma) \text{Co}^{60}$ într-o serie de complecși ai cobaltului.

S-a separat apoi toată seria de metale platinice folosind metoda radiocromatografiei pe hîrtie și s-au propus serii de eluanți potriviți. De asemenea un mare volum de muncă a fost acordat metodelor radiocromatografice pe coloană.

3. Analiza radiometrică

În sistemele anorganice, analiza cantitativă se efectuează prin precipitarea unui compus radioactiv. Metoda, în forma ei cea mai simplă, constă în adăugarea unui reactiv radioactiv la o soluție inactivă pînă la precipitarea cantitativă a ionului din soluție. Precipitatul activ se filtrează, se spală și i se măsoară activitatea. Cunoscînd activitatea specifică a reactivului și a mostrei, se calculează cantitatea de reactiv intrată în precipitat, deci cantitatea echivalentă de ioni precipitați. În acest mod se elimină cîntăririle, aducerea creuzetelor la greutate constantă etc. Mostra poate fi foarte mică și poate fi spălată cu soluții diluate de săruri pentru a elimina formarea coloizilor. Apa reziduală sau solidele coprecipitate nu vor inter-fera în analiză, atîta timp cît vor fi în cantități așa de mici încît să nu absoarbă din radiația emisă de izotopul radioactiv. Totuși, un dezavantaj al acestei metode constă în faptul că eroarea măsurării este dată de eroarea de numărare a dezintegrărilor, care se socotește 0,5 %, adică o valoare cam mare pentru precizia cerută metodelor analitice.

O metodă mai precisă constă în luarea din filtrat a pro-belor care se măsoară prin radioactivitate. Pentru aceasta, în cazul precipitatelor greu solubile se cere o activitate inițială prea mare. De aceea se trece la o variantă a acestei metode. Se aşază volume egale din soluția de cercetat într-o serie de epru-bete ; se adaugă în fiecare eprubetă cantități diferite de reactiv radioactiv. După precipitare și centrifugare se scoate cîte un centimetru cub din fiecare eprubetă, se evaporă și reziduului

i se determină activitatea. Rezultatele reprezentate grafic constituie o curbă de titrare (fig. 15.1, curba 1).

Aceleași rezultate se obțin și într-un sistem normal de titrare în care, după adăugarea reactivului, soluția este pompată în mantaua unui contor; aici i se determină activitatea și apoi este reîntoarsă în vasul de titrare. Pentru emițători γ , este convenabil ca mostra de lichid să fie aspirată printr-un filtru de sticlă sinterizată și activitatea să i se determine într-un contor de scintilație. În cazul emițătorilor β se recomandă un contor Geiger-Müller de imersie. Viteza de numărare rămâne mică atâta timp cât reactivul este consumat pentru a forma precipitatul și începe să crească cu excesul de reactiv. Metoda se poate

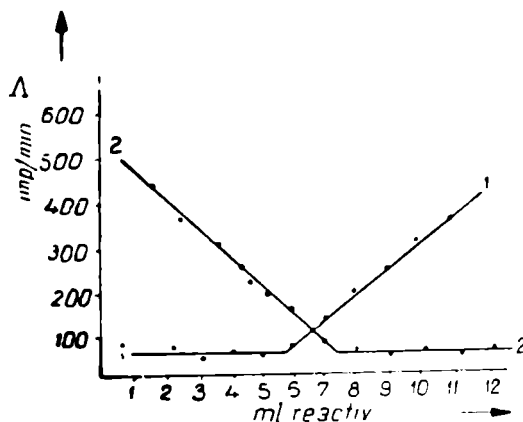


Fig. 15.1. — Curbă de titrare radiometrică.

aplica și dacă soluția necunoscută este radioactivă și reactivul de titrare inactiv. În acest caz, activitatea soluției descrește continuu prin adăugarea reactivului de titrare. Punctul final se definește când activitatea din soluție a atins valoarea minimă, constantă (fig. 15.1, curba 2).

Astfel se analizează ionii de Zn^{2+} , Mg^{2+} , Pb^{2+} , Ag^+ și UO_2^{2+} folosind ca reactiv $\text{Na}_2\text{HP}^{32}\text{O}_4$. Se cere ca precipitatele să fie cristaline pentru a nu astupa porii filtrului.

Metodele de titrare radiometrică sînt variate. O metodă ingenioasă a fost concepută și aplicată prima oară de un grup de cercetători de la I.F.A. Ea folosește aparatura de titrare radiometrică cu contor cu manta; atît soluția necunoscută cît și reactivul de titrare (complexonul) sînt inactive. Pe fundul paharului care conține soluția de titrat se așază AgIO_3 marcat cu Ag^{110} . Se adaugă treptat complexonul; ionul din soluție se leagă și soluția rămîne inactivă. În momentul cînd toți ionii din soluție s-au complexat, cantitatea următoare de complexon turnată, complexează ionul de Ag^{110} din precipitatul de pe fundul paharului care, trecînd în soluție, o face radioactivă. Obținerea acestui punct înseamnă determinarea cantității de complexon care leagă cantitatea necunoscută de ioni din soluție, deci punctul de echivalență. Curbă de titrare are forma curbei 1

din figura 15.1. Această metodă a fost aplicată cu o bogată serie de variante introduse de aceiași cercetători și a fost utilizată în multe țări ale lumii.

4. Diluția izotopică

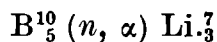
Metoda de diluție izotopică se aplică la determinarea cantitativă a unui element existent într-un amestec complex. În amestecul total se adaugă o cantitate din componentul care trebuie determinat în așa fel încât să i se schimbe compoziția izotopică. Aceasta înseamnă că se adaugă un izotop radioactiv, de activitate specifică cunoscută I_0 , dacă componentul din amestecul de cercetat este inactiv. Izotopul radioactiv introdus se răspîndește uniform printr-o omogenizare perfectă. Final, se separă chimic componentul urmărit dintr-o fracțiune a sistemului considerat și se determină activitatea specifică finală I_f . Dacă M_1 este cantitatea de component activ introdus, de aceeași specie chimică cu M_2 , cantitatea necunoscută din amestec se poate calcula din relația

$$M_2 = M_1 \left(\frac{I_0}{I_f} - 1 \right).$$

Și în metoda de diluție izotopică există un număr mare de variante. Astfel, în cantitatea de micrograme care trebuie determinată în amestecul total, se adaugă un reactiv care reacționează cu compusul de analizat. Se spală precipitatul format din amestec. Se introduce apoi o cantitate măsurată de purtător inactiv, identic din punct de vedere chimic cu compusul marcat și se omogenizează. În mostra finală se determină activitatea specifică. Cunoscînd și activitatea specifică a reactivului, cantitatea de purtător adăugată și activitatea specifică finală a amestecului, se poate determina cu suficientă precizie microcantitatea inițial necunoscută. Acest procedeu prezintă o sensibilitate deosebită și se recomandă în determinările biochimice. Astfel în cazul determinării microcantităților de aminoacizi se folosește ca reactiv radioactiv clorura de pipsil (clorură de *p*-iodosulfonil benzen) marcată cu I^{131} sau cu S^{35} . Acizii organici pot fi convertiți în săruri metalice și metalele pot fi marcate. Pentru compuși cu legături duble conjugate, anhidrida maleică marcată cu C^{14} s-a dovedit a fi un reactiv foarte adecvat.

5. Reacții nucleare

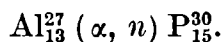
O serie de elemente se determină greu și neprecis prin metode clasice. Astfel dozarea borului din minereuri este foarte anevoioasă. Un grup de cercetători de la I.F.A. au propus o metodă radiochimică de determinare cantitativă a borului din minereuri. Prin această metodă borul nu se separă din ansamblul de substanțe cu care se găsește în natură. Minereul este transformat într-o pulbere fină, omogenă, din care o cantitate mică cîntărită precis, este depusă dintr-o suspensie alcoolică pe niște tăvițe potrivite cu dimensiunile unui contor cu scintilație și alcoolul se evaporă. Sub tăviță se pune o sursă de neutroni Po-Be. Are loc reacția nucleară



Se înregistrează particulele α . Proba măsurată se compară cu o serie de probe etalon, făcute dintr-un minereu fără bor și cărora li s-au adăugat cantități crescătoare, bine cîntărite, de acid boric. Metoda este destul de precisă și se potrivește la măsurători în serie.

Dozarea aluminiului se face de asemenea printr-o metodă radiochimică. Proba care conține cantitatea de aluminiu necunoscută este supusă unei bombardări cu particule α de la o sursă de poloniu.

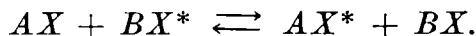
Are loc reacția



Fosforul rezultat este radioactiv; el emite radiație β^+ și se poate număra cu un contor cu fereastră de mică. Se poate aplica metoda relativă ca și în cazul borului.

6. Reacții de schimb izotopic

Două specii chimice diferite care conțin același atom, fiind amestecate în soluție, își pot schimba între ele atomii comuni. Ecuația chimică care redă acest fenomen este



Acest schimb nu poate fi observat decît dacă unul dintre compuși conține un izotop radioactiv X^* al lui X . Reacția poate fi urmărită în acest caz pînă la echilibru, cînd are loc o distribuție uniformă a acestor izotopi între cele două specii chimice. Atunci, activitățile specifice vor fi aceleași pentru AX

ca și pentru BX . Desigur că în cazul cînd AX și BX sînt electroliti tari, distribuția are loc imediat. Dacă unul dintre reactanți este un complex anorganic sau o moleculă organică, schimbul existent este lent și măsurabil. Prin aplicarea acestor reacții de schimb este deci posibil să se obțină informații asupra mecanismului prin care are loc schimbul, prin care se formează complexii, prin care se produc disocieri; se pot obține informații asupra neechivalenței atomilor dintr-o moleculă și a labilității compușilor de coordinație.

La reacția de schimb nu variază forma chimică a reactanților, deci nu are loc o degajare sau absorbție de căldură. Totuși entropia sistemului crește cînd se atinge distribuția de echilibru a izotopului X în sistem. Această creștere a entropiei înseamnă o descreștere a energiei libere care face ca schimbul izotopic să fie o reacție spontană. Uneori însă efectuarea schimbului cere să se treacă printr-o stare intermediară de tranziție și atunci schimbul devine lent și are nevoie de o mare energie de activare.

7. Studii de structură moleculară

Studiul vitezelor de schimb ne dă informații asupra caracterului legăturilor chimice în complecși și în alte molecule. Atomii legați covalent se schimbă mult mai lent decît atomii legați ionic. În complecși de tipul MX_n , viteza de schimb a ionului metalic central M nu este o măsură valabilă a labilității legăturilor $M - X$, deoarece schimbul cere ruperea a n legături $M - X$. Schimbul ligandului X complexant cere pe de altă parte ruperea unei singure legături $M - X$ și în consecință, indică bine caracterul legăturii. Dacă X este un agent chelatic polidendat, atunci schimbul cere iarăși ruperea mai multor legături și este mai lent.

S-a găsit din diferitele studii că în cazul metalelor tranziționale, complecșii sînt mai inerti decît compușii analogi ai metalelor netranziționale. Complecșii cu număr mai mare de coordinație sînt mai puțin expuși la schimb decît cu un număr de coordinație mai mic, pentru același agent complexant. De asemenea, cu cît este mai mare sarcina atomului metalic central, cu atît complexul este mai inert la schimb.

În molecule care conțin mai mult decît un atom de schimb este posibil să se obțină informații asupra echivalenței acestor atomi în molecule. Astfel, prin metode radiochimice s-a arătat

că cei doi atomi de sulf din ionul de tiosulfat nu sînt echivalenți.

Schimbările izotopice la interfața dintre metal și ioni săi marcați dau informații asupra fenomenelor de adsorbție, de schimb, de dizolvare și recristalizare care au loc la suprafața metalului. Datele experimentale se schimbă dacă se lucrează alternativ în prezența gazelor inerte sau în prezența oxigenului, indicînd astfel fenomene de coroziune.

În metodele fizico-chimice de studii cinetice, vitezele de reacție directă și inversă se măsoară cînd reacția este departe de echilibru. Cîtul acestor mărimi, adică constanta de echilibru se determină cînd sistemul se află la echilibru. S-ar fi putut crede că valorile constantelor de viteză sînt diferite la echilibru de valorile pe care le iau cînd reacțiile sînt departe de echilibru. Cu ajutorul trasorilor s-au măsurat vitezele de reacție la echilibru. Pe această cale s-au găsit vitezele constante în tot cursul reacției. Mai este posibil ca în acest mod să se observe comportarea unui anumit atom al moleculei reactante chiar în cursul reacției. Aceste date contribuie mult la înțelegerea mecanismelor reacțiilor complexe.

O ramură importantă de analiză radiochimică și care se extinde continuu este analiza prin radioactivare. În prealabil s-a dezvoltat și metoda de analiză prin transparență pentru neutroni.

8. Metoda de analiză prin transparență pentru neutroni

S-a constatat că elementele de la începutul sistemului periodic au secțiuni mici eficace de captură a neutronului sau dau izotopi de viață scurtă. Ele au însă secțiuni totale (captură + împrăștiere) foarte mari. Pentru analiza acestor elemente se folosește măsurarea transparenței lor pentru neutroni.

Proba de analizat se așază într-un flux de neutroni termici pe care îi absoarbe și îi împrășteie. Scăderea intensității fluxului este proporțională cu cantitatea de element prezent în probă. Se măsoară deci intensitatea fluxului direct și a fluxului transmis prin probă. Scăderea intensității I a fasciculului de neutroni, la trecerea printr-un strat absorbant x , constituit dintr-o singură specie de nuclee, este dată de relația

$$\frac{dI}{I} = - n \sigma dx$$

în care σ este secțiunea eficace totală de interacție iar n numărul de nuclee din unitatea de volum. Ecuația aceasta se folosește sub forma integrată

$$n = \frac{1}{\sigma x} \ln \frac{I_0}{I}$$

și n se exprimă în funcție de densitatea substanței ρ și de greutatea sa atomică M ,

$$n = \frac{\rho N_A}{M},$$

în care N_A este numărul lui Avogadro. Densitatea superficială a substanței indică greutatea unității de suprafață și este $\mu = \rho x$. Înlocuind aceste valori în ecuația a doua se obține

$$\mu = \frac{M}{\sigma N_A} \ln \frac{I_0}{I}.$$

La fiecare izotop al unui element secțiunea totală pentru neutroni variază sensibil. Sînt izotopi care prezintă secțiuni totale de ordinul miilor și alți izotopi cu secțiuni de ordinul fracțiunilor de barn.

Metoda de analiză prin transparență pentru neutroni s-a aplicat în I.F.A. tot pentru determinarea borului din minereuri. Borul are o secțiune totală pentru neutroni de 760 barni. Dintre celelalte elemente prezente în minereuri, numai litiul are o secțiune eficace mai mare, iar oxigenul mai mică, dar apreciable (30 b). Dacă litiul este total absent în probe, se poate socoti că interferența măsurării borului cu celelalte elemente prezente duce la o eroare de aproximativ 3%. Dacă se aplică însă o metodă de comparație cu etaloane, se obțin rezultate mai bune.

9. Metoda de analiză prin retroîmprăștierea radiației beta

Este o metodă analitică interesantă prin simplitatea și rapiditatea sa. Se bazează pe faptul că energia maximă a electronilor reflectați crește cu numărul atomic al reflectorului. Această proprietate s-a folosit la determinarea conținutului în niobiu al unui aliaj Nb - Cr, tungstenului în oțel și la diferite săruri din soluții. Dispozitivul simplu este redat în figura 15.2. Aliajul de cercetat (1) se așază pe inelul de plexiglas (2) în

fața ferestrei unui contor (3). Sursa radioactivă (5) este făcută din Tl^{204} și se sprijină pe un suport de plastic și de plumb (4) care protejează contorul de radiația directă. Un filtru de aluminu (6) absoarbe radiația reflectată de crom și lasă să treacă pe aceea retrodifuzată de niobiu. Intensitatea radiației măsurată în contor crește proporțional cu cantitatea de niobiu. Precizia metodei este de 2%.

O altă metodă se bazează pe faptul că absorbția radiațiilor beta variază cu raportul Z/A al absorbantului. Ea se folosește ca metodă de analiză a unor substanțe și mai ales la determinarea raportului H/C din hidrocarburi. La hidrogen raportul Z/A este de două ori mai mare decât la carbon; urmează că la greutate egală, hidrogenul va absorbi de două ori mai mult radiația

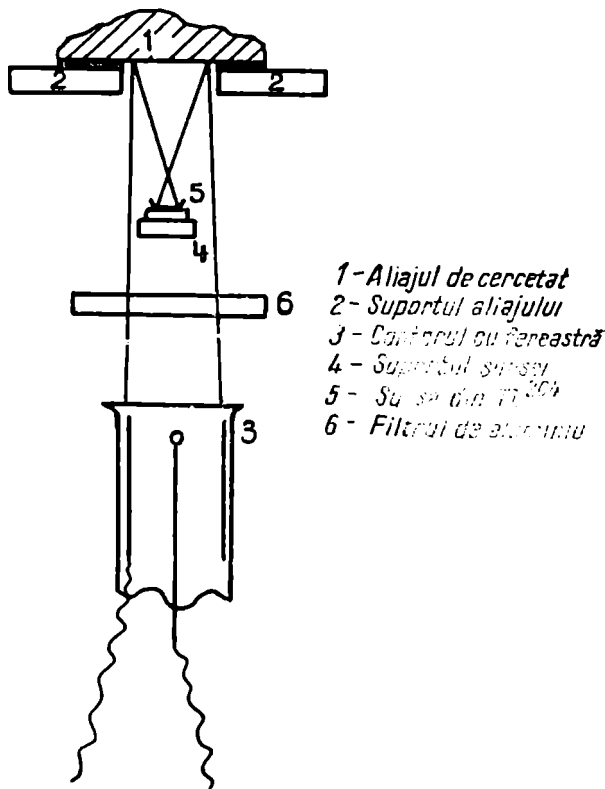


Fig. 15.2. — Dispozitiv de analiză prin retroîmprăștierea radiației β .

beta. Măsurătorile de absorbție se combină cu măsurători de densitate și dau într-un timp foarte scurt conținutul în hidrogen al unei hidrocarburi cu o precizie de 0,02% în greutate.

Seria metodelor radiochimice de analiză este mult mai variată decât cea expusă în cadrul restrîns al acestui capitol. Studiul lor se bucură de o deosebită atenție în Uniunea Sovietică unde se află laboratoare de chimie analitică, cum sînt cele de la Universitatea din Leningrad, care au menirea de a găsi metode radiochimice mai precise și mai rapide ca să poată înlocui pe cele clasice. La Universitatea „Lomonosov” din Moscova se află un mare Institut de Radiochimie, unde prof. acad. Spițin cu colaboratorii săi aplică curent metode radiochimice și elaborează continuu noi metode de cercetare. Aici

lucrează și prof. Nesmeianov care în ultimii ani a făcut studii ingenioase în domeniul chimiei atomilor fierbinți. În Institutul de chimie analitică și geochimie condus de profesorul acad. Vinogradov se aplică în special metoda de analiză prin radioactivare și se studiază intens chimia transuranienelor. La Institutul „Timiriazev” din Moscova se lucrează cu izotopi radioactivi, în special cu C^{14} , pentru identificarea substanțelor sintetizate de plante. Separarea și identificarea mulțimii de compuși se face prin cromatografie pe hîrtie.

Începînd cu anul 1957, după punerea în funcțiune a reactorului nuclear, la noi în țară a început aplicarea izotopilor radioactivi într-un ritm care se accelerează în fiecare an. S-au creat centre de radiochimie la București, Cluj, Iași, Timișoara și Tg. Mureș. Se elaborează anual zeci de lucrări de analize radiochimice și se aplică și se extind metodele existente. Industria noastră de asemenea începe a utiliza experiența acumulată în I.F.A. pentru a-și îmbunătăți metodele de lucru și pentru a aduce economii substanțiale.

§ 16. ANALIZA PRIN RADIOACTIVARE ȘI SPECTROMETRIE GAMA

MIRCEA CRISTU și CARMEN SABĂU

Analiza prin radioactivare este o metodă de mare sensibilitate pentru identificarea și dozarea urmelor de elemente în diferite materiale. Proba de cercetat este iradiată într-un flux de radiații nucleare care radioactivează atât componenta principală cât și urmele de elemente pe care proba le conține. Iradierea este urmată apoi fie de o prelucrare radiochimică, ce simplifică analiza gama — spectrometrică ulterioară, fie direct de această analiză. Prin metoda spectrometriei gama se poate afla energia și intensitatea radiațiilor gama emise de proba radioactivată precum și timpul lor de înjumătățire. Pe baza acestor informații se pot deduce natura și cantitatea elementelor radioactive.

1. Iradierea probelor

Proba cercetată, în cantitate mică (aproximativ 1 g) este închisă într-un container de polietilenă sau de cuarț (după cum timpul de iradiere va fi mai scurt sau mai lung). Apoi, proba este supusă bombardamentului cu neutroni (în reactorul nuclear) sau cu particule încărcate (protoni sau deuteroni în ciclotron) sau, în sfârșit, cu radiații gama. Pentru a reduce erorile datorite necunoașterii exacte a fluxului de particule bombardate, în același timp cu proba cercetată se iradiază și probe martor conținând diferitele elemente a căror existență se bănuiește în probă.

Cea mai comodă și eficientă sursă de radioactivare s-a dovedit a fi reactorul nuclear. În cazul câtorva elemente însă, cum ar fi borul, carbonul, azotul, oxigenul și fluorul, radioactivarea trebuie făcută cu particule încărcate accelerate la ciclotron.

ANALIZOR DE AMPLITUDE

202

第 20 卷 第 1 期

姓名: _____
 学号: _____

— 1 —

În cazul radioactivării cu neutroni, cantitatea de element X căutată în probă se obține măsurându-i radioactivitatea, dată de formula

$$A_X = \Phi \sigma_a N_X (1 - e^{-\lambda t_1}) e^{-\lambda t_2},$$

unde Φ este fluxul de neutroni, σ_a secțiunea de activare a elementului X ; N_X numărul de nuclee de specia X , λ constanta de dezintegrare iar t_1 și t_2 timpul de iradiere, respectiv timpul de la terminarea iradierii pînă la începerea măsurătorii.

Sensibilitatea metodei este proporțională cu fluxul de neutroni (care într-un reactor poate ajunge la 10^{13} neutroni/cm² s) și cu secțiunea de activare. Sensibilitatea mai depinde și de perioada de dezintegrare, fiind mică în cazul perioadelor prea scurte (mai mici de aproximativ 25 min) sau prea lungi (de ordinul anilor). Ea este cu atît mai mare cu cît timpul de iradiere este mai lung față de această perioadă. De aceea, pentru a atinge sensibilitatea maximă pentru un element dat, se va alege un timp de iradiere optim.

În condiții uzuale de iradiere (la reactor), de prelucrare și de măsurare, pentru marea majoritate a elementelor tabelului periodic, sensibilitățile atinse în analiza prin radioactivare depășesc cu mult sensibilitățile altor metode. Așa de exemplu, se pot determina Sm și W cu o sensibilitate de $5 \cdot 10^{-11}$, In, Mn și U cu 10^{-11} , Au cu $5 \cdot 10^{-14}$ sau Dy cu $1 \cdot 10^{-14}$.

2. Prelucrări chimice

După iradiere, proba cercetată este supusă prelucrărilor chimice specifice compoziției sale. Atunci cînd elementul căutat se găsește în cantitate mare, pentru separarea și izolarea sa se folosesc metodele obișnuite ale chimiei. Cînd elementul se găsește doar în urme, se impune antrenarea sa cu o cantitate cunoscută de „purător” (1...50 mg), adică cu o cantitate din izotopul stabil al elementului respectiv. Pentru a asigura o eficacitate optimă a purătorului, acesta trebuie să fie în aceeași stare de oxidare sau în aceeași formă chimică ca și elementul radioactivat. Dacă nu se cunoaște forma precisă în care se găsește elementul radioactiv, acesta va fi trecut împreună cu purtătorul în aceeași formă. În cazul în care una din impurități

sau chiar componenta principală a probei cercetate îngreunează analiza gama-spectrometrică, se procedează la eliminarea componentei jenante prin precipitări repetate, adăugînd de fiecare dată purtător.

Trebuie accentuat asupra faptului că prelucrările chimice sînt specifice elementului căutat iar metodele folosite sînt metodele obișnuite ale chimiei analitice, care includ precipitări, oxido-reduceri, schimb ionic, formare de complecși, evaporări, volatilizări, extracții cu solvenți, metode electrochimice, cromatografie pe hîrtie etc.

Cînd proba de analizat reprezintă un amestec prea complex, separarea pe grupe de elemente se face încă înainte de radioactivare. Astfel de separări anterioare activării se fac și pentru eliminarea elementelor care nu interesează și care perturbă analiza gama-spectrometrică.

Cînd proba conține elemente radioactive a căror identificare și dozare este ușor de efectuat prin analiza gama — spectrometrică, etapa prelucrărilor radiochimice poate fi eliminată.

3. Analiza gama-spectrometrică

Datorită faptului că marea majoritate a izotopilor radioactivi emit radiații gama, cea mai comodă metodă de identificare a lor este metoda spectrometriei gama, prin care se determină energiile și intensitățile radiațiilor gama. Cînd informațiile privitoare la energiile radiațiilor gama sînt insuficiente pentru identificarea izotopului ce emite aceste radiații, ambiguitățile posibile pot fi eliminate prin determinarea timpului de dezintegrare.

Cel mai simplu spectrometru universal folosit în analizele prin radioactivare este spectrometrul de scintilații, format dintr-un cristal de iodură de sodiu activată cu taliu [NaI (Tl)] montat pe un fotomultiplicator. Radiațiile gama care cad pe cristal produc scintilații luminoase care sînt transformate de către fotomultiplicator în pulsuri electrice. Acestea sînt amplificate și sortate după amplitudine cu un analizor de amplitudine avînd unul sau mai multe canale.

În laboratorul de reacții nucleare al Institutului de fizică atomică funcționează un asemenea spectrometru de scintilații cu care s-au determinat de exemplu, impurități în siliciul pentru semiconductori. Spectrometrul folosește cristale de NaI(Tl) de dimensiuni variabile (diametru 40 mm; înălțime 40 și 50 mm).

În funcție de spectrul cercetat, se alege cristalul de dimensiuni optime care este cuplat cu un fotomultiplicator. După amplificarea necesară, spectrul de amplitudini este analizat într-un analizor cu 20 de canale. Prin comutarea benzii de analiză de cinci ori, se obține un spectru pe 100 de canale.

Laboratorul mai dispune și de un spectrometru gama de coincidență. Acest spectrometru poate fi folosit cu succes în cazul cercetării unor spectre complexe datorite unor izotopi emițători de radiații gama în cascadă.

Măsurătorile asupra unei probe efectuate cu un asemenea spectrometru pot să dureze aproximativ o zi, atunci când nu există ambiguități la identificarea izotopilor radioactivi, și câteva zile când sînt necesare și măsurători ale timpului de dezintegrare.

Erorile metodei de analiză prin radioactivare sînt legate de necunoașterea exactă a fluxului în regiunea probei, de efectul autoabsorbției radiațiilor, de efectul unor reacții concurente etc. De obicei, erorile pot fi reduse pînă la 10...20%.

În concluzie, metoda de analiză prin radioactivare se bucură de următoarele avantaje :

a. La cele peste 75 de elemente cercetate pînă în prezent sensibilitatea este mare, poate fi ușor calculată și de regulă depășește sensibilitatea altor metode analitice.

b. Metoda este foarte specifică, deoarece eventualele ambiguități la determinări de energie pot fi îndepărtate prin determinări ale timpului de înjumătățire.

c. Metoda este mai puțin pretențioasă decît metodele analitice cantitative clasice în ceea ce privește puritatea reactivilor.

Ca dezavantaje se pot enumera :

a. Nu toate laboratoarele interesate în analize de impurități dispun de sursă de activare. În afară de aceasta, nu toate laboratoarele sînt amenajate pentru prelucrarea surselor de mare activitate.

b. Izotopii de viață scurtă pot fi detectați numai cu sensibilitate scăzută.

c. Nu pot fi iradiate probe de orice natură (de exemplu lichide organice volatile) deoarece acestea se descompun în timpul iradierii.

4. Aplicațiile metodei

a) *Tehnologia materialelor de înaltă puritate.* Metoda de analiză prin radioactivare și-a găsit un vast cîmp de aplicații în analiza impurităților din materialele foarte pure. Astfel s-au

determinat urme de Hf în Zr, de Ir în Pt și Rh, de Rb și Cs în aliaje de sodiu-potasiu, de In în Zn și în Ga, de Zr în Hf, de Zr și As în W, de P în I₂, de As în S, de Dy în Ho, U²³⁵ în U²³⁸, de Te în As, de O₂ în Be, de S în benzen etc. De asemenea s-au determinat impurități în Al, Si, Ge, Fe, Mg, Ti, Zr, în grafit, în diferite rășini, semiconductori etc.

b) *Industrie*. În industria metalurgică, metoda și-a găsit aplicații largi la dozarea impurităților sau a componentelor minori în oțeluri. Astfel s-au dozat W, Nb, Sb, Se, Ta, Co, C, Ni în diferite oțeluri speciale sau Fe, Cr, Ni și Co în produse de coroziune. De asemenea, cu ajutorul acestei metode s-au putut efectua cercetări privitoare la structura cristalină a aliajelor, la coroziunea oțelurilor, la uzura căptușelilor refractare, la cantitatea de zgură din oțeluri, la originea incluziunilor nemetalice din oțel sau la difuzia unor metale.

c) *Petrochimie și mineralogie*. În acest domeniu s-au făcut analize prin radioactivare pentru urme de elemente atât în chimicalele folosite la petrochimie cât și în petrol. De exemplu, s-au determinat în petrol urme de Sb, Br, Co, Ni, P și V. În mineralogie, metoda a fost folosită pentru determinări de pământuri rare. S-au făcut cercetări de abundență în natură a Re și a Tc. S-a studiat compoziția minereurilor de U, Ta, Se, Th, Rb, Cs etc.

d) *Geochimie*. Cu ajutorul analizei prin radioactivare s-au efectuat importante cercetări privitoare la compoziția meteoritilor, a rocilor, a apei de mare, a sedimentelor și organismelor marine. De asemenea, s-au făcut cercetări de timp cosmic după prezența He³ în meteoriti și de vârste geologice după rapoartele K/Ar sau Rb/Sr. Se întrevide rezolvarea unor probleme ca abundența cosmică a elementelor și relații de distribuție a elementelor urmă în diferite faze.

e) *Chimie analitică*. S-au făcut determinări de bromuri, cloruri și ioduri în amestecuri, de Cs în produse de fisiune, de Au, Re, Sb, Th, In, Li, Ta, P, N, C, S, Be, Al, de pământuri rare. De asemenea, s-a determinat Au în diamant, Cu în esteri celulozici, Ta, Nb și Ti în amestecurile lor. S-a măsurat raportul izotopic Th²³²/Th²³⁰ și U²³⁵/U²³⁸.

f) *Biologie și medicină*. S-au făcut determinări de urme sau componente minori în materiale biologice. Astfel s-au determinat Na, K, Co, Sb, As, Cd, Cs, Cu, Ni, Fe, Se, Rb, Se, Sr, Zn, Ir, Au în țesuturi animale, Na, I, As în ser de sânge, vase sanguine și în proteinele singelui, Na, K, P în mușchi, Na, Sr și As în oase. Au fost determinate urme de elemente dăunătoare în calculii renali, biliari, dinți etc.

S-a dozat I din tireoglobulină, As în păr, unghii și dinți, B în tumori la creier. S-au putut rezolva probleme importante ca metabolismul unor elemente (Sr și Ni) la om, repartiția normală a elementelor în țesuturi și alte materiale biologice, metabolismul elementelor sub formă de urmă în tumori, rolul Mn în formarea oaselor și al V în calcifierea dinților și prevenirea cariilor, intoxicațiile cronice cauzate de metale industriale etc.

g) Agricultură și alimentație. S-au determinat Sr și Ba în plante și soluri, V, As și Cu în uleiuri, Co, Cu și Mo în trestie de zahăr, Fe în ierburi și grâne, P, Rb, As, Cl, Br, Ba, I etc. în apa potabilă, Hg în uleiuri și grăunțe, As, Cu și Zn în vegetale, sucuri de fructe, vin, spirturi, Se în furaje (prezența Se în furaje a fost legată de apariția mitozei la vite). S-au determinat diferite impurități în drojdie și alte alimente.

h) Diverse. S-a determinat Cl în mase plastice și săpunuri, Co și Se în ceramice și sticle, S în mase plastice, Cu în celuloză, Cd în rășini de vinilin, Cu, ioduri și bromuri în sulfura de zinc luminescentă.

De asemenea s-au făcut cercetări de impurități în insecticide, în catozi cu oxizi din tuburile electronice etc.

§ 17. AUTORADIOGRAFIA CU EMULSII NUCLEARE

MARIETA NICOLAE

1. Introducere

Autoradiografie se numește procedeul de a obține imagini fotografice prin acțiunea radiațiilor emise de elementele radioactive cuprinse într-un anumit obiect asupra unei emulsii fotografice aflată în contact cu acesta.

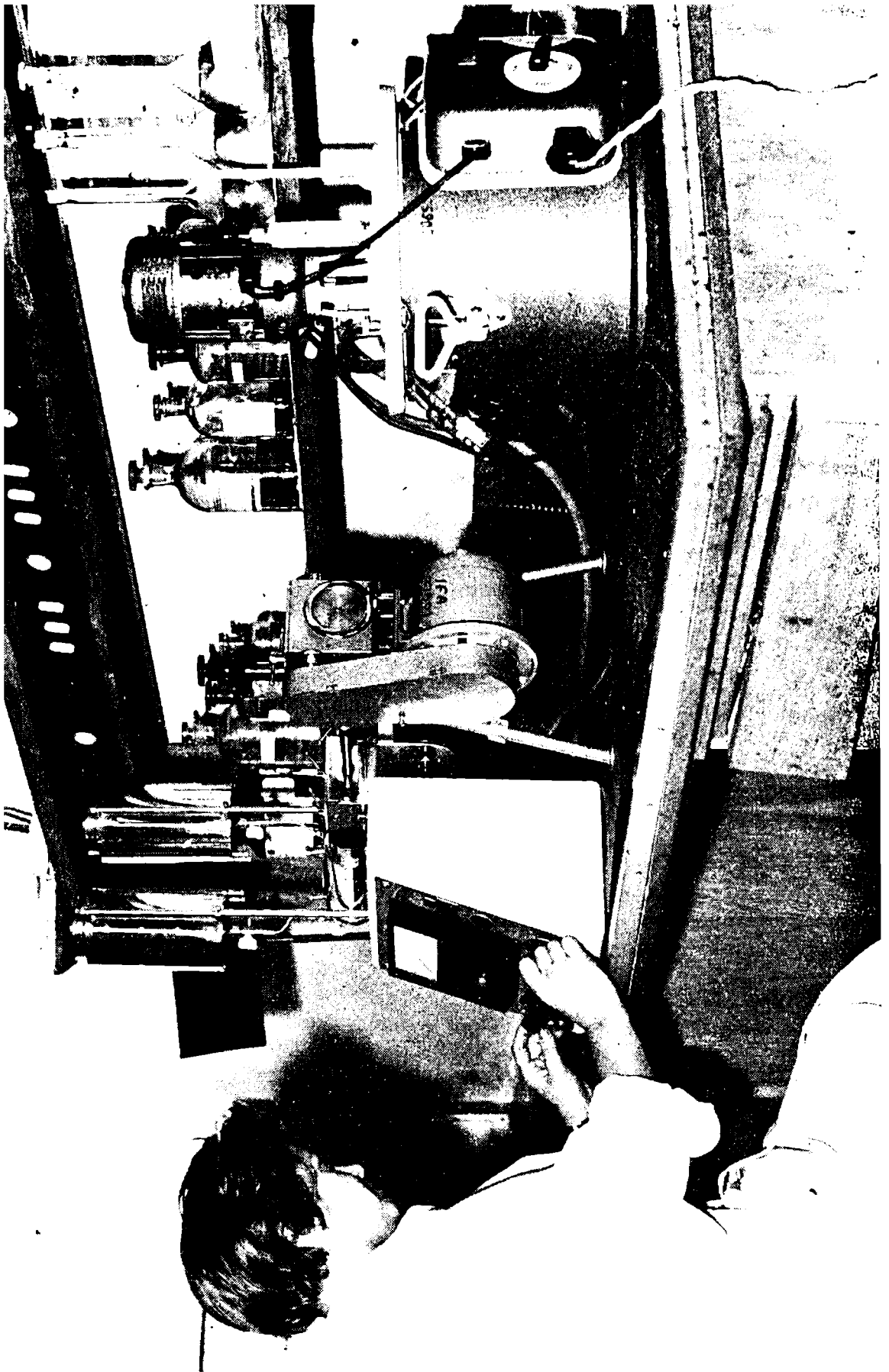
Imaginea radiografică obținută, care se numește și autoradiogramă, dă indicații asupra distribuției substanței radioactive în obiect și poate permite să se determine cu o anumită precizie cantitatea sa.

Metoda autoradiografică concurează cu succes în numeroase scopuri metoda de înregistrare a particulelor cu ajutorul contoarelor deschizând într-o serie de cazuri posibilități principial noi.

Autoradiografia și-a găsit o largă aplicație într-o serie de domenii ale științei și tehnicii ca : fizică, biologie, biochimie, medicină, metalurgie, geologie, chimie. Metoda autoradiografică permite obținerea de imagini ce se concretizează prin înnegriți în acele locuri ale emulsiei unde a fost absorbită o cantitate suficientă de radiații pentru a cauza impresionarea grăunțelor emulsiei fotografice adică radioliza bromurii de argint.

Acțiunea fotografică a unei radiații este determinată în mod esențial de capacitatea sa de ionizare. Cea mai importantă acțiune fotografică o au particulele alfa urmând în ordine radiațiile beta și gama.

Datorită faptului că radiațiile gama au o acțiune fotografică slabă și ținând seama și de complicațiile pe care le introduc măsurile severe de protecție ce trebuie luate, folosirea izotopilor gama-activi pentru autoradiografii are o importanță restrinsă.



Folosirea izotopilor alfa-activi în acest scop, care ar fi cea mai avantajoasă, este însă limitată numai la elementele cu radioactivitate naturală care au asemenea izotopi (U, Th, Bi, Pb etc.).

Ținând seama de aceasta, cei mai folosiți pentru autoradiografii sînt izotopii beta — și beta + gama.

Se mai folosește uneori și autoradiografia neutronică. În acest caz neutronii servesc pentru a provoca activitatea unuia sau a mai multor elemente conținute în eșantionul de studiat sau pentru a provoca o reacție nucleară cu emiterea unei particule ionizante ce se înregistrează în emulsie, ca de exemplu în cazul B^{10} ($B^{10} + n_0 = Li^7 + He^4$).

Metoda autoradiografică a căpătat posibilități noi o dată cu folosirea emulsiilor nucleare de sensibilitate ridicată ce posedă și o mai mare putere de rezoluție.

În acest caz radiograma se poate obține fie sub forma unei imagini de înnegrire directă — autoradiografia de contrast — fie prin înregistrarea individuală a urmelor — autoradiografia de urme. Aceasta din urmă are marele avantaj că permite evaluări cantitative ale elementului de studiat la concentrații foarte mici ale acestuia în probă (nedecelabile prin alte metode) precum și punerea în evidență a celor mai mici detalii de structură ale preparatului, după modul de repartiție a traiectoriilor (fig. 17.1).

Cele două metode, de contrast și de urme, nu se exclud una pe alta și alegerea metodei se face în funcție de felul obiectului, de scopul cercetării și de natura radiațiilor emise.

Obținerea unei autoradiograme de contrast poate avea ca scop studiul unei macrostructuri (macroradiogramă) cînd este necesar să se obțină o imagine de contrast vizibilă cu ochiul liber, dar în cele mai multe cazuri se are în vedere obținerea unei microradiograme care reproduce o microstructură (fig. 17.2).

În acest caz imaginile obținute sînt mai mici și explorarea lor se face la microscop.

2. Caracteristicile generale ale emulsiilor nucleare

Pentru obținerea unor autoradiografii cu caracteristici superioare, se recomandă folosirea emulsiilor nucleare (emulsii fotografice pentru fizica nucleară). Acestea sînt emulsii foto-

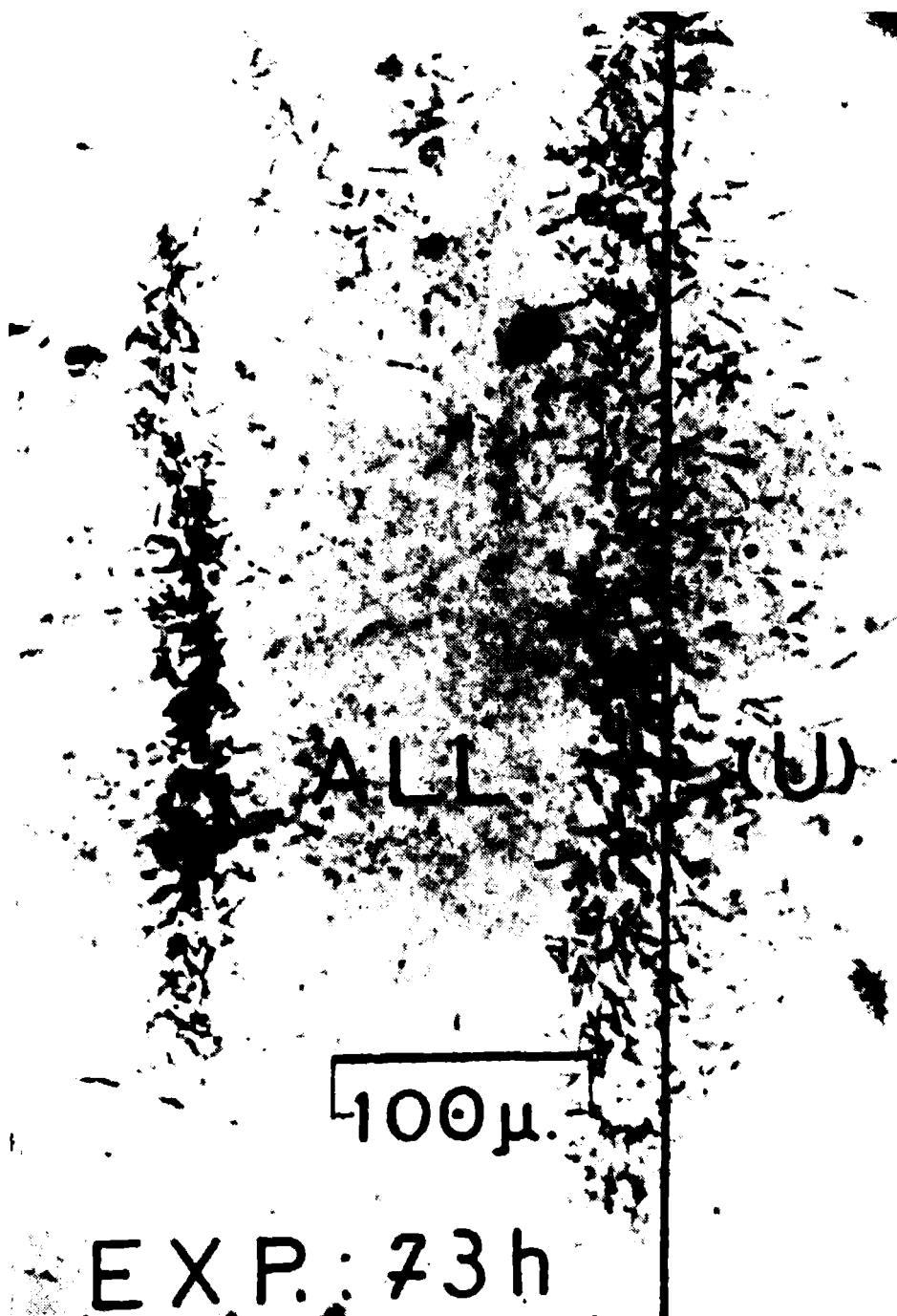


Fig. 17.1. — Migrația lamelară a uraniului în aluminiu la elementele de combustibil nuclear.

ALL = aluminiu; U = uraniu.

grafice de tip special care posedă toate proprietățile ce sînt cerute de metoda autoradiografică: sensibilitate ridicată la radiații ionizante, o granulație foarte uniformă și de dimensiune mică, necesară pentru obținerea unui contrast ridicat și a unei puteri de rezoluții mari, o valoare foarte redusă a voalului.

Principalele firme producătoare de emulsii nucleare furnizează unele tipuri de emulsii destinate pentru autoradiografii. În Uniunea Sovietică se produc în acest scop emulsiile nucleare NIKFI MR și MK. Caracteristicile acestor emulsii se dau în tabela de mai jos.

În Institutul de fizică atomică al Academiei R.P.R. se prepară emulsiile nucleare de tip EN₁ și EN₂ cu caracteristici apropiate de ale celor de mai sus, ce pot fi folosite atît pentru înregistrarea individuală a urmelor tuturor particulelor ionizante, cît și pentru autoradiografii de contrast.

Celelalte emulsii nucleare folosite pentru scopuri autoradiografice au de asemenea caracteristici asemănătoare cu cele prezentate în tabelă.

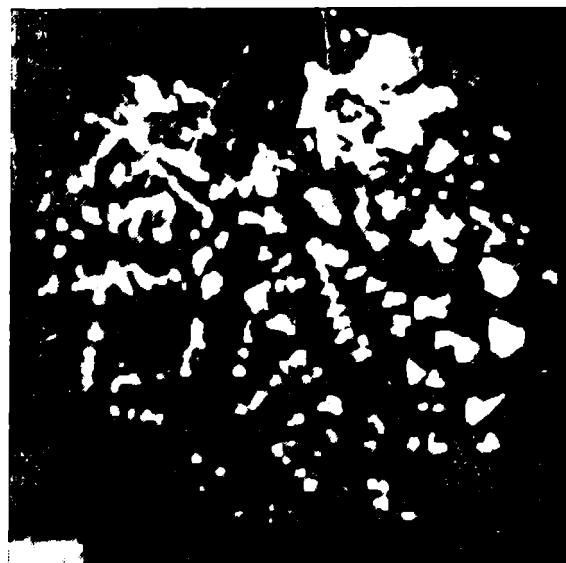


Fig. 17.2. — Microradiograma unui aliaj de Ag¹¹⁰ - Bi, după atac cu acid azotic.

Tabelă

Tipul fotoemulsiei	Grosimea limitată a stratului (microni)	Concentrația de AgBr în strat (%)	Diametrul mediu al grăuntelui nedezvoltat (microni)	Diametrul mediu al grăuntelui dezvoltat (microni)	Sensibilitatea limitată la electroni
MK	5...7	83-85	0,15	0,35...0,40	pînă la 200 KeV
MR	5...7	83-85	0,30	0,50	oricare

Emulsia nucleară, ca orice emulsie fotografică obișnuită, constă dintr-o dispersie foarte fină de microcristale ale unei halogenuri de argint (aproape 100% AgBr) într-un strat de gelatină. Halogenura de argint formează substanța fotosensibilă iar gelatina mediul de dispersie.

Spre deosebire de emulsiile fotografice obișnuite, care posedă o concentrație de 40—50% AgBr, emulsiile nucleare conțin peste 80% AgBr (pentru emulsiile de uz curent 82—86%). Sensibilitatea emulsiilor nucleare crește între anumite limite cu creșterea concentrației de AgBr.

Emulsiile nucleare se mai caracterizează printr-o granulație foarte fină a cristalelor de AgBr, ceea ce asigură emulsiei o mare putere de rezoluție. Pentru emulsiile nucleare aflate actualmente în uz curent dimensiunea microcristalelor de halogenură este de $0,1 \dots 0,5 \mu$ și atinge la emulsiile cele mai noi, denumite de granulație foarte fină, $0,02 \dots 0,08 \mu$.

Pentru lucrările de fizică nucleară emulsiile nucleare se toarnă în strate groase de $50 \dots 1\,000 \mu$ sau chiar mai mult.

Pentru lucrările de autoradiografie, în scopul de a se obține imagini cu o claritate maximă, grosimea stratului de emulsie trebuie să fie de $5 \dots 10 \mu$.

Metoda înregistrării fotografice a particulelor ionizante se bazează pe proprietatea halogenurii de argint de a se reduce la argint metalic în urma proceselor electronice și ionice care au loc în cristale la trecerea unei particule. Particula declanșează pe parcursul său fotoliza halogenurii de argint, formînd imaginea latentă a urmei. Aceasta dă prin dezvoltare imaginea vizibilă a traiectoriei particulei care a provocat-o.

Există diferite tipuri de emulsii nucleare care sînt clasificate după sensibilitatea și puterea lor de rezoluție.

Emulsiile nucleare cu sensibilitatea cea mai ridicată, denumite emulsii sensibile la particule relativiste sau la minimum de ionizare (tip NIKFI R, Kodak, NT₄, ILFORD G₅, ILFORD K₅), prezintă un interes deosebit pentru fizica particulelor de energii mari. Ele înregistrează practic orice particule ionizante. Aceste emulsii turnate într-un strat subțire ($5 \dots 10 \mu$) sînt indicate pentru autoradiografii beta.

Emulsiile nucleare sensibile la particule cu capacitate de ionizare mai mare (tip NIKFI Я, NIKFI K, NIKFI T₂, NIKFI T₃, ILFORD E₁, ILFORD C₂) își găsesc aplicații în fizică la studiul reacțiilor nucleare la energii joase și medii, precum și pentru studii autoradiografice în radiochimie, geologie, biologie, medicină, în scopul detecției și dozării elementelor alfa- și beta-active.

3. Prepararea eşantioanelor pentru autoradiografii

După cum am arătat, acțiunea fotografică a unei radiații corpusculare este determinată de capacitatea sa de ionizare, care depinde la rândul său de sarcina particulei și de energia sa. Cea mai mare valoare practică pentru autoradiografii o au izotopii beta-activi cu o energie maximă nu prea ridicată a spectrului de radiații.

De asemenea, la stabilirea tehnicii de lucru trebuie să se aibă în vedere și timpul de înjumătățire al izotopului.

Pe o autoradiogramă se observă, chiar în condiții optime de lucru, unele deviații de la forma și dimensiunea reală a obiectului, datorită razelor care cad pe emulsie sub unghiuri diferite. Aceste deviații se concretizează prin apariția unei imagini mai mari în dimensiune în raport cu dimensiunea reală a obiectului. Abaterile de la forma și dimensiunea reală sînt cu atît mai mici cu cît stratul de emulsie este mai subțire și energia particulelor beta este mai mică. Totuși, chiar în aceste condiții, autoradiograma permite să se observe detalii de structură ale eşantionului de studiat (în geologie sau metalurgie) care nu se pot observa la un microscop prin reflexie.

Cei mai indicați izotopi beta pentru autoradiografii sînt C^{14} , Ca^{45} , S^{35} , W^{185} , P^{32} , I^{131} , Cl^{36} ș.a.

Prepararea unui eşantion pentru autoradiografie se face prin introducerea în proba de studiat a unui izotop radioactiv printr-o metodă oarecare, uneori specifică domeniului de lucru.

De exemplu, în metalurgie un eşantion metalic poate fi activat prin iradiere într-un fascicul de neutroni sau prin introducerea unui izotop radioactiv în topitură. Într-o serie de cazuri, proba de lucru se poate radioactiva prin electro-precipitarea izotopului de studiat sau prin saturația eşantionului cu izotopul radioactiv în stare gazoasă.

O altă metodă folosită este evaporarea izotopului în vid cu precipitarea sa ulterioară pe eşantionul aflat în incinta respectivă.

În medicină și biologie, izotopul radioactiv se introduce într-o formă chimică accesibilă în țesutul vegetal sau animal din care se iau secțiuni.

O mare atenție trebuie să se dea naturii suprafeței de contact a eşantionului radioactiv cu emulsia fotografică. S-au observat de multe ori imagini false care se datoresc defectelor de suprafață ale obiectului. De asemenea, unele metale, în

contact cu emulsia fotografică, provoacă un pseudoeffect de înnegrire. Pentru a nu trage concluzii false este foarte important a se lua în considerație acești factori.

Spre a evita sursele unor asemenea erori, este necesar ca suprafața eșantionului să fie foarte netedă și bine curățită iar în cazul cînd materialul are o acțiune chimică asupra emulsiei fotografice, suprafața sa trebuie să se acopere cu un film protector de colodiu.

O importanță mare pentru calitatea imaginii o are și grosimea eșantionului radioactiv. În cazul cînd se lucrează cu radiații beta moi, ca de exemplu C^{14} sau Ca^{45} , grosimea eșantionului este mai puțin importantă întrucît radiațiile din stratele superioare ale acestuia se absorb complet, ceea ce asigură o claritate bună a imaginii, independent de grosimea secțiunii.

La folosirea izotopilor gama sau a radiațiilor beta mai dure eșantionul trebuie să aibă grosimi de $10 \dots 50 \mu$. Pentru cazul materialelor mai puțin absorbante, chiar la o energie nu prea mare a radiațiilor beta, grosimea eșantionului nu trebuie să depășească $100 \dots 200 \mu$ pentru a se obține o claritate bună a imaginii. Pentru asemenea grosimi se folosesc dispozitive speciale de tăiere.

4. Obținerea autoradiogramei

Autoradiograma de distribuție a unui element radioactiv într-un eșantion de cercetat se obține prin expunerea sa în contact cu o emulsie fotografică. Durata expunerii depinde de activitatea eșantionului și de sensibilitatea emulsiei.

Un lucru foarte important la expunere este realizarea unui contact uniform și deplin al suprafeței eșantionului cu emulsia fotografică. În cazul studiilor microradiografice, eșantionul se așază direct pe emulsie prin greutatea proprie sau în cazul cînd aceasta este dintr-un material ușor, se presează cu o greutate suplimentară. În cazul cercetărilor microradiografice se pot folosi emulsii pe suport de film, pe plăci de sticlă sau pelicule fără suport care au o capacitate de rezoluție foarte ridicată.

O mare influență asupra calităților autoradiogramelor o au condițiile de expunere : temperatura și umiditatea mediului. Acești factori influențează în mod hotărîtor viteza de regresie a imaginii latente, sensibilitatea emulsiei, viteza de creștere a voalului.

Fenomenul de regresie sau de ștergere în timp a imaginii latente depinde de o serie de factori ca felul emulsiei (mărimea granulației sale și sensibilitatea sa), prezența umidității și a oxidanților în atmosfera ambiantă, temperatură. Viteza de regresie crește cu temperatura și umiditatea și este favorizată de prezența oxigenului atmosferic. Regresia are valori mai ridicate pentru imaginile date de particule de energie mare și la emulsiile de granulație mai fină.

Regresia poate fi mult coborâtă printr-o bună curățire a suprafeței eșantionului și efectuarea de expuneri la presiune scăzută (10^{-2} mmHg). În acest scop expunerea se face în exicator de vid, din care se suge inițial aerul cu o pompă de vid preliminar.

O bună curățire a suprafeței eșantionului evită și eventuala desensibilizare a suprafeței emulsiei sub acțiunea impurităților ce s-ar afla pe eșantion.

După ce emulsia a fost expusă un anumit timp în contact cu eșantionul radioactiv, urmează operația de dezvoltare.

5. Folosirea emulsiilor peliculabile și a emulsiilor sub formă de gel

Într-o serie de cazuri se obțin rezultate mult mai bune folosind metoda emulsiilor peliculabile (fără suport) sau a turnării direct pe eșantion a unei pelicule din emulsia lichidă. Această din urmă metodă se folosește cu succes în ultima vreme în numeroase lucrări de geologie, biologie, medicină, metalurgie.

Cu acest procedeu se poate atinge o putere de rezoluție foarte ridicată, întrucât se asigură un contact mai intim între emulsie și probă și se pot repera direct pe obiect acele regiuni unde este localizat izotopul radioactiv.

În acest scop se folosesc emulsii nucleare livrabile sub formă de gel (emulsie lichidă congelată).

Această metodă de lucru permite să se observe la microscop, la o mărire de 30 . . . 1 000 ori, direct pe eșantion, microstructura și imaginea sa autoradiografică.

Într-o serie de cazuri se folosește și metoda autoradiografică cu straturi peliculabile (emulsii fără suport).

Stratul de emulsie ce conține imaginea autoradiografică poate fi la nevoie și separat de pe eșantion și pus pe o lamelă de sticlă.

Microradiogramele obținute se privesc la microscop la mărimi de aproximativ 30 — 1 000 de ori, în lumina transmisă.

6. Metoda autoradiografiei de urme

Autoradiografia de urme se aplică pe scară largă la detecția și dozarea elementelor alfa-active. S-au făcut unele încercări și pentru folosirea acestei metode la izotopi beta-activi.

Folosită la studiul mineralelor radioactive, autoradiografia de urme poate da indicații asupra concentrației și repartiției elementelor radioactive în materialul de studiat (minereu, eșantion metalic etc). Metoda fotografică permite punerea în evidență pe această cale a radioactivităților foarte slabe, care nu mai sînt detectabile prin alte metode.

Metoda autoradiografiei de urme prin traiectorii individuale are o serie de avantaje asupra metodei de contrast (înnegrire directă). În timp ce aceasta din urmă permite localizarea elementului radioactiv cu o precizie de circa 10 μ , metoda traiectoriilor dă o precizie de aproximativ 1 μ . Limita posibilităților de detectare este de 10^7 dezintegrări /cm² pentru metoda de contrast și de 10^4 dezintegrări/cm² pentru metoda de urme.

Un deosebit interes îl prezintă studierea prin această metodă a activităților minereurilor de Th și U. Folosirea emulsiilor nucleare în acest domeniu s-a lărgit o dată cu dezvoltarea reactoarelor nucleare și implicit a geochimiei și metalurgiei uraniului.

Efectuarea de studii cantitative asupra activității unor materiale (sub formă de solide, soluții sau gaze) prin metoda autoradiografiei de urme se bazează pe stabilirea numărului de particule emise de elementul de cercetat în unitatea de timp și pe unitatea de volum sau de suprafață a plăcii fotografice.

Pentru efectuarea unor astfel de măsurări este necesar să se evite absorbția în probă sau în mediul înconjurător a particulelor emise, regresia în timp a urmelor înregistrate, modificarea sensibilității emulsiei fotografice prin acțiune chimică sau fizică a probei de cercetat.

Tehnica de lucru se alege în funcție de starea de agregare a probei radioactive și de acțiunea chimică a acesteia asupra stratului fotosensibil. Problema cea mai importantă din acest punct de vedere este modul de impresionare a emulsiei. Durata impresionării se alege în funcție de activitatea probei de studiat, de la câteva ore sau zile, la aproximativ o lună pentru activitățile cele mai slabe. Dacă impresionarea durează mai mult de câteva

zile, este absolut necesar să se ia precauții pentru a se preîntîmpina regresia. În acest scop se recomandă ca impresionarea să se facă la presiune scăzută ($10^{-1} \dots 10^{-2}$ mm. Hg), la temperatură cît mai joasă (sub 20°C).

În funcție de natura probei de studiat se recomandă diverse metode de impresionare.

A. Aplicații în geologie și chimie

Metoda cea mai răspîdită pentru studiul minereurilor radioactive, a cărbunilor etc. este metoda secțiunilor lustruite, care constă în tăierea unor secțiuni subțiri din materialele de studiat, lustruirea lor pe una din fețe și punerea feței lustruite în contact cu emulsia fotografică. Metoda aceasta, deși foarte comodă, are anumite neajunsuri și anume, oricît de subțiri ar fi secțiunile din materialul de studiat, practic nu se pot obține asemenea grosimi încît să se poată neglija absorbția în strat a unora din particulele emise. Pentru determinări exacte este necesar să se cunoască drumul parcurs de particule în materialul de studiat și să se facă corecția pentru absorbție.

Se recomandă și o altă metodă care constă în prepararea unor secțiuni foarte subțiri din mineralul de studiat și acoperirea lor cu emulsie lichidă.

Rezultate mai exacte se pot obține cînd materialul de studiat se găsește sub forma unei pulberi foarte fine (cu diametrul de cîtiva microni), ca în cazul cenușilor. În această formă pot fi obținute și minereurile radioactive, prin măcinarea și selecționarea grăunților celor mai fini cu ajutorul unor site cu un număr mai mare de ochiuri pe centimetrul pătrat. Pulberea radioactivă se poate așeza sub forma unui strat subțire, uniform repartizat, între două plăci nucleare; de asemenea se poate repartiza cît mai uniform pe suprafața unei singure plăci sau se poate introduce în emulsia lichidă înainte de întinderea acesteia pe suport. În acest din urmă caz, cantitatea care se introduce în emulsie, exact cîntărită, nu trebuie să fie prea mare pentru a nu se reduce prea mult transparența emulsiei prelucrate. Această metodă a fost folosită de unii autori pentru dozarea thaliului și uraniului în minereuri precum și a uraniului în cenuși radioactive și cărbuni.

Pentru cazul pulberilor se mai recomandă și următoarea metodă folosită în laboratorul nostru.

O cantitate de pulbere radioactivă, cîntărită exact, se dispersează fin într-un volum foarte mic dintr-o soluție de gelatină sau de plexiglas. Suspensia se trece apoi cantitativ sub

forma unei pelicule pe o lamelă de sticlă cu suprafața cunoscută. După uscarea peliculei, aceasta se pune în contact cu emulsia unei plăci nucleare pentru impresionare. Grosimea acestei pelicule nu trebuie să depășească $1 \dots 3 \mu$.

După impresionare plăcile sînt developate și apoi explorate la microscop, construindu-se histograma lungimii parcurșurilor.

Într-o serie de cazuri dozarea unuia sau mai multor elemente alfa-active într-un material se poate efectua cu precizie dacă materialul respectiv poate fi trecut sub formă de soluție. Această metodă se aplică cu succes la dozarea conținutului de uraniu, radiu și thoriu în minereuri și ape radioactive naturale. La Institutul de fizică atomică al Academiei R.P.R. a fost pusă la punct o metodă de lucru în acest scop.

B. Aplicații în metalurgie

Pînă acum cîtiva ani metoda autoradiografiei de urme ce folosește emițători α era de un interes restrîns în metalurgie. Ea privea numai studiul unor aliaje ale elementelor plumb și bismut pentru care există izotopi α activi ai elementelor radioactive naturale. Importanța crescîndă care se dă metalurgiei uraniului, thoriului, plutoniului, legată de dezvoltarea tehnicii nucleare, a lărgit sfera de aplicație a acestei metode.

Alte elemente care nu au izotopi naturali radioactivi pot fi reperate printr-o reacție (n, α) sau (n, p). În felul acesta se poate identifica borul, litiul, azotul.

Metoda reperării și numărării urmelor permite detectarea și dozarea rapidă a elementului de studiat, cu condiția să se cunoască lungimea parcursului în emulsie a particulei și secțiunea eficace a reacției care a provocat-o.

După o metodă similară s-a studiat în laboratorul nostru concentrația borului în siliciu purificat pentru semiconductori.

Grosimea stratului de emulsie folosită în acest scop este de $50 \dots 100 \mu$.

7. Metoda autoradiografiei de contrast

Întrucît autoradiografia de urme are o aplicație mai restrînsă datorită numărului mic de emițători alfa, în practică se folosește în majoritatea cazurilor metoda autoradiografiei de contrast.

În autoradiografia de contrast, distribuția și cantitatea de substanță radioactivă se evaluează prin măsurarea densității optice de înnegrire a stratului fotografic. Densitatea de înnegrire sau densitatea optică se exprimă prin logaritmul raportului dintre intensitatea radiației incidente I_1 și a celeia care a străbătut stratul fotografic, I_2 ,

$$S = \lg \frac{I_1}{I_2}.$$

Relația dintre densitatea de înnegrire și expunere este dată de curba caracteristică a stratului fotografic. Întrucât aceasta are alură complexă, în mod obișnuit este recomandabil să se lucreze în limitele regiunii rectilinii, adică a regiunii de proporționalitate între densitatea de înnegrire și expunere. În acest scop se determină grafic pentru un izotop dat curba caracteristică. Pentru aceasta, emulsia de lucru se iradiază un anumit timp prin contact cu o sursă etalon special pregătită. Etalonul trebuie să fie apropiat ca compoziție de materialul de cercetat.

Este necesar ca în proba etalon să se realizeze o distribuție foarte uniformă a izotopului radioactiv. Pentru a se evita efectele de autoabsorbție și de difuzie, grosimea etalonului trebuie să fie egală cu a obiectului de studiat.

De asemenea, regimul de prelucrare a emulsiilor fotografice trebuie să fie identic.

După dezvoltarea autoradiogramei se măsoară densitatea de înnegrire a imaginii. Această operație se face cu ajutorul unui microfotometru.

Datele obținute prin fotometrare permit să se construiască curbele densitate de înnegrire în funcție de expunere și densitate de înnegrire în funcție de concentrația elementului.

Precizia de determinare a concentrației elementului prin metoda autoradiografiei cantitative poate fi determinată pe baza erorilor experimentale în diferite etape al experienței.

Procentul total al erorilor va cuprinde erorile ce apar datorită neuniformității eșantionului la măsurarea activității lui, datorită imperfecțiunilor de contact între peliculă și eșantion, condițiilor de expunere, prelucrării și erorilor de fotometrare.

În cazul când se respectă toate măsurile de precauție, se pot obține rezultate reproductibile cu o eroare ce nu depășește 10%. Cele arătate mai sus privesc atât lucrul cu emulsii pe suport cât și cu emulsii lichide turnate direct pe obiect. După cum s-a

arătat, acestea din urmă, asigurînd un contact mai bun al emulsiei cu proba, permit o capacitate de rezoluție mai ridicată și o precizie mai bună.

A. Aplicații în metalurgie și chimie

Ca aplicații ale metodei autoradiografice de contrast în metalurgie cităm studiul proceselor de recristalizare, distribuția impurității în diferite materiale și urmărirea unor modificări de structură prin diferite tratamente, studiul micro-și macro-neuniformităților, studiul fenomenelor de difuzie și autodifuzie.

B. Aplicații în medicină și biologie

Metoda autoradiografică a căpătat o largă răspîndire în studiile histologice, în medicină și biologie. În acest scop se folosește autoradiografia de urme sau și mai mult autoradiografia de contrast la scară microscopică.

O largă răspîndire a căpătat-o în ultima vreme autoradiografia cu emulsii peliculabile sau cu emulsii lichide (emulsii gel).

O primă problemă este alegerea dozei corespunzătoare a izotopului utilizat pentru a obține o imagine autoradiografică care să redea, la o scară microscopică, sistemul studiat, fără a-l distruge pe acesta din urmă sub acțiunea radiațiilor. Aceasta se stabilește prin încercări preliminare în care se variază atât concentrația elementului radioactiv cît și timpul de expunere.

În funcție de rezultatul acestor încercări se aleg condițiile optime de experiență.

Alegerea izotopului și a energiei sale depinde de indicațiile pe care urmează să le obținem. Natura moleculei marcate este determinată de locul său de acumulare.

Doza de radiație este strîns legată de sensibilitatea și grosimea stratului de emulsii, fiind de preferat a se folosi emulsia cea mai sensibilă. Întrucît în majoritatea cazurilor se lucrează cu izotopi beta-activi, se recomandă a se folosi în acest scop emulsiile I.F.A. EN₂ sau NIKFI MR.

La efectuarea unei autohistoradiograme este necesar să se țină seama de toate sursele de erori precum și de factorii care pot provoca imagini parazite. Ca surse de erori se pot cita: îndepărtarea izotopului radioactiv prin spălare în timpul preparării eșantionului, grosimea neuniformă a preparatului, diferite cauze de voalare a emulsiei fotografice — prin descărcări

electrice (efecte de frecare), efecte de presiune, încălzire, colorare, acțiunea chimică a obiectului de studiat asupra sensibilității emulsiei, acțiunea chimică a bacteriilor din mediul organic cu care emulsia este în contact.

Trebuie menționat că, ținând seama de nivelul mic al densităților de înnegrire a autohistogramelor, este foarte important să se elimine toate sursele de înnegriți false menționate mai sus iar interpretarea rezultatelor să se facă cu multă atenție.

Pentru a preveni aceste acțiuni, este indicat ca suprafața secțiunii biologice să se acopere cu un strat subțire de gelatină sau colodiu. O altă sursă de erori poate fi curbarea și deformarea emulsiei sub acțiunea unor eforturi mecanice în timpul impresionării sau al prelucrării.

Autoradiografia permite rezolvarea a numeroase probleme în biologie și în medicină. Alegerea metodei de lucru este determinată de natura obiectului, de felul problemei studiate precum și de puterea de rezoluție care este necesară. Principiile generale de lucru rămân însă în toate cazurile aceleași.

În ultima vreme s-a extins foarte mult metoda emulsiilor lichide.

Exploararea secțiunilor dezvoltate se face cu obiectivul de imersie al unui microscop biologic, reperind regiunile din obiect care dau înnegriți locale în stratul de emulsie.

Activitatea beta a probelor, pentru timpuri de expunere de câteva ore pînă la o săptămînă, este de ordinul miilor sau zecilor de mii de pulsuri pînă la respectiv zeci de pulsuri pe minut și pe centimetru pătrat de probă.

§ 18. DIN APLICAȚIILE PRACTICE ALE ANALIZEI CU RADIAȚII X

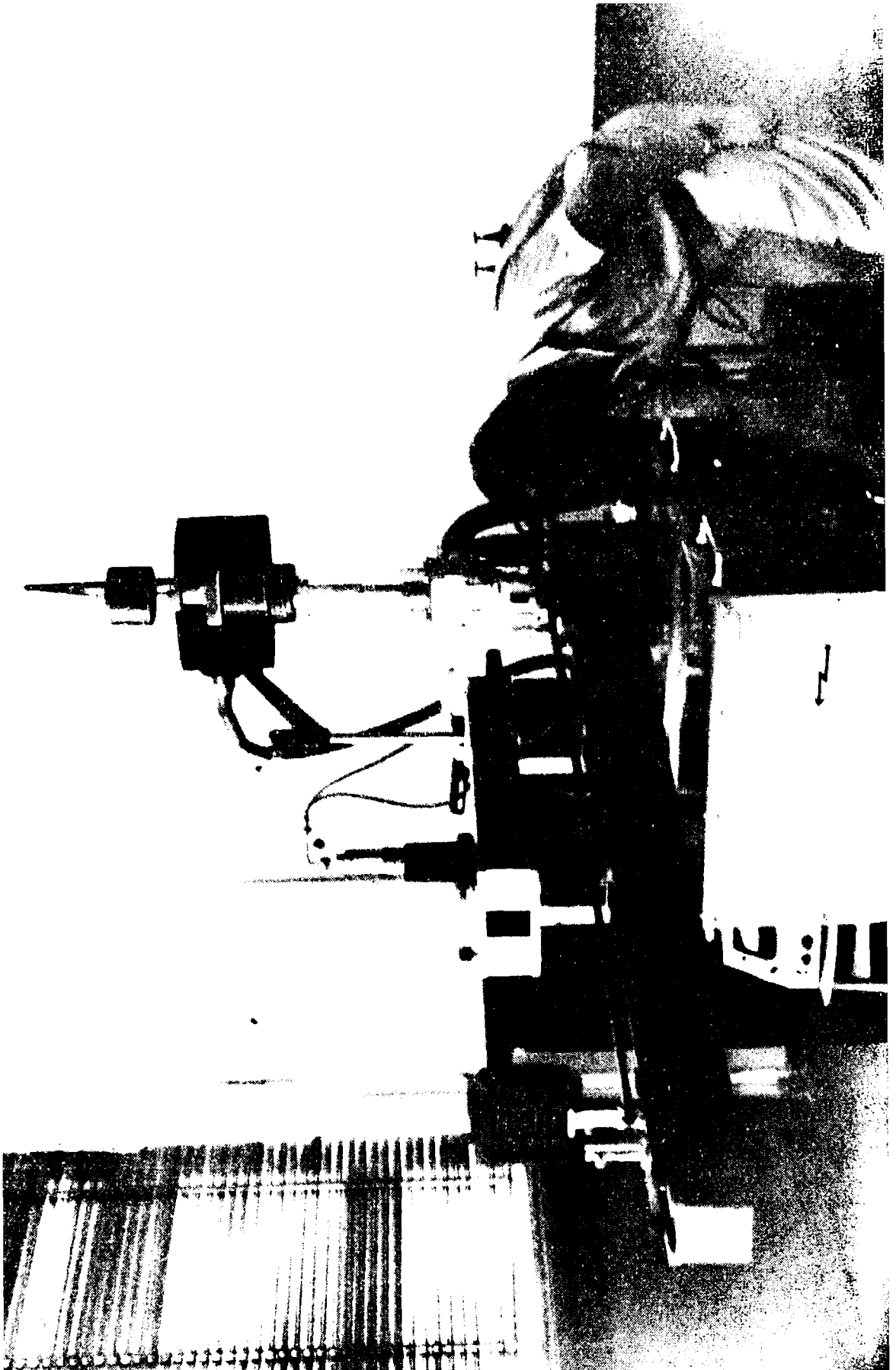
DOREL BALLY

Dezvoltarea tehnicii de lucru în domeniul spectroscopiei radiațiilor X a condus la elaborarea unor metode cu largă aplicabilitate în practica de laborator. Spectroscopia radiațiilor X în emisie sau prin fluorescență este astăzi folosită pentru analiza chimică cantitativă. Prima dintre metode este deosebit de avantajoasă în cazul dozării unor cantități de substanță foarte mici, de ordinul a 10^{-4} g. Cea de a doua metodă este foarte avantajoasă la orice fel de dozări, în particular ale elementelor cu proprietăți chimice foarte apropiate.

Se pot face astfel, folosind această tehnică, pînă la 15 analize cantitative de pămînturi rare, în decursul unei zile de lucru de 6 ore, utilizînd tehnica etaloanelor.

Datorită dependenței intensității și formei spectrelor de radiații X de tipurile de legături la care sînt supuși atomii în țintă, o largă răspîndire au căpătat în industria chimică și electrotehnică metodele spectroscopiei de radiații X în emisie și absorbție.

Puțin după descoperirea radiațiilor X, au fost elaborate primele metode de studiu ale structurilor cristaline cu acest tip de radiații, metode care folosesc proprietatea radiațiilor X de a avea o lungime de undă comparabilă cu mărimea distanței dintre atomi. Radiația X este împrăștiată de către electronii atomilor ce participă la formarea cristalelor. Atomii de tipuri diferite avînd numere diferite de electroni vor împrăștia în mod diferit radiațiile X. Pornind de la acest fenomen, s-au elaborat metode de lucru care să permită stabilirea modului în care sînt aranjați diferiți atomi prezenți în cristal. Pe această cale s-au putut pune în evidență proprietățile de simetrie ale diferitelor tipuri de substanțe cristaline. Rezolvarea acestei probleme atît



de importante era pînă nu de mult foarte anevoioasă sau practic imposibilă în cazul atomilor elementelor vecine în tabloul periodic, de exemplu nichelul și fierul, sau în cazul atomilor cu număr mic de electroni, de exemplu hidrogenul. În ultimii ani, metodele difracției radiațiilor X, extinse în domeniul fizicii neutronilor, au condus la stabilirea unor tehnici de lucru care permit, prin difracția neutronilor, să se obțină informații privitoare la aranjarea atomilor în cristal și în cazurile de tipul celor menționate mai sus.

Metodele difracției radiațiilor X permit să se determine și alte tipuri de mărimi ce caracterizează cristallul. Deformările interne ale cristallului, la scară atomică, la scara pachetelor de atomi sau la scara întregului volum cristalin, texturarea materialului cristalin, defectele în cristal, pot fi detectate și măsurate prin modificările aduse imaginii de difracție. O largă răspîndire au căpătat-o studiile privitoare la structura substanțelor cu proprietăți magnetice deosebite.

Metodele de studiu cu radiații X pot fi cu succes folosite la studiul corpurilor amorfe și al proceselor de cristalizare. Este interesant de subliniat ritmul rapid de dezvoltare a cercetărilor structurale cu ajutorul radiațiilor X în domeniul biofizicii; este suficient să fie citate în acest domeniu rezultatele interesante obținute în studiul acizilor nucleici.

Dezvoltarea tehnicii de lucru a condus la elaborarea de mașini analogice și numerice specializate, care permit astăzi rezolvarea într-un timp relativ scurt a problemelor de analiză structurală dintre cele mai complicate. Echipamentul de laborator, accesibil și relativ simplu de mînuit, accelerarea ritmului de prelucrare a datelor experimentale, determinată în particular și de existența mașinilor electronice de calcul, au făcut ca analiza structurală să devină o metodă curentă de lucru în cele mai variate direcții de cercetare sau ramuri ale tehnicii.

În cadrul Institutului de fizică atomică al Academiei R.P.R. există grupe de lucru specializate ce fac cercetări și execută lucrări pentru diferiți beneficiari din afara Institutului, atît în domeniul spectroscopiei radiațiilor X cît și în domeniul difracției radiațiilor X.

În atelierele de prototipuri ale Institutului au fost construite, după proiecte proprii, tuburi de radiații X ce permit

rezolvarea diferitelor tipuri de probleme în domeniul radiațiilor X (fig. 18.1). Caracterul lcr universal permite utilizarea acestora într-o gamă variată de analize spectroscopice și pentru multe

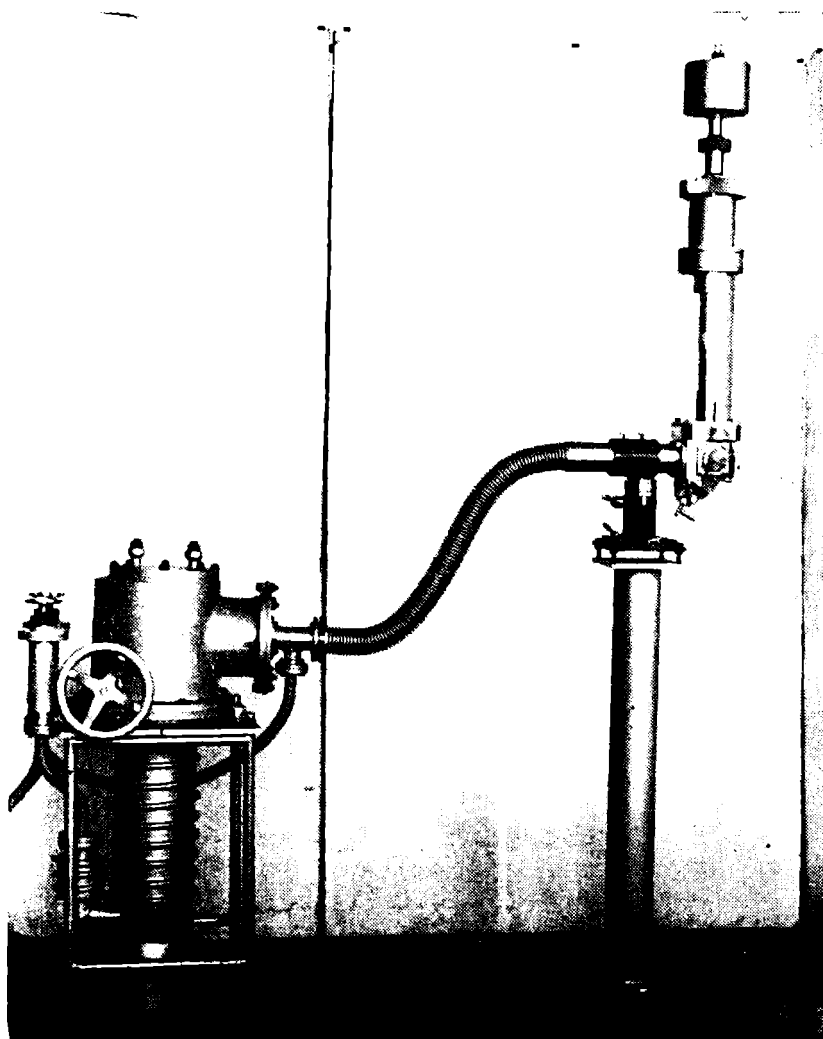


Fig. 18.1. — Tubul universal de raze X.

tipuri de analize prin difracție. Tuburile de radiații X proiectate și executate în Institutul de fizică atomică sînt tuburi demontabile, funcționînd cu agregatul de vid corespunzător. Întreg aparatajul de vid necesar tubului de radiații X este de asemenea realizat în atelierele Institutului de fizică atomică.

Pentru cercetările și aplicațiile în domeniul spectroscopiei de radiații X, în cadrul institutului au fost proiectate și executate două tipuri de spectrometre de radiații X, care permit studiul spectrelor tuturor elementelor situate în tabloul periodic după vanadiu. Studiile în curs urmăresc automatizarea măsurătorilor spectrometrice. În vederea realizării acestui obiectiv, se studiază îmbunătățirea sistemelor de detecție utilizate la spectrometrele existente.

Pentru cercetările și analizele ce folosesc metoda difracției radiațiilor X, au fost construite în cadrul atelierelor de prototipuri ale institutului două tipuri de camere universale de difracție, pornind de la un proiect sovietic. S-a construit de asemenea o cameră de difracție pentru studiul monocristalelor și este în curs de realizare o cameră care să permită studiul corpurilor cristaline prin metoda cristalului turnant.

În afara aparaturii realizate în cadrul institutului, laboratoarele de specialitate mai sînt dotate cu generatoare de înaltă tensiune, cu aparatură spectroscopică și de difracție în domeniul radiațiilor X, aduse din străinătate. Echipamentul existent este mereu în curs de completare. Astfel, în afara betatronului, construit de către Institutul de fizică atomică în colaborare cu alte întreprinderi din țară și care este utilizat în primul rînd pentru rezolvarea unor probleme de defectoscopie, urmează a fi dat în folosință un accelerator electrostatic de electroni care de asemenea va putea contribui la lărgirea gamei de probleme de radiații X ce pot fi rezolvate de laboratoarele Institutului de fizică atomică.

Între problemele de radiații X rezolvate în cadrul institutului și care pot ilustra posibilitățile laboratoarelor de specialitate, pot fi citate, ca exemplu, studiul spectrelor de absorbție a aliajelor Ni-Fe, a modificărilor produse în nichel și fier în urma iradierii cu neutroni, a influenței legăturii chimice și a stării de agregare asupra spectrelor unor elemente ca As și Se etc. În domeniul difracției radiațiilor X, cităm studiile privitoare la modificările ce au loc în soluțiile suprasaturate ale aliajelor Cu-Ni-Fe, studiile în domeniul structurii cristaline a unei anumite clase de materiale sinterizate, studiul unor catalizatori oxidici. Acestor studii li se alătură numeroase analize structurale de substanțe cristaline sau amorfe executate pentru diferite unități medicale, pentru Institutul de cercetări textile, pentru diferite laboratoare de geologie etc.

Rezultatele obținute pînă acum în diferite studii cu caracter fundamental și aplicativ, precum și baza materială asigurată laboratoarelor de specialitate, permit Institutului de fizică

atomică al Academiei R.P.R. să rezolve următoarele tipuri de probleme :

1. Microanalize cantitative prin metoda spectroscopiei de radiații X în emisie.

2. Analize cantitative prin metoda spectroscopiei de raze X de fluorescență.

3. Analize structurale curente :

a. determinarea elementelor de simetrie a diferitelor structuri cristaline.

b. determinarea parametrilor cristalini ;

c. determinări ale tensiunilor interne în materialele cristaline ;

d. studii de corpuri amorfe sau care prezintă un început de cristalizare ;

e. determinări de texturi.

4. Construcția de aparatură de specialitate de tipul celei amintite în acest paragraf.

§ 19. APORTUL INSTITUTULUI DE FIZICĂ ATOMICĂ LA ÎNDRUMAREA UNITĂȚILOR NUCLEARE ȘI LA PREGĂTIREA CADRELOR DE SPECIALIȘTI

MIRCEA ONCESCU și EMILIAN GAȘPAR

Utilizarea izotopilor radioactivi a permis rezolvarea cu succes a unor probleme complexe în diferitele domenii ale economiei naționale. Trebuie amintite două condiții prealabile de care depinde în mare măsură introducerea pe scară largă a acestor tehnici noi. Necesitatea unor laboratoare special amenajate și dotate și formarea unui personal cu pregătirea corespunzătoare.

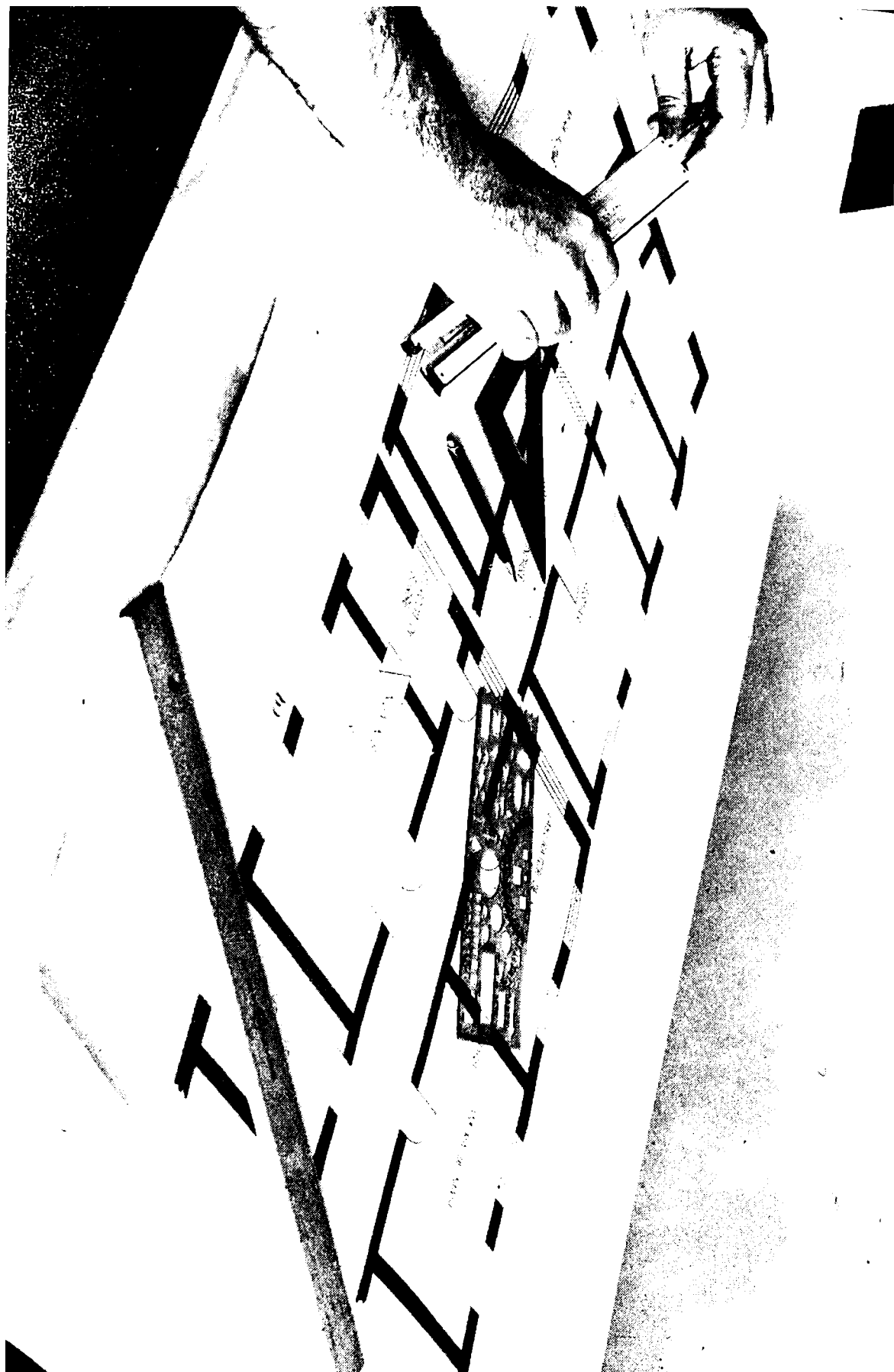
Rezolvarea acestor probleme a necesitat o activitate organizatorică la care a contribuit și Institutul de fizică atomică.

1. Îndrumarea unităților nucleare

Datorită faptului că lucrul cu izotopii radioactivi ridică probleme de protecție împotriva radiațiilor precum și datorită necesității unor măsuri în vederea evitării contaminării radioactive, substanțele radioactive nu pot fi utilizate în laboratoarele obișnuite de fizică sau chimie. Volumul amenajărilor, precum și măsurile speciale de protecție necesare, trebuie stabilite în fiecare caz în parte în funcție de specificul problemei abordate. Stabilirea acestor măsuri nu poate fi făcută decât de specialiști cu pregătire în această direcție.

De aceea, în cursul anului 1958, a fost înființată, în cadrul Institutului de fizică atomică, o comisie pentru îndrumarea și controlul unităților nucleare (C.I.C.U.N.). Această comisie are următoarele atribuții :

1. Avizează proiectele de construcție și amenajare a unităților nucleare și propune Comitetului pentru energia nucleară autorizarea acestora.



2. Urmărește modul de utilizare a surselor de radiații nucleare.

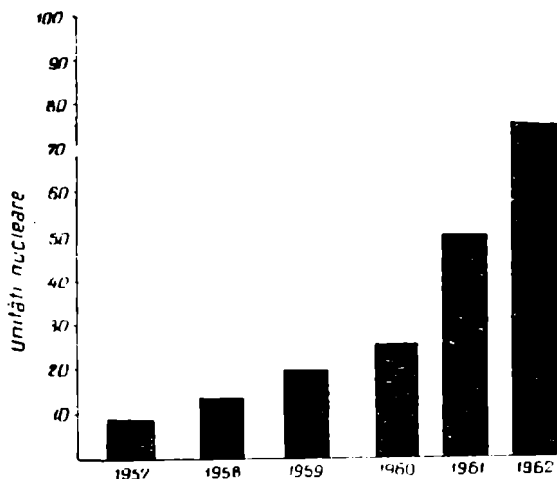
3. Verifică condițiile de lucru cu aceste surse în unitățile nucleare.

4. Propune distribuirea rațională a surselor de radiații nucleare și a aparaturii folosite în tehnica nucleară, care se fabrică în țară.

Organizarea și funcționarea acestei comisii se face astăzi în baza Hotărîrii Consiliului de Miniștri nr. 741 din 15 noiembrie 1961.

Comisia a avizat pînă în prezent majoritatea proiectelor. În cadrul ședințelor de avizare s-au purtat discuții cu proiectanții și beneficiarii lucrărilor avizate, ținîndu-se seama în special de două aspecte importante și anume realizarea corectă a tuturor măsurilor de protecție necesare lucrului cu izotopi radioactivi și găsirea soluțiilor celormai economice.

Pe lingă avizările date, comisia a ținut o legătură strînsă cu unitățile în curs de amenajare, dînd sugestii sau făcînd propuneri pentru remedierea anumitor deficiențe care apăreau în decursul amenajărilor sau nu fuseseră sesizate la avizare. În graficul din figură se prezintă creșterea numărului unităților nucleare amenajate cu sprijinul C.I.C.U.N. în perioada 1957 — 1962. Repartiția pe specialități a acestor unități este reprezentată în tabela 19.1.



Creșterea numărului unităților nucleare.

Tabela 19.1

Învăță-mînt	Agricul-tură	Industrie	Medicină	Cercetări	Diverse	Total
17	10	81	29	30	13	180

În cadrul activității schițate mai sus, C.I.C.U.N. a ajutat la formarea unor unități nucleare model, reprezentative pentru un anumit sector de activitate. Aceste unități au servit ca exemple de amenajare și organizare pentru toate instituțiile și întreprinderile din ramura de activitate respectivă care erau interesate în înființarea unor unități nucleare. Dintre acestea amintim unitățile de la : Întreprinderea de carotaj și perforare Ploiești, Institutul de endocrinologie București, Institutul medico-farmaceutic Cluj, Facultatea de chimie a Universității „Babeș-Bolyai” Cluj, Institutul de chimie „Petre Poni” Iași etc.

Unele dintre primele și principalele sarcini ale C.I.C.U.N. a fost elaborarea unor norme precise în legătură cu doza maximă permisă, modul de eliminare și depozitare a deșeurilor radioactive, nivelele de contaminare admise, transportul substanțelor radioactive etc. Problema protecției personalului unităților nucleare împotriva radiațiilor a constituit una din preocupările permanente ale C.I.C.U.N. În acest sens trebuie menționat faptul că toate unitățile nucleare care posedă surse de radiații intense (unitățile de defectoscopie γ , instalații Röntgen industriale etc.) sînt controlate din punct de vedere dozimetric de C.I.C.U.N., prin serviciul de dozimetrie fotografică.

Din cele de mai sus se vede că C.I.C.U.N. a adus o contribuție importantă în crearea unităților nucleare existente în țară. În continuare, acest sprijin urmează să se lărgască, pe măsură ce economia națională va ridica problema înființării unor noi unități de acest tip.

2. Formarea cadrelor de specialiști

Pregătirea specialiștilor se face în cadrul cursurilor pentru utilizarea izotopilor radioactivi (C.U.I.R.). Aceste cursuri sînt organizate de Comitetul pentru energia nucleară al Consiliului de Miniștri și de Institutul de fizică atomică. Ele sînt urmate de personalul cu studii superioare al instituțiilor și întreprinderilor interesate în lucrul cu izotopi radioactivi sau alte surse de radiații nucleare și au drept scop asimilarea cunoștințelor necesare unei corecte mînuiri și utilizări a acestor izotopi și surse de radiații.

Personalul didactic al C.U.I.R. face parte din Institutul de fizică atomică și din catedra de fizică atomică a Facultății de matematică și fizică a Universității din București. Durata cursurilor este de trei luni. În fiecare an promovează două serii : prima, în lunile martie, aprilie și mai, funcționează pentru

ingineri de diferite specialități și pentru chimiști, cea de-a doua în lunile octombrie, noiembrie și decembrie, pentru biologi și medici.

De la începerea funcționării acestor cursuri (mai 1956) și pînă în prezent, au absolvit cursurile 14 serii, cuprinzînd un număr de aproape 500 de persoane.

Repartiția cursanților pe profesii este reprezentată în tabela 19.2

Tabela 19. 2

Ingineri fizicieni	Medici biologi	Chimiști	Geologi	Farma-ciști	Agronomi	Diverse profesii	Total
161	56	101	10	11	34	108	481

În cadrul acestor cursuri se predau următoarele discipline :

1. Introducere în fizica nucleară.
2. Detectarea și măsurarea radiațiilor nucleare.
3. Utilizarea izotopilor radioactivi.
4. Manipularea izotopilor radioactivi.

Prelegerile sînt completate cu lucrări de laborator, pentru ca toți cursanții să-și însușească, în afară de cunoștințele teoretice, și deprinderile practice indispensabile pentru utilizarea izotopilor radioactivi și a aparaturii de tehnică nucleară. Lucrările practice se desfășoară în laboratoare special amenajate, în localul Universității din București.

După terminarea cursurilor, cursanții sînt obligați să întocmească o lucrare de absolvire la un înalt nivel științific. Tema acestei lucrări este aleasă în așa fel încît să trateze posibilitățile de aplicare a izotopilor radioactivi la locul de muncă al cursantului respectiv.

Iată cîteva teme abordate în 1962 de absolvenții C.U.I.R. în lucrările de absolvire :

- Gamadefectosopia betoanelor.
- Folosirea Cr^{51} la studiul repartiției cromului între oțel și zgură.
- Acțiunea radiațiilor nucleare asupra reacțiilor de oxidare.
- Dispozitiv pentru declanșarea automată a foarfecelor de tăiat furnir, folosind izotopi radioactivi.
- Cercetări privind nutriția minerală a plopului, cu ajutorul P^{32} .

Aplicînd în practică cunoștințele însușite la aceste cursuri, absolvenții contribuie la introducerea metodelor avansate de cercetare, bazate pe utilizarea tehnicii nucleare, în diferite ramuri ale economiei naționale și ocrotirii sănătății.

§ 20. PERSPECTIVELE TEHNICII NUCLEARE

LICINIU-IOAN CIPLEA, TIBERIU BRAUN și IULIAN LEBOVICI

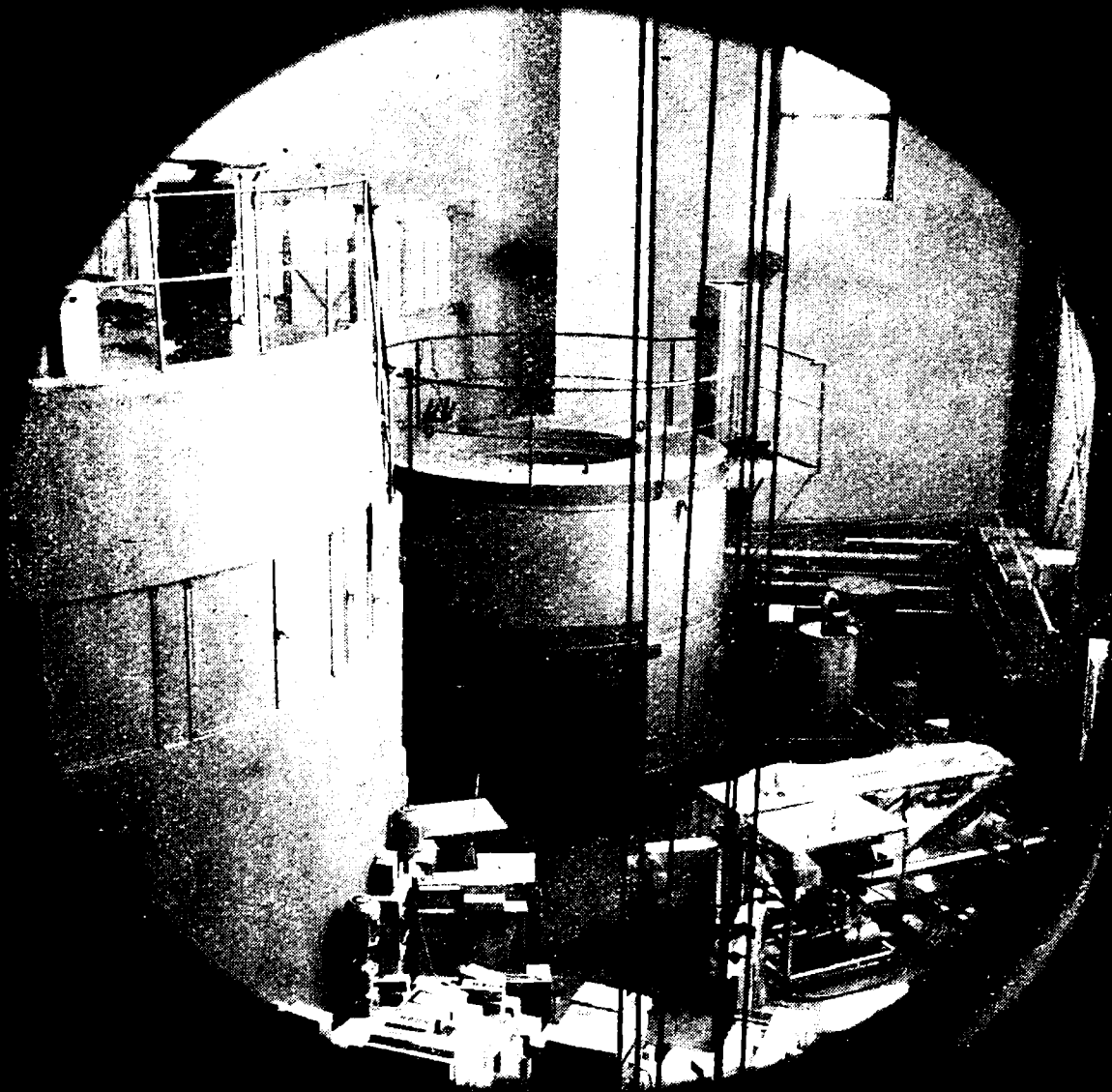
Tehnica nucleară, în germene în lucrările câtorva savanți acum 20 de ani, a cucerit azi laboratoarele de cercetări, industria, agricultura și medicina. Actualmente, cercetările și aplicațiile tehnicii nucleare avansează în ritm rapid, pe un front extrem de larg. Numai în anii 1958—1959 au apărut în Uniunea Sovietică circa 3 000 de lucrări dedicate aplicațiilor izotopilor radioactivi. De această problemă se ocupă numeroase congrese, conferințe și simpozioane, naționale și internaționale, convocate în ultimii ani.

Cum va evolua tehnica nucleară în următorii ani? Este desigur, greu de prevăzut care vor fi cele mai fructuoase idei din mulțimea de lucrări de specialitate care apar neconținut în întreaga lume. Ele se înscriu totuși pe câteva direcții principale, care vor fi discutate în cele ce urmează.

1. Tehnica nucleară, o ramură în plină dezvoltare

Cercetările științifice în domeniul fizicii nucleare au dat naștere unei noi ramuri a tehnicii, tehnica nucleară — care cuprinde aplicațiile fizicii nucleare în industrie (inclusiv energetică), agricultură și medicină.

Stadiul cercetărilor în diverse direcții și, corespunzător, și al aplicațiilor este inegal. Foarte avansate sînt în prezent lucrările în domeniul folosirii energiei rezultate la fisiunea nucleelor grele — ale uraniului și plutoniului. Aceste procese au găsit utilizare practică, pe baza lor construindu-se și funcționînd centrale atomo-electrice și instalații energetice. Prima centrală atomo-electrică din lume de tip industrial, cu o putere de 5 000 kW.



a fost pusă în funcțiune în Uniunea Sovietică cu opt ani în urmă, iar de atunci funcționează fără întreruperi în cele mai bune condiții. Între timp au intrat în funcțiune sau se află în prezent în construcție numeroase alte centrale atomo-electrice mai mari, de diferite tipuri, în U.R.S.S., Anglia, Franța, Statele Unite și în alte țări. Au fost elaborate noi tipuri de reactoare perfecționate. Un efort considerabil este făcut în numeroase țări pentru controlul fuziunii termonucleare a nucleelor ușoare.

Cu toate acestea, pînă în prezent costul energiei electrice de origine nucleară este ridicat, în primul rînd datorită investițiilor importante necesare. Acest dezavantaj este însă uneori compensat, în funcție de condițiile concrete ale regiunii respective. În programul P.C.U.S., adoptat la cel de al XXII-lea Congres, se prevede : „Pe măsură ce se va ieftini producția de energie atomică, se va desfășura construcția de centrale atomo-electrice, îndeosebi în regiunile în care celelalte surse de energie sînt insuficiente...”).

În țara noastră, care datorită ajutorului sovietic posedă încă din 1957 un reactor nuclear de cercetare, au fost întreprinse și lucrări de teoria și tehnica reactoarelor. Oamenii noștri de știință se pregătesc în felul acesta pentru a face față sarcinilor de perspectivă puse de partid, care prevăd că în următorii 15 ani, pentru acoperirea balanței de energie primară, se va trece la „folosirea energiei nucleare pe măsura creșterii eficacității economice a acesteia în comparație cu resursele clasice de energie”***).

Dar în afară de folosirea energiei nucleare în instalațiile energetice, o mare dezvoltare a căpătat în ultimii ani utilizarea izotopilor radioactivi și a radiațiilor nucleare, a cărei importanță economică este de pe acum considerabilă. Perspectivile acestor metode sînt însă cu mult mai mari. După cum arată V. S. Emelianov, vicepreședinte al Comitetului de Stat pentru folosirea energiei atomice de pe lîngă Consiliul de Miniștri al U.R.S.S., : „Practic, izotopii radioactivi sînt folosiți în prezent într-un grad mai mare sau mai mic, în toate ramurile economiei

*) *Congresul al XXII-lea al P.C.U.S.*, Ed. politică, București, 1962, p. 390.

**) Gh. Gheorghiu-Daj, *Raport la cel de al III-lea Congres al Partidului Muncitoresc Român*, Ed. politică, București, 1960, p. 83.

naționale... Totuși, utilizarea practică a metodelor cu izotopi este de fapt de-abia la început. Ea se va extinde continuu: noua forță îmblinzită a naturii trebuie utilizată într-o măsură completă. În legătură cu aceasta, trebuie observat că, în prezent, pentru scopuri practice se folosește numai a zecea parte din izotopii radioactivi și stabili cunoscuți*.

Importanța economică a folosirii izotopilor radioactivi în producție a fost subliniată și în documentele celui de al III-lea Congres al P.M.R. Realizările obținute în această direcție în țara noastră, ca urmare a colaborării dintre institutele de cercetări și întreprinderi, dintre care o parte sînt prezentate în paragrafele precedente, reprezintă numai primii pași pe calea utilizării depline a posibilităților oferite de tehnica nucleară. Fără îndoială că există încă numeroase posibilități de extindere a metodelor aplicate sau de introducere a unor metode noi.

2. Metode nucleare de cercetare științifică și tehnică

Izotopii radioactivi sînt, în primul rînd, un mijloc de investigație a unor fenomene greu accesibile, procese în care intervin cantități extrem de mici de substanță, care se petrec foarte lent sau foarte rapid, la adîncimi mari în subsol sau în meteoriții care cad pe pămînt din spațiul cosmic. Deoarece radioactivitatea nu este influențată de temperatură sau de presiune, pot fi urmărite procese care se petrec la temperatura oțelului topit sau, dimpotrivă, la cea a aerului lichid, la presiuni ridicate sau în vid înaintat.

Sensibilitatea mare a metodelor de detectare a radiațiilor nucleare face ca trasorii radioactivi să poată fi urmăriți chiar în concentrații extrem de mici; de exemplu, un izotop radioactiv al fosforului, P^{32} , poate fi încă detectat chiar dacă diluția sa în fosforul obișnuit este de 1 la 1 miliard.

Sutele de izotopi radioactivi cunoscuți prezintă o considerabilă varietate de radiații, diferite ca natură, energie și durată de viață, ceea ce permite un mare număr de căi și posibilități de utilizare, practic nelimitate. Pe drept cuvînt, revoluția adusă în știință și tehnică de utilizarea metodelor nucleare a fost comparată cu cea care a urmat inventării microscopului: în fața cercetătorilor se deschide o lume nouă.

Astfel, de exemplu, existența unui timp de înjumătățire caracteristic fiecărei specii de nucleu radioactiv stă la baza

*) V. S. Emelianov, *Atomnaia energiiu*, 11, 4, 301—312. (1961).

utilizării radioactivității ca un calendar sau cronometru natural. Analiza abundenței și repartiției izotopilor radioactivi naturali în anumite amestecuri furnizează informații asupra vârstei acestora. Determinarea proporției relative în care se găsesc, în anumite probe de rocă, diferite elemente legate genetic între ele, adică derivând unele din altele prin dezintegrări radioactive, conduce direct la aflarea vârstei acelor roci. Această metodă, arătată și în § 14, are nu numai o valoare științifică fundamentală pentru geologie, dar și una practică, pentru prospecțiunile zăcămintelor de minerale utile.

Pentru determinarea vârstei resturilor fosile, aplicație importantă în arheologie, se folosește măsurarea abundenței relative a carbonului radioactiv C^{14} . Se știe că, în compoziția izotopică a carbonului, pe lângă C^{12} se găsește și C^{14} , format prin acțiunea radiațiilor cosmice asupra azotului din aer și ajuns în organisme vii prin asimilare. În momentul morții organismului respectiv și deci al încetării asimilării, proporția de C^{14} începe să scadă prin dezintegrare radioactivă. O determinare radiometrică a proporției de C^{14} în proba cercetată (vezi și § 6) conduce la determinarea vârstei acesteia. Aceeași metodă se utilizează la rezolvarea unor probleme biologice (vârsta unor copaci bătrâni), în speologie etc.

Pentru perioade mai recente, de ordinul anilor sau zecilor de ani, se poate recurge la ajutorul datării cu tritium, izotopul radioactiv al hidrogenului (vezi § 6). De exemplu, după proporția de apă tritiată se poate determina vârsta vinului sau se pot rezolva probleme referitoare la originea și circulația apelor subterane, a apelor din adâncul mărilor sau oceanelor, a unor substanțe organice etc.

Utilizarea trasorilor radioactivi în studiul proceselor vieții a permis de pe acum obținerea de numeroase date de mare importanță teoretică și practică, de la studiul fotosintezei și pînă la cel al unor procese importante în agrotehnică, zootehnie, medicină umană și medicină veterinară.

Astfel, în agrotehnică, s-a deschis o nouă direcție de cercetare cu rezultate de mare importanță economică, a circulației în soluri și plante, a asimilării îngrășămintelor, a nutriției extraradiculare, a eficacității herbicidelor, fungicidelor și insecticidelor etc. Aceste rezultate vor sta la baza definirii condițiilor raționale și economice ale utilizării acestor substanțe, aducînd o contribuție de preț la dezvoltarea agrotehnicii pe baze științifice și la mărirea producției agricole.

În industrie, un loc de frunte ca beneficiar al metodelor tehnicii nucleare îl ocupă ramura siderurgiei, metalurgiei și

construcțiilor de mașini. Cu ajutorul izotopilor radioactivi, s-au îmbogățit și precizat cunoștințele asupra practic tuturor proceselor tehnologice importante, începînd de la producerea metalelor și aliajelor în cuptoare, furnale sau cubilouri și pînă la uzura pieselor de mașini în timpul funcționării. Ca exemplificare, vom cita cîteva din direcțiile de cercetare cu ajutorul izotopilor radioactivi stabilite de consiliul tehnic al Ministerului metalurgiei neferoase al U.R.S.S.*)

În pirometalurgie la :

- stabilirea duratei de răminere a materialelor în cuptorul cu cuvă la topirea concentratelor cu plumb;
- stabilirea duratei de răminere a materialului în cuptorul rotativ la obținerea aluminiului din concentrate;
- studierea procesului de rafinare a plumbului;
- studierea mecanismului de sinterizare a șarjelor cu conținut de alumină;
- studierea deformării căptușelii refractare a cuptoarelor cu flăcări;
- determinarea activității termodinamice a diferiților componenți ai topiturilor prin măsurarea tensiunii de vapori;
- studiul cineticii proceselor de reducere și de disociere cu formarea fazei gazoase (reducerea oxizilor de zinc, plumb, fier și cupru);
- studiul cineticii oxidării impurităților metalice în procesul de rafinare a cuprului brut, a plumbului și a altor metale;
- studiul proceselor de oxidare a sulfurilor și carburilor metalice etc.

În hidrometalurgie și electroliză la :

- studierea comportării impurităților de antimoniu, germaniu și cobalt la electroliza zincului;
- stabilirea mecanismului pierderii metalelor prețioase la electroliza cuprului;
- studierea mecanismului depunerii arsenului și antimonului la rafinarea soluțiilor sărurilor de zinc;
- studierea extragerii aurului din cozile de la cianurare, prin folosirea rășinilor schimbătoare de ioni;
- stabilirea cauzelor scăderii randamentului la electroliza topiturilor de magneziu;
- determinarea cantităților de metal și a randamentului de curent la electroliza aluminiului;

*) *Tsvetnie metalli*, 29, 3, 83—85 (1956); 9, 28—34 (1956); 30, 4, 37, 44 (1957).

— studierea procedeelor de obținere a metalelor pe cale electrolitică;

— studierea comportării antimonului la rafinarea electrolitică a cuprului etc.

Numai simpla enunțare a acestor probleme credem că este grăitoare pentru ilustrarea posibilităților și perspectivelor deschise de utilizarea izotopilor radioactivi într-o singură ramură industrială.

În institutele de cercetări științifice din țara noastră, metodele tehnicii nucleare se bucură de atenția cuvenită. În afară de Institutul de fizică atomică, numeroase institute de cercetări chimice, metalurgice, de construcții, de mecanică aplicată, geologie, hidrotehnică, agronomie, biologie și diferite specialități medicale au organizat unități nucleare și au trimis spre specializare cadre la cursurile pentru utilizarea izotopilor radioactivi. Rezultatele obținute au fost publicate sau comunicate cu ocazia conferințelor și congreselor științifice din țară și de peste hotare. Ele reprezintă o contribuție atât la îmbogățirea cunoștințelor din disciplinele respective, cât și la îndeplinirea sarcinilor șesenalului.

3. Interacțiunea radiațiilor nucleare cu materialele

Radiațiile nucleare și materialele interacționează modificându-și reciproc proprietățile. Trecând prin diferite materiale, datorită compoziției și stării acestora, radiațiile își pot schimba intensitatea, energia, direcția de propagare etc. În urma acestui fapt se oferă posibilitatea de a se măsura, de exemplu, densitatea materialelor respective, cantitatea lor, viteza de transport, grosimea, umiditatea, suprafața, debitul etc. Prin procedee adecvate se mai pot măsura compoziția chimică elementală, cantitatea de impurități etc.

Astfel, de pildă, în industria minieră jojele de densitate pe bază de radiații nucleare pot controla scurgerea minereului pe banda rulantă sau pe jgheaburi, operațiile de sfărîmare și circuitele de clasare a minereului, cantitatea de solid și lichid din șlamul spălat și cantitatea de praf din atmosferă. În continuare aceste joje se pot folosi și în procesul de prelucrare a minereurilor în controlul de flotație etc.

Umiditatea solidelor poate fi măsurată prin procedeul de absorbție a radiațiilor gama sau de încetinire a neutronilor. Astfel se poate determina de exemplu umiditatea solului.

Absorbția radițiilor gama a permis determinarea densității gheții și a zăpezii în cursul expedițiilor polare.

Determinările de grosime sînt utile în special în cazul fabricării în serie și al controlului de calitate, între altele în industria hîrtiei a cartonului sau a materialelor plastice. Măsurarea vitezei de scurgere prin conducte a dat rezultate importante în studii de canalizare, hidrologie, industria petrolului etc.

Analiza substanțelor organice, în special prin împrăștierea radiației beta, permite cunoașterea exactă a compoziției unui produs fabricat iar analiza prin radioactivare și spectroscopie gama duce la determinarea unor urme de elemente cu concentrația de ordinul a 10^{-12} g, limită care nu poate fi atinsă prin nici un alt procedeu analitic. Asemenea determinări de urme de elemente își găsesc aplicații importante într-o serie întreagă de domenii, ca de exemplu metalurgie, biochimie, criminalistică etc.

În urma interacțiunii cu radiațiile nucleare, materialele iradiate își schimbă proprietățile. Pe acest principiu se bazează o serie întreagă de aplicații ale radiațiilor nucleare.

De exemplu radiațiile nucleare ionizează aerul în preajma sursei care emite aceste radiații. Pe această proprietate se bazează înlăturarea electricității statice într-o serie de ramuri industriale. Materialele plastice, de exemplu, produc prin frecare o mare cantitate de electricitate statică, încărcînd suprafața. Acest cîmp electrostatic atrage și reține pe suprafață particule de praf și aerosoli care împiedică ulterior vopsirea omogenă.

Dar aceste fenomene nu se întîlnesc numai în industria materialelor plastice ci ele sînt la fel de frecvente și în industria textilă, industria hîrtiei, industria grafică, industria optică etc.

Utilizarea surselor de radiații pentru declanșarea unor reacții chimice promise de asemenea aplicații interesante. S-au pus la punct procedee de producție a cauciucului silicon și a altor sorturi de cauciuc sintetic prin iradiere cu electroni. Hidrazina, o materie primă din cele mai importante, poate fi produsă cu un randament promițător prin iradierea amoniacului în reactorul nuclear.

Mai mult, s-a propus construirea unor reactoare anume pentru scopuri de sinteze chimice. Un proiect de asemenea reactor chemo-nuclear a fost propus pentru fabricarea acidului azotic prin iradierea amestecurilor de oxigen și azot. Polimerizarea sub radiații precum și reticularea radioactivă a polimerilor fabricați formează deja un procedeu rentabil din punct de vedere industrial. Același lucru poate fi spus și despre obți-

nerea hexaclorciclohexanului prin reacția radiochimică dintre benzen și clor. La fel de promițător pare și procedeul de vulcanizare a cauciucului prin iradiere cu radiații gama. Un capitol aparte al acestui domeniu îl formează iradierea alimentelor cu radiații nucleare în scopul conservării și al sterilizării acestora. Astfel, de exemplu, iradierea cartofilor cu o doză potrivită de radiații gama împiedică încolțirea timpurie a acestora.

Sterilizarea radioactivă își găsește utilizare în industria farmaceutică precum și în medicină la sterilizarea instrumentelor chirurgicale.

Toate aceste aplicații fac ca problema utilizării industriale a surselor de radiații nucleare să fie deosebit de atrăgătoare prin multiplele posibilități accesibile și rentabilitatea rezultatelor.

Un loc important îl ocupă influența radiațiilor asupra organismelor vii. S-a dovedit că iradierea cu doze relativ mici de radiații produce în anumite cazuri o stimulare a creșterii unor plante agricole. Mutațiile provocate de radiații măresc considerabil variabilitatea speciilor, ușurând selecția unor varietăți cu caracteristici superioare.

În Uniunea Sovietică, iradierea semințelor este socotită un mijloc puternic de sporire a producției agricole; pentru aceasta se folosesc surse puternice dar și surse portabile, destinate a fi folosite direct pe teren.

În doze mari, radiațiile provoacă uciderea celulelor vii și în primul rând a celor tinere. Pe aceasta se bazează sterilizarea prin iradiere, aplicată cu mult succes în combaterea unor dăunători ai agriculturii. În această direcție s-a reușit eradicarea completă a unor specii de insecte dăunătoare din regiuni întregi.

Se știe că sursele puternice de radiații nucleare sînt utilizate pentru distrugerea focarelor canceroase din organism. Datorită folosirii în acest scop a surselor de radiații gama cu cobalt radioactiv, s-a încetățenit în limbajul medical termenul de cobaltoterapie.

În afara cobaltului se utilizează, în cazuri speciale, aplicatori de P^{32} , ace sau mărgelile de Au^{198} etc. Producerea acestor surse la reactorul nostru (vezi § 5) face posibilă tratarea unui număr mai mare de pacienți cu mijloace radioterapeutice.

Ca surse puternice de radiații nucleare sînt tot mai mult folosite acceleratoarele de particule (electrostatice, betatroane, acceleratoare liniare etc.). Inventate pentru cercetări fundamentale în fizica nucleară, acceleratoarele de particule s-au introdus astăzi în numeroase domenii industriale (§ 9) și în

radioterapia cancerului, cu rezultate uneori foarte încurajatoare.

Este încă un exemplu de multiplele căi prin care omenirea beneficiază de pe urma tehnicii nucleare.

4. Tehnica nucleară și industria modernă

În ultimă instanță, valoarea și însemnătatea practică a unor metode tehnice noi poate fi apreciată numai după eficacitatea lor economică, după consecințele lor asupra productivității muncii omenești. În ceea ce privește tehnica nucleară și în special metodele bazate pe folosirea izotopilor radioactivi, experiența acumulată în întreaga lume a demonstrat înalta lor rentabilitate. În Uniunea Sovietică, înmulțirea și generalizarea aplicațiilor radioactivității este o sarcină care se bucură de cea mai mare atenție.

Institutul de economie al Academiei de Științe a U.R.S.S. se ocupă cu studierea eficienței economice a acestor metode. Calculele au arătat că economiile realizate cu ajutorul izotopilor radioactivi de industria sovietică s-au ridicat în 1958 la circa 1,8 miliarde ruble.

Sarcini de seamă în ceea ce privește introducerea tehnicii noi revin și oamenilor muncii din industria țării noastre. După cum a arătat tov. Gheorghe Gheorghiu-Dej în raportul prezentat la cel de al III-lea Congres al P.M.R. :

„Nivelul tehnicii și eficacitatea economică a acesteia trebuie să constituie criterii principale în elaborarea planului, în soluționarea diferitelor probleme legate de dezvoltarea economiei naționale... Este necesar ca la alegerea soluțiilor tehnico-economice să se țină seama nu numai de realizările actuale, ci și de tendințele cele mai noi de dezvoltare a științei și tehnicii” *).

Eficacitatea economică ridicată a metodelor bazate pe utilizarea izotopilor radioactivi și a radiațiilor nucleare se datorește mării productivității instalațiilor prin folosirea maximală a parametrilor lor de producție și prin evitarea unor greșeli de manevră și avarii, îmbunătățirii simțitoare a calității și a uniformității producției, reducerii consumului de materii prime și reducerii sau eliminării rebuturilor. Ca urmare se reduce prețul de cost și crește rentabilitatea producției.

*) Gh. Gheorghiu-Dej, *Raport la cel de al III-lea Congres al Partidului Muncitoresc Român*, Ed. politică, București, 1960, p. 66—67.

Metodele radiometrice se îmbină strîns cu automatizarea parțială sau integrală a producției și, în primul rînd, cu automatizarea controlului tehnic.

Cheltuielile de investiții necesitate de introducerea aparaturii radiometrice sînt în general reduse și se amortizează prin economiile realizate într-un timp scurt. Costul aparaturii radiometrice poate fi și mai mult redus dacă se elaborează aparate și scheme de reglare tipizate, care pot fi folosite fără (sau cu mici) modificări la diferite procese industriale.

Analiza eficacității economice este necesară înainte de introducerea în producție sau generalizarea oricărei metode nucleare.

Aplicarea acestora este recomandabilă numai dacă alte metode „clasice” nu sînt aplicabile sau au o eficacitate economică inferioară.

În condițiile actuale din țara noastră, eficiența economică maximă este dată de următoarele moduri de folosire a radiațiilor nucleare în industrie :

a) diagrapia radioactivă și folosirea izotopilor radioactivi în industria petrolieră extractivă și prelucrătoare, precum și în industria chimică.

b) gamagrafia ;

c) folosirea aparatelor și metodelor radioactive de măsură și control (grosimi, densități, debite, nivele, umidități etc.).

Dintre acestea, cea mai largă răspîndire au căpătat-o la noi aplicațiile în industria petrolului, cu rezultate economice importante.

În prezent, este necesară extinderea diagrapiei radioactive la explorarea altor zăcămintele decît cele petrolifere, în special de cărbuni și gaze.

Un progres simțitor va fi obținut prin introducerea pe scară largă a aparaturii elaborate sau în curs de elaborare, ca electrode termostabile pentru diagrapie la adîncimi mari, electrode de scintilație și aparatură gama-spectrometrică, ca și prin răspîndirea metodei diagrapiei prin activare. De asemenea, metodele nucleare capătă o tot mai largă utilizare în industria petrolieră prelucrătoare și în petrochimie.

Gamagrafia constituie o metodă deosebit de eficientă de control al calității în industria construcțiilor de mașini, în special pentru piesele turnate sau pentru suduri. Controlul prin gamagrafie trebuie de asemenea extins și în construcții, la controlul armăturilor din betoane, și în industria materialelor plastice.

Dotarea pe scară largă a întreprinderilor din țara noastră cu defectoscoape construite în țară, lărgirea sortimentului de surse radioactive pentru gamagrafie produse la reactorul I.F.A. și perfecționarea metodicii de lucru în sensul măririi sensibilității de detectare a defectelor vor duce la o mai completă folosire a posibilităților acestei metode de control și la îmbunătățirea calității producției.

Spre exemplificare, vom arăta că după un calcul efectuat în U.R.S.S., industria sovietică va realiza prin introducerea completă a gamagrafiei la controlul îmbinărilor sudate și al pieselor turnate, economii anuale de 831,7 milioane ruble vechi, în primul rând datorită costului mai redus al controlului gamagrafic față de cel röntgenografic și datorită identificării rebuturilor și excluderii prelucrărilor mecanice la piesele cu defecte.

La aceste economii directe se adaugă cele indirecte, ca prelungirea duratei de exploatare a construcțiilor metalice, reducerea pierderilor de gaze prin conducte etc., care pot întrece, în multe cazuri, economiile directe.

Altă aplicație importantă a radiațiilor nucleare în industrie o constituie măsurarea și controlul automat al grosimii, densității, umidității, nivelului, debitului, presiunii și al altor parametri care condiționează desfășurarea proceselor tehnologice. Introducerea pe scară largă a unor asemenea aparate automate, mai ales la agregatele mari sau cu producție continuă, ca furnale, laminoare, instalații chimice, poate avea o eficacitate economică excepțional de ridicată. Pe măsura lărgirii sortimentului și producției aparaturii radiometrice de control, ar putea beneficia de această nouă tehnică majoritatea întreprinderilor industriale.

Un studiu întreprins în Uniunea Sovietică a demonstrat că numărul întreprinderilor în care aplicarea acestor metode este eficace se ridică la 70% din totalul întreprinderilor industriale.

Numai prin instalarea unor aparate pentru eliminarea sarcinilor electrostatice în industria textilă, a hîrtiei, a maselor plastice, a cablurilor etc., efectul economic antecalculat se ridică la 2 miliarde de ruble vechi anual.

Realizarea practică a posibilităților pe care le oferă metodele tehnicii nucleare cere însă un efort deosebit de colaborare între institutele de cercetări și întreprinderile industriale, materializată prin elaborarea de noi tipuri de aparate la cel mai înalt nivel tehnic și mai ales prin multiplicarea și generalizarea pe scara întregii industrii a acelor aparate și metode puse la punct în stadiul de prototip sau de serie mică.

Cadrele de conducere tehnico-economică din industrie trebuie să cunoască avantajele și specificul tehnicii nucleare și posibilitățile practic inepuizabile oferite de aceasta în direcția sporirii productivității muncii, creșterii calității producției și întăririi economico-financiare a întreprinderilor.

Dezvoltarea aplicațiilor pașnice ale metodelor elaborate pe baza descoperirilor fizicii nucleare va conduce în felul acesta la progresul tehnic al industriei noastre și la accelerarea desăvârșirii construirii bazei materiale a socialismului în patria noastră.

APARATE ELABORATE LA INSTITUTUL DE FIZICĂ ATOMICĂ ȘI SUSCEPTIBILE DE A FI MULTIPLICATE

În afară de aparatele realizate la Institutul de fizică atomică care au fost descrise în cuprinsul cărții, în laboratoarele Institutului au mai fost proiectate și realizate, sub formă de prototip, o serie de aparate și instalații care pot prezenta interes pentru diferite aplicații în producție. Ele sînt cuprinse în lista de mai jos, pentru a fi aduse astfel la cunoștința celor interesați. La cerere, Institutul va furniza asupra acestor aparate informații suplimentare de detaliu, organizînd eventual un schimb de experiență cu specialiștii interesați.

I. APARATE DE MĂSURĂ CU AJUTORUL SURSELOR DE RADIAȚII NUCLEARE

1. *Nivelmetru* „tot sau nimic” cu două nivele, maxim și minim :

- sursă Co^{60} , pe plutitor ;
- două detectoare „Gamadet” ;
- semnalizare optică.

2. *Nivelmetru* „tot sau nimic” cu două nivele : maxim și minim, cu instalație anexă de automatizare a evacuării rezervoarelor :

- două surse de Co^{60} ;
- două detectoare „Gamadet” ;
- semnalizare optică ;
- întrerupătoare automate D.I.T.A.

3. *Nivelmetru* cu căutare manuală pentru rezervoare cilindrice orizontale :

- sursă Co^{60} ;
- radiometru „Cuantă” tip D.P. ;

- semnalizare optică și acustică;
 - precizia de măsurare $\pm 1,5$ mm.
4. *Nivelmetru* cu căutare manuală pentru rezervoare cilindrice verticale :
- sursă Co^{60} ;
 - detector „Gamadet”;
 - semnalizare optică și acustică;
 - precizia de măsurare ± 1 cm.
5. *Nivelmetru* urmăritor pentru rezervoare cilindrice orizontale :
- cursa sistemului sursă-contor 0,900 m;
 - sursă Co^{60} ;
 - viteza 0,2 m/min.;
 - precizia de măsurare $\pm 1,5$ mm.
6. *Nivelmetru* „tot sau nimic” pentru bazine de mare capacitate, cu două nivele maxim și minim :
- două surse de Co^{60} ;
 - două detectoare „Gamadet”;
 - semnalizare optică.
7. *Nivelmetru* „tot sau nimic” pentru cisternele de cale ferată, cu indicarea nivelului maxim :
- sursă Co^{60} ;
 - detector „Gamadet”;
 - semnalizare optică.
8. *Umidimetru* de suprafață și adâncime :
- sursă de neutroni Po-Be sau Ra-Be, cu fluxuri cuprinse între $10^4 \dots 10^6$ n/s;
 - detector de neutroni termici cu BF_3 ;
 - adaptor de neutroni și numărător portabil;
 - domeniu de măsurare 0 ... 30% umiditate;
 - imprecizia sub 1% pentru $t_{\text{măsurare}} = 10$ min.;
 - etalonarea se face pentru fiecare tip de material.
9. *Densimetru* de suprafață pentru teren :
- sursă Cs^{137} ;
 - radiometru portabil tip A.V.;
 - domeniu de măsurare 1,1 ... 2,5 g/cm³;
 - imprecizia 2% pentru constanta de timp a radiometrului de 5 s;
 - etalonarea se face pentru fiecare tip de material.
10. *Densimetru* de adâncime pentru teren :
- sursă Cs^{137} ;
 - radiometru portabil tip A.V.;
 - domeniu de măsurare 1,1 ... 2,5 g/cm³;

- imprecizia 1% pentru constanta de timp a radiometrului de 5 s;
- etalonarea se face pentru fiecare tip de material.
- 11. *Nivelmetru* cu reglare automată a nivelului, cu dispozitive de protecție împotriva avariilor :
 - sursă Co^{60} ;
 - limitele de reglare automată a nivelului $\pm 0,5$ mm;
 - gabarit $230 \times 450 \times 550$ mm, greutate 15 kg;
 - consum de putere de la rețea 75 VA.
- 12. *Aparat pentru măsurarea grosimilor și densităților* cu contoare cu halogeni :
 - precizia de măsurare 1%;
 - limitele de reglare automată a grosimii sau densității de la 2% ... 10%;
 - gabarit $400 \times 550 \times 500$, greutate 30 kg;
 - consum de putere de la rețea 90 VA.
- 13. *Releu β - γ* cu tiratron cu catodă rece :
 - prag de anclanșare : 50 pulsuri/s;
 - histerezis circa 30%;
 - gabarit $150 \times 75 \times 50$ mm, greutate 0,8 kg;
 - consum de putere de la rețea 2 VA.
- 14. *Indicator de surse radioactive* pentru controlul uzurii furnalelor :
 - domeniu de măsurare 0 ... 1 000 pulsuri/min;
 - numărul canalelor 9 sau 18;
 - gabarit $250 \times 380 \times 300$, greutate 8 kg;
 - consum de putere de la rețea 30 VA.
- 15. *Avertizor de radiații* pentru controlul radioactivității fontei la gura furnalului :
 - domeniu de măsurare 0 ... 1 000 pulsuri/min;
 - pragul releului lent 250 pulsuri/min;
 - pragul releului rapid 5 pulsuri/0,1 s;
 - gabarit $250 \times 380 \times 300$ mm, greutate 8 kg;
 - consum de putere de la rețea 40 VA.
- 16. *Aparat pentru măsurarea continuă a radioactivității beta a atmosferei* :
 - sensibilitate maximă 10^{-18} c/cm³;
 - constante de timp 0,1 ; 0,5 ; 1 ; 2 min;
 - game de lucru 0,1 ; 0,3 ; 1 ; 3 ; 10 ; 30 mii pulsuri/min;
 - sursă de înaltă tensiune stabilizată 0 ... 2 000 V;
 - posibilitate de verificare a etalonării.
- 17. *Camere de ionizare* cu argon sub presiune :
 - volumul 2,5 l;
 - presiunea argonului 20 atm;

- tensiunea de alimentare 1 000 V ;
 - sensibilitate $1,3 \cdot 10^{-8}$ A/Röntgen/h ;
18. *Aparat pentru măsurarea grosimilor și densităților cu cameră de ionizare și electromotoare cu condensator vibrant.*
- complet tranzistorizat ;
 - sensibilitate $1^{\circ}/_{00}$;
 - cu înregistrator.

II. APARATE ELECTRONICE

1. *Instalație de televiziune în circuit închis (pe cablu), compusă dintr-o cameră de luat vederi și un receptor video, interconectate printr-un cablu de 40 m lungime :*
- camera de luat vederi este construită cu un tub videocaptor de tip superorticon.
 - rezoluția : 300 linii cu baleiaj progresiv ;
600 linii cu baleiaj întretesut.
 - frecvența cadrelor 50 Hz ;
 - formatul imaginii pe receptor 80×240 mm.
 - Receptorul este montat într-un pupitru și este prevăzut cu un aparat pentru fotografierea imaginii comandat sincron cu cadrele.
 - camera poate lucra în cîmpuri de radiație.
2. *Dispozitiv electronic pentru încercarea în impulsuri a feritelor folosite la construirea „memoriei” electronice :*
- generează trenuri de impulsuri conform unui program prestabilit ;
 - curentul maxim în impuls 1,5 A.
3. *Dispozitiv electronic pentru încercarea și sortarea inelelor magnetice de comutare :*
- generează trenuri de impulsuri conform unui program prestabilit ;
 - curentul maxim în impuls 7 A.
4. *Generator de impulsuri dreptunghiulare :*
- durată $1 \dots 10\,000$ μ s ;
 - frecvența de repetiție $0 \dots 20$ kHz ;
 - amplitudine $0 \dots \pm 30$ V.
5. *Ferometru pentru determinarea caracteristicilor magnetice ale feritelor, cu prezentarea curbelor pe tub catodic cu două spoturi :*
- frecvențe de lucru : 50 Hz ; 500 Hz ; 5 000 Hz ;
 - curent de încercare maxim 1,3 A ;
 - cîmp de excitație maxim 600 Oe.

- precizia determinărilor 5% pe tubul catodic și
2% pe instrumentele de măsurat.
- 6. *Fotometru* cu fotomultiplicator, pentru măsurarea grosimii straturilor de metal sau dielectric depuse prin evaporare pe un suport transparent sau opac :
 - transmisia minimă măsurabilă 1⁰/₀₀;
 - precizia de măsurare a transmisiei 1%;
 - liniaritate 1%.
- 7. *Tranzistormetru* pentru încercarea tranzistoarelor de putere mică și medie (25 ... 200 mW) :
 - parametri mășurați B și I_{c0} ;
 - măsurarea se face în curent continuu.
- 8. *Potențiometru înregistrator* complet tranzistorizat :
 - tensiune măsurabilă 500 mV;
 - precizie 0,5 %.
- 9. *Electrometru cu condensator vibrant* complet tranzistorizat :
 - game de măsurare a tensiunii 1/10/100/300/1 000 mV ;
 - precizia de măsurare 2,5% ;
 - deriva de nul mai mică decât 0,2 mV/24 ore ;
 - impedanța de intrare mai mare decât 10¹⁵ Ω.
- 10. *Electrometru electronic* :
 - sensibilitate 2.10⁻¹³ A/div sau 2 mV/div ;
 - deriva de nul mai mică decât 1 mV/oră ;
 - impedanța de intrare mai mare decât 10¹⁰ Ω.
- 11. *Potențiostat* tranzistorizat pentru lucrări de radiochimie. Furnizează o tensiune stabilizată :
 - $U = 0 \dots 10$ V ;
 - $I = 0 \dots 10$ mA ;
 - Stabilitate ± 1 mV.
- 12. *Redresor stabilizat* de laborator :
 - tensiune stabilizată 150 ... 300 V ;
consum 0 ... 100 mA ;
 - stabilitate $\pm 0,5\%$;
 - tensiune nestabilizată 0 ... 100 V ;
consum 0 ... 1 mA.
- 13. *Redresor stabilizat* tranzistorizat :
 - tensiune stabilizată 12 V ;
consum 0 ... 2 A ;
 - stabilitate (la variațiile rețelei de la -20% la 10%) :
 ± 40 mV ;
 - rezistența internă 0,03 Ω ;
 - zgomot la ieșire mai mic decât 30 mV.

14. *Sursă de curent constant* pentru titrări coulombmetrice :
 - curent 0,150 ... 150 mA ;
 - tensiune maximă 100 V ;
 - stabilitate 10^{-4} .
15. *Sursă stabilizată pentru electroliză, tranzistorizată* :
 - curent 0 ... 100 mA ;
 - tensiune 0 ... 10 V ;
 - stabilitate 10^{-3}
16. *Magnetometru* cu absorbție nucleară, destinat măsurării câmpului magnetic :
 - domeniul de măsurare 2,8 ... 10 kG în trei game ;
 - precizia circa 10^{-5} .
17. *Stabilizator de câmp magnetic* cu rezonanță magnetică nucleară :
 - domeniul de stabilizare 2,5 ... 8,250 kG ;
 - stabilitate 10^{-5} .
18. *Oscilator* cu clistron de bandă largă :
 - gama 8 ... 11 cm (2 700 ... 3 700 MHz) ;
 - puterea 20 mW.
19. *Sursă pentru alimentarea clistroanelor* :
 - cu generator de modulare ;
 - două ieșiri : 200—400 V (100 mA) ;
10—450 V (1 mA) ;
 - modularea cu impulsuri dreptunghiulare.
20. *Generator de tensiune liniar variabilă* :
 - amplitudine 0 ... 40 V ;
 - timp de creștere 3 s ... 900 s, în 10 game ;
 - distorsiuni de neliniaritate sub 1%.

III. INSTALAȚII PENTRU LUCRUL CU SUBSTANȚE RADIOACTIVE

1. *Boxă cu mânuși* :
 - dimensiuni 990 × 610 × 625 mm ;
 - grosimea pereților de plexiglas 10 mm.
2. *Mese de radiochimie* :
 - simple, dimensiuni 700 × 1400 × 900 mm ;
 - duble, „ 740 × 2800 × 900 mm.
3. *Manipulatoare* diferite în 11 tipuri :
 - diametrul tijei 16 mm.
 - lungimea tijei 220, 400, 430, 530, 550, 580, 600, 1 200 mm.

4. *Telepipetă :*
 - diametrul tijei 16 mm ;
 - lungimea tijei 750 mm ;
5. *Cărămizi de plumb* pentru construirea ecranelor de protecție :
 - dimensiunea 50 × 85 × 170 mm ;
 - greutate 7,5 kg.
6. *Container pentru deșeuri radioactive solide* capacitatea 10 l.
7. *Container pentru deșeuri radioactive lichide :*
 - dimensiunile mesei 1 200 × 600 × 900 ;
 - capacitatea 10 l.
8. *Containere pentru surse gama-active* de diferite tipuri.
9. *Containere pentru surse de neutroni :*
 - tip 33-0 pentru surse cu fluxul maxim 2,4 .10⁶n/s ;
 - tip 45-0 „ „ „ „ „ 11,1 .10⁶n/s ;
 - tip 45-7 „ „ „ „ „ 5,5 .10⁶n/s.

S U M A R

	<u>Pag.</u>
<i>Prefață</i> , de acad. HORIA HULUBEI	5
§ 1. FLORIN CIORĂSCU, Fizica și industria	9
§ 2. PETRE ȘANDRU, Radioactivitatea aplicată în industria din R.P.R	15
§ 3. OLIMPIU CONSTANTINESCU, Folosirea izotopilor radioactivi în agri- cultură și silvicultură	41
§ 4. PETRE FLORICAN și GHEORGHE BRATU, Gamagrafia	51
§ 5. CONSTANTIN CHIOTAN, Obținerea izotopilor radioactivi	61
§ 6. ALEXANDRU T. BALABAN, CONSTANTA MĂNTESCU și OLIMPIU CON- STANTINESCU, Sinteza și aplicațiile compușilor organici marcați	73
§ 7. MINA DRĂGHICESCU, Producerea și caracteristicile detectoarelor de ra- diații nucleare	85
§ 8. MARTIN BIRNBAUM, Aparate electronice pentru detectarea și mă- surarea radiațiilor nucleare	99
§ 9. FLORIN CIORĂSCU și CONSTANTIN ILIESCU, Folosirea betatronului în defectoscopia industrială	121
§ 10. ADRIAN VALERIU și ALEXANDRU T. BALABAN, Două metode radio- spectroscopice cu largi aplicații: rezonanța magnetică nu- cleară (R.M.N.) și rezonanța paramagnetică electronică (R.P.E.)	131
§ 11. VICTOR TOMA, Mașinile electronice de calcul și aplicațiile lor în economia națională	145
§ 12. GEORGE COMSA, Tehnica vidului și industria	159
§ 13. ILIE MIRION, Din posibilitățile de utilizare a microscopului elec- tronic	169
§ 14. NICOLAE MARTALOGU, Din aplicațiile practice ale spectrometriei de masă	175
§ 15. SILVIA IONESCU, Metode radiochimice de analiză	181
§ 16. MIRCEA CRISTU și CARMEN SABAU, Analiza prin radioactivare și spectrometrie gama	193
	251

	<u>Pag.</u>
§ 17. MARIETA NICOLAE, Autoradiografia cu emulsii nucleare	201
§ 18. DOREL BALLY, Din aplicațiile practice ale analizei cu radiații X . .	217
§ 19. MIRCEA ONCESCU și EMILIAN GĂSPAR, Aportul Institutului de fizică atomică la îndrumarea unităților nucleare și la pregătirea cadrelor de specialiști	223
§ 20. LICINIU-IOAN CIPLEA, TIBERIU BRAUN și IULIAN LEIBOVICI, Perspectivele tehnicii nucleare	229
Aneadă : Aparate elaborate la Institutul de fizică atomică și susceptibile de a fi multiplicare	243