



Facultatea de Știința și Ingineria Mediului

UNIVERSITATEA BABEȘ-BOLYAI

CLUJ-NAPOCA

RADIOACTIVITATEA MEDIULUI

ÎNDRUMĂTOR PENTRU SEMINAR ȘI LABORATOR

**ȘTIINȚA MEDIULUI
INGINERIA MEDIULUI**

Lector Dr. Alida Gabor (Timar)

Profesor Dr. Constantin Cosma



SEMINAR 1
STRUCTURA ATOMULUI SI STRUCTURA NUCLEULUI SI
UNITATI DE MASURA SPECIFICE

- Urmărirea unui scurt documentar referitor la Experimentul lui Rutherford
- Recapitularea notiunilor:
 - număr de ordine, număr de masă, tabelul periodic al elementelor (Mendeleev)
 - numărul lui Avogadro
 - raza atomului / raza nucleului (Angstrom, Fermi)
 - atomi / ioni / sarcini electrice în atom
 - nucleizi/ izotopi/ izotoni/ izobari
 - abundența izotopica
 - unitatea atomică de masă
 - densitatea nucleului
 - defectul de masă și energia de legătură (electron volt-ul)

$$N_A = 6.023 \times 10^{23}$$

$$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ Fm} = 10^{-15} \text{ m}$$

$$m_p = 1.67262158 \times 10^{-27} \text{ Kg}$$

$$m_n = 1.67492729 \times 10^{-27} \text{ Kg}$$

$$m_e = 9.10938188 \times 10^{-31} \text{ Kg}$$

$$1 \text{ u.a.m.} = 1.6603 \times 10^{-27} \text{ Kg}$$

$$m_p = 1.0073 \text{ u.a.m.}$$

$$m_n = 1.0087 \text{ u.a.m.}$$

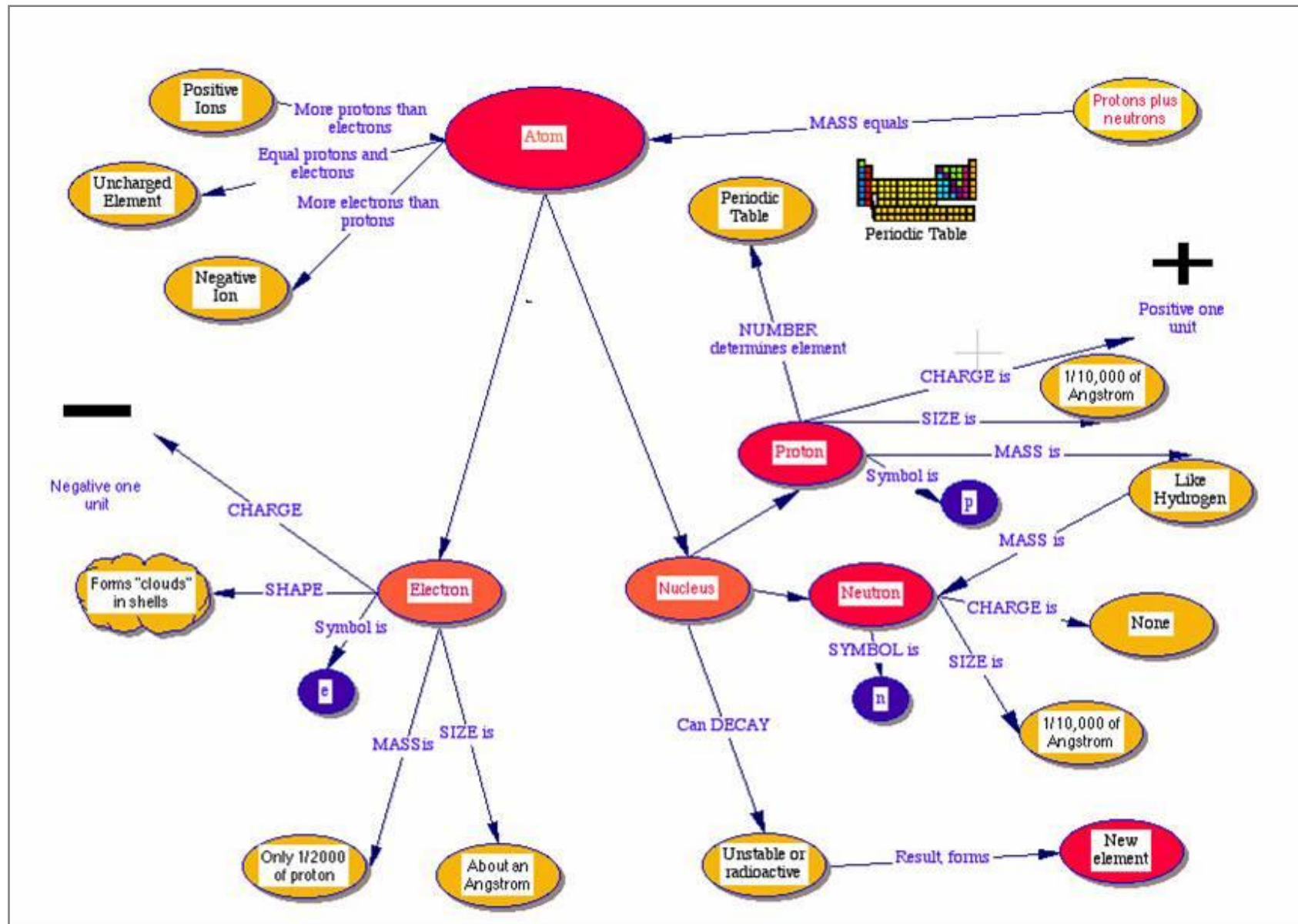
$$c = 2.9979 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$q_e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u.a.m} = 1.4896 \times 10^{-11} \text{ J} = 931 \text{ MeV}$$

$$1 \text{ an} = 3.15576 \times 10^7 \text{ s} \quad 1 \text{ luna} = 2.6298 \times 10^6 \text{ s}$$



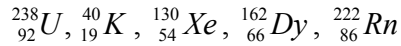
hydrogen 1 H 1.0079 lithium 3 Li 6.941 sodium 11 Na 22.990 potassium 19 K 39.098 rubidium 37 Rb 85.468 caesium 55 Cs 132.91 francium 87 Fr [223]	beryllium 4 Be 9.0122 magnesium 12 Mg 24.305 calcium 20 Ca 40.078 strontium 38 Sr 87.62 barium 56 Ba 137.33 radium 88 Ra [226]	57-70 ✱	scandium 21 Sc 44.956 yttrium 39 Y 88.906 lutetium 71 Lu 174.97 lawrencium 103 Lr [262]	titanium 22 Ti 47.867 zirconium 40 Zr 91.224 hafnium 72 Hf 178.49 rutherfordium 104 Rf [261]	vanadium 23 V 50.942 niobium 41 Nb 92.906 tantalum 73 Ta 180.95 dubnium 105 Db [262]	chromium 24 Cr 51.996 molybdenum 42 Mo 95.94 tungsten 74 W 183.84 seaborgium 106 Sg [266]	manganese 25 Mn 54.938 technetium 43 Tc [98] rhenium 75 Re 186.21 bohrium 107 Bh [264]	iron 26 Fe 55.845 ruthenium 44 Ru 101.07 osmium 76 Os 190.23 hassium 108 Hs [265]	cobalt 27 Co 58.933 rhodium 45 Rh 102.9 iridium 77 Ir 192.22 meitnerium 109 Mt [268]	nickel 28 Ni 58.693 palladium 46 Pd 106.42 platinum 78 Pt 195.08 unnilium 110 Uun [271]	copper 29 Cu 63.546 silver 47 Ag 107.87 gold 79 Au 196.97 unnilium 111 Uuu [272]	zinc 30 Zn 65.38 cadmium 48 Cd 112.41 mercury 80 Hg 200.59 unnilium 112 Uub [271]	boron 5 B 10.81 aluminum 13 Al 26.982 gallium 31 Ga 69.723 indium 49 In 114.82 thallium 81 Tl 204.38	carbon 6 C 12.011 silicon 14 Si 28.086 germanium 32 Ge 72.61 tin 50 Sn 118.71 lead 82 Pb 207.2 ununquadium 114 Uuq [289]	nitrogen 7 N 14.007 phosphorus 15 P 30.974 arsenic 33 As 74.922 antimony 51 Sb 121.76 bismuth 83 Bi 208.98	oxygen 8 O 15.999 sulfur 16 S 32.065 selenium 34 Se 78.96 tellurium 52 Te 127.60 polonium 84 Po [209]	fluorine 9 F 18.998 chlorine 17 Cl 35.453 bromine 35 Br 79.904 iodine 53 I 126.90 astatine 85 At [210]	helium 2 He 4.0026 neon 10 Ne 20.180 argon 18 Ar 39.948 krypton 36 Kr 83.80 xenon 54 Xe 131.29 radon 86 Rn [222]
--	---	------------	--	---	---	--	---	--	---	--	---	--	--	---	--	---	--	---

* Lanthanide series

** Actinide series

lanthanum 57 La 138.91 actinium 89 Ac [227]	cerium 58 Ce 140.12 thorium 90 Th 232.04	praseodymium 59 Pr 140.91 protactinium 91 Pa 231.04	neodymium 60 Nd 144.24 uranium 92 U 238.03	promethium 61 Pm [145] neptunium 93 Np [237]	samarium 62 Sm 150.36 plutonium 94 Pu [244]	europium 63 Eu 151.96 americium 95 Am [243]	gadolinium 64 Gd 157.25 curium 96 Cm [247]	terbium 65 Tb 158.93 berkelium 97 Bk [247]	dysprosium 66 Dy 162.50 californium 98 Cf [251]	holmium 67 Ho 164.93 einsteinium 99 Es [252]	erbium 68 Er 167.26 fermium 100 Fm [257]	thulium 69 Tm 168.93 mendelevium 101 Md [258]	ytterbium 70 Yb 173.04 nobelium 102 No [259]
--	---	--	---	---	--	--	---	---	--	---	---	--	---

Exercitiul 1: Specificati valorile numerelor A, Z, N pentru urmatorii nuclizi:



Exercitiul 2: Considerand ca corpul uman este format in intregime doar din apa, sa se calculeze masa tuturor electronilor din corpul unei persoane de 60 kg.

R: aprox 20 g

Exercitiul 3: Sa se calculeze masa atomica a elementului chimic siliciu cunoscand ca acesta are trei izotopi:

${}^{28}\text{Si}$ cu abundenta izotopica de 92.2% si masa $M({}^{28}\text{Si}) = 27.9769$ u.a.m

${}^{29}\text{Si}$ cu abundenta izotopica de 4.7 % si masa $M({}^{29}\text{Si}) = 28.9765$ u.a.m

${}^{30}\text{Si}$ cu abundenta izotopica de 3.1 % si masa $M({}^{30}\text{Si}) = 29.9738$ u.a.m

R: 28.0857 u.a.m.

Exercitiul 4: Clorul are doi izotopi ${}_{17}^{35}\text{Cl}$ si ${}_{17}^{37}\text{Cl}$. Cunoscandu-se masele celor doi izotopi si abundentele relative ale acestora sa se calculeze masa elementului chimic Cl.

$$M({}_{17}^{35}\text{Cl}) = 34.96885 \text{ u.a.m} \text{ si } \text{Ab}({}_{17}^{35}\text{Cl}) = 75.77 \%$$

$$M({}_{17}^{37}\text{Cl}) = 36.96590 \text{ u.a.m} \text{ si } \text{Ab}({}_{17}^{37}\text{Cl}) = 24.23 \%$$

Cate nuclee de ${}_{17}^{35}\text{Cl}$, dar de ${}_{17}^{37}\text{Cl}$ exista intr-un gram de clor?

R: 128.734×10^{23} , respectiv 41.167×10^{23} nuclee

Exercitiul 5: Sa se calculeze energia de legatura pentru nucleul ${}_{17}^{35}\text{Cl}$ stiind ca masa sa masurata este $M({}_{17}^{35}\text{Cl}) = 34.96885$ u.a.m. Sa se exprime valoarea in MeV si J. Care este valoarea energiei de legatura pe nucleon? Care este valoarea energiei de legatura (exprimata in J) a tuturor nucleelor de ${}_{17}^{35}\text{Cl}$ care se gasesc intr-un gram de clor?

$$\text{R: } E_{\text{nucleu}} = 298.055 \text{ MeV} = 447 \times 10^{-13} \text{ J}$$

$$\varepsilon_{\text{nucleon}} = 8.51 \text{ MeV}$$

$$E_{\text{total}} = 57544 \times 10^{10} \text{ J}$$

Exercitiul 6: Sa se calculeze valoarea energiei de legatura pe nucleon (in MeV) pentru:

${}^4_2\text{He}$ cu masa de 4.0026033 u.a.m.

${}^{25}_{12}\text{Mg}$ cu masa de 24.985839 u.a.m.

${}^{56}_{26}\text{Fe}$ cu masa de 55.934934 u.a.m.

${}^{116}_{50}\text{Sn}$ cu masa de 115.901748 u.a.m.

${}^{232}_{90}\text{Th}$ cu masa de 232.03807 u.a.m.

Sa se reprezinte grafic energia de legatura in functie de numarul de masa. Ce se observa?

SEMINAR 2

TIPURI DE DEZINTEGRARE RADIOACTIVA

HARTA NUCLIZILOR

- Recapitularea principalelor tipuri de dezintegrare radioactiva (dezintegrarea α , dezintegrările β^- respectiv β^+ captura electronica, emisia de radiatie γ , conversia interna, fisiunea spontana).

- Prezentarea hartii nuclizilor

- varianta simplificata (vezi figura)

- varianta electronica UNC (Universal Nuclide Chart- J. Magill- Karlshrue)

- softul Decay (Ch. Hacker)

Dezintegrările alfa si beta -se pune accentul pe notiunea de transmutatie nucleara.

Exercitiul 1: Se identifica pe harta nuclizilor izotopul ${}_{92}^{238}\text{U}$. Se urmareste seria radioactiva a acestui izotop.

Exercitiul 2: Se identifica si caracterizeaza izotopii:

${}_{6}^{14}\text{C}$, ${}_{19}^{40}\text{K}$, ${}_{27}^{60}\text{Co}$, ${}_{38}^{90}\text{Sr}$, ${}_{53}^{131}\text{I}$, ${}_{55}^{137}\text{Cs}$

Emisia de radiatii gamma -se prezinta spectrul electromagnetic si se rezolva urmatoarele exercitii:

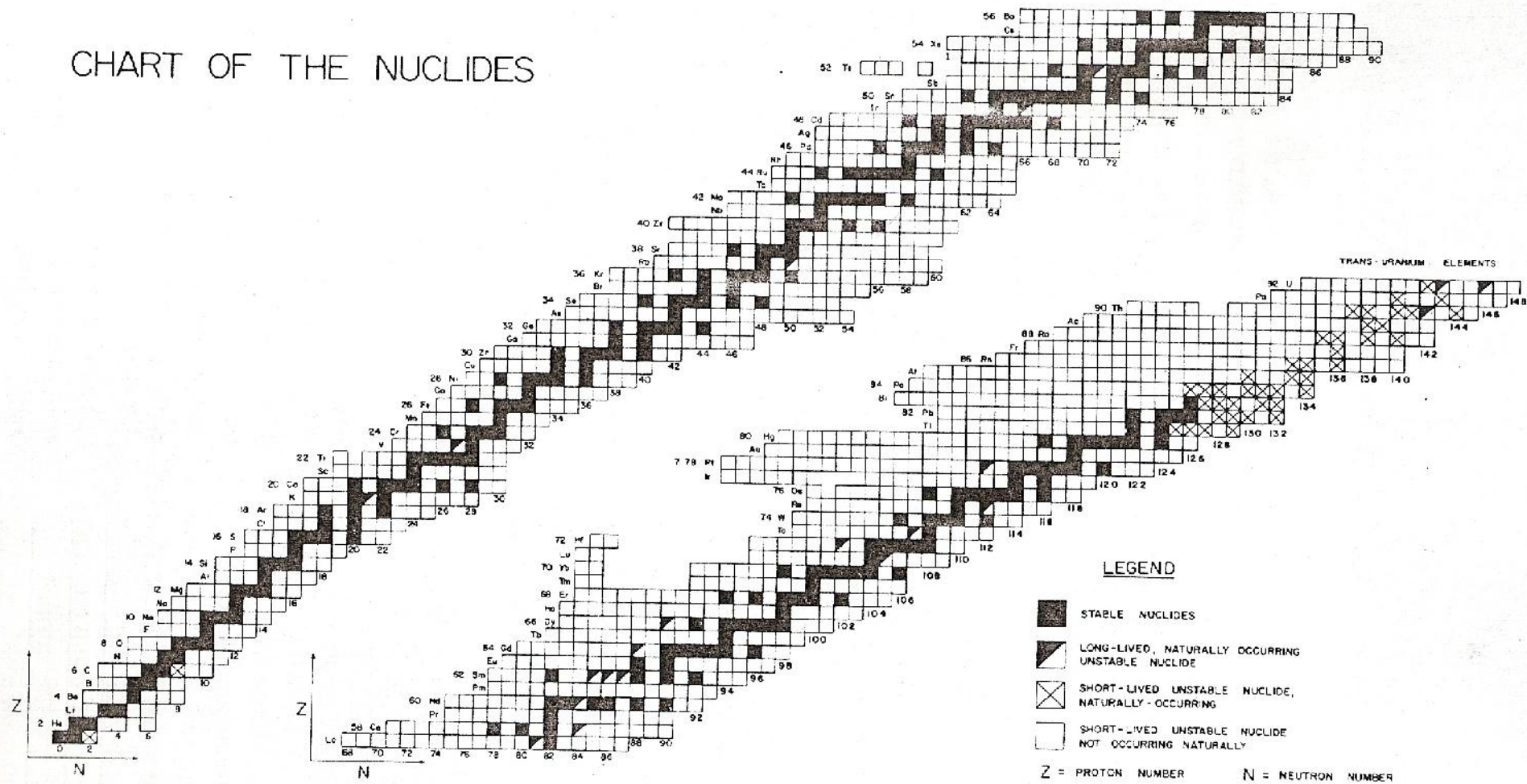
Exercitiul 3: Ce lungime de unda corespunde fotonului gamma cu energia de 1460 KeV emis in urma dezintegrării ${}_{19}^{40}\text{K}$?

R: $0.851 \times 10^{-12} \text{ m}$

Exercitiul 4: Ce energie (in eV) are radiatia vizibila cu lungimea de unda de 580 nm (galben)?

R= 2.14 eV

CHART OF THE NUCLIDES



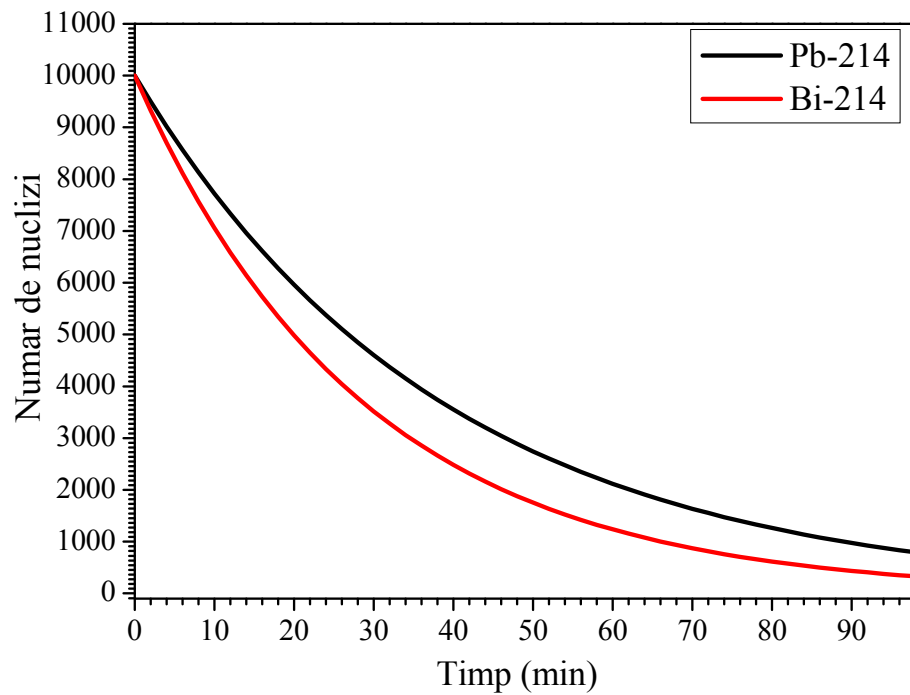
SEMINAR 3

LEGEA DEZINTEGRĂRII RADIOACTIVE

APLICATII I

- Sunt prezentate exemple de dependente exponentiale.
- Se pune accent pe semnificatia si proprietatile functiei e^x .

Exercitiul 1: Din graficul de mai jos determinati timpul de injumatatire pentru radionuclizii ^{214}Pb respectiv ^{214}Bi . Calculati probabilitatile de dezintegrare.



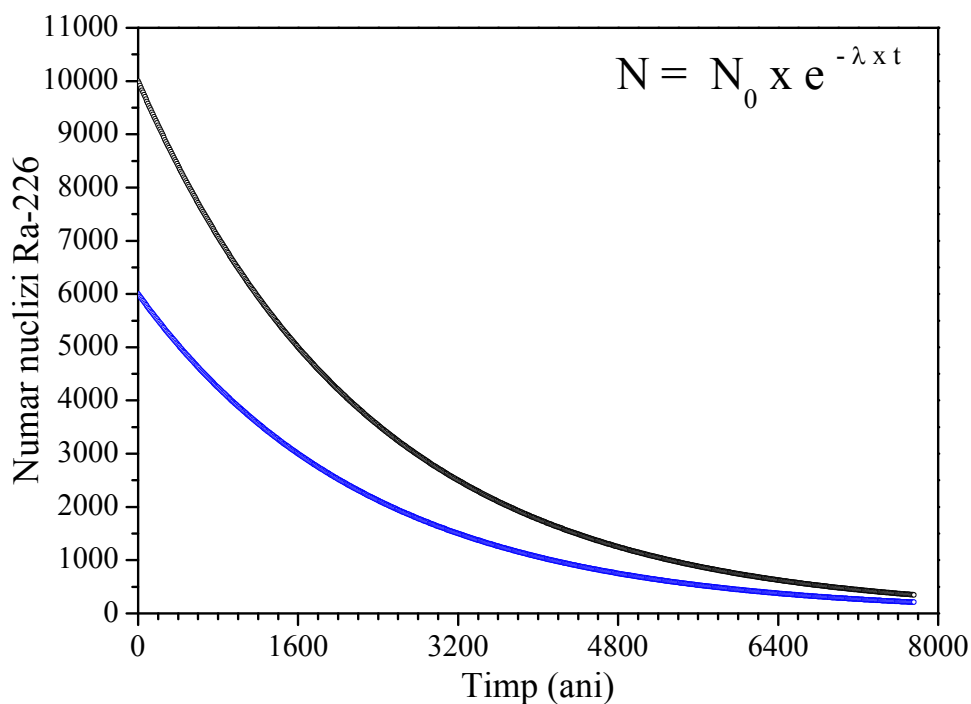
R : $T_{1/2} \text{ Pb-214} = 20 \text{ min}$

$T_{1/2} \text{ Bi-214} = 28 \text{ min}$

Exercitiul 2: Constantele radioactive ale U-238, Ra-226, si Rn-222 sunt 4.9×10^{-18} , 1.37×10^{-11} , respectiv $2.09 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$. Sa se calculeze timpii de injumatatire.

R: $4.5 \times 10^9 \text{ ani}$, 1590 ani , 3.8 zile

Exercitiul 3: In figura de mai jos este prezentata variatia numarului de nuclee de ^{226}Ra in timp.



Determinati dupa cat timp numarul de nuclee scade de: doua ori, patru ori, opt ori, sase ori? Ce se observa?

Fara a va folosi de figura, calculati timpul dupa care numarul de nuclee scade de 11.8 ori.

R: 1600 ani

3200 ani

4800 ani

4400 ani

5698 ani

Exercitiul 4 : Izotopul beta activ Sr-90 are timpul de injumatatire de 20 de ani. Sa se calculeze ce fractiune din cantitatea initiala de nuclee ale acestui izotop va ramane nedeintegrata dupa 10 ani. Dar dupa 100 de ani?

R: dupa 10 ani: 70.8 %

dupa 100 ani: 3.13 %

Exercitiul 5: Izotopul radioactiv Th-234 are timpul de injumatatire de 24.1 zile. Ce fractiune din cantitatea initiala de nuclee se dezintegreaza intr-o secunda, intr-o zi, intr-o luna?

R: 1.477×10^{-7}

0.028

0.578

SEMINAR 4

LEGEA DEZINTEGRĂRII RADIOACTIVE

APLICATII II

ACTIVITATEA

Exercitiul 1: Un gram de ^{226}Ra emite $(3.6 \pm 0.04) \times 10^{10}$ particule alfa pe secunda. Sa se calculeze timpul de injumatatire si constanta de dezintegrare a acestui izotop.

R: 1627 ani

Exercitiul 2: Sa se determine timpul de injumatatire al unui radionuclid a carui activitate scade la 80 % din valoare initiala in timp de 2.6 zile.

R: $T_{1/2} = 8$ zile (I-131)

Exercitiul 3: Sa se calculeze timpul de injumatatire al unui izotop stiind ca dupa 100 de zile activitatea lui s-a micorat de 10.4 ori.

R: 2.75 ani

Exercitiul 4: Timpul de injumatatire al izotopului ^{210}Bi este de 4.97 zile. Ce activitate va avea un gram din acest izotop dupa 10 zile?

Exercitiul 5: Elementul chimic potasiu are trei izotopi

$^{39}_{19}\text{K}$ cu abundenta izotopica de 93.26 %

$^{40}_{19}\text{K}$ cu abundenta izotopica de 0.012 %

$^{41}_{19}\text{K}$ cu abundenta izotopica de 6.73 %

Dintre acesti izotopi doar $^{40}_{19}\text{K}$ este radioactiv, avand un timp de injumatatire de 1.28×10^9 ani.

Stiind ca corpul uman contine 0.2% potasiu procente masice, sa se calculeze activitatea cauzata de izotopul $^{40}_{19}K$ in corpul unei persoane cu masa de 60 kg.

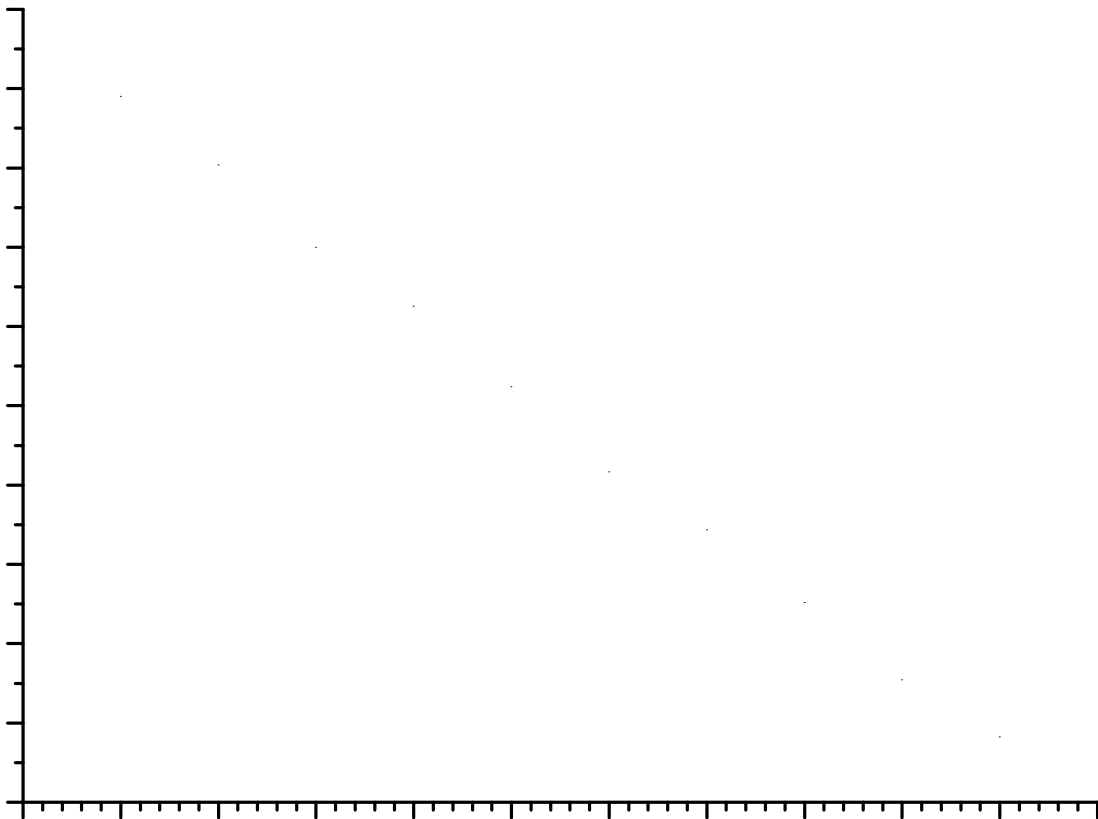
R: $3.708 \times 10^3 \text{ Bq}$ sau $1.1 \times 10^5 \text{ pCi}$

Exercitiul 6: Pentru determinarea timpului de injumatatire a unui izotop radioactive dintr-o sursa necunoscuta a fost masurata variati in timp a vitezei de numarare a unui detector.

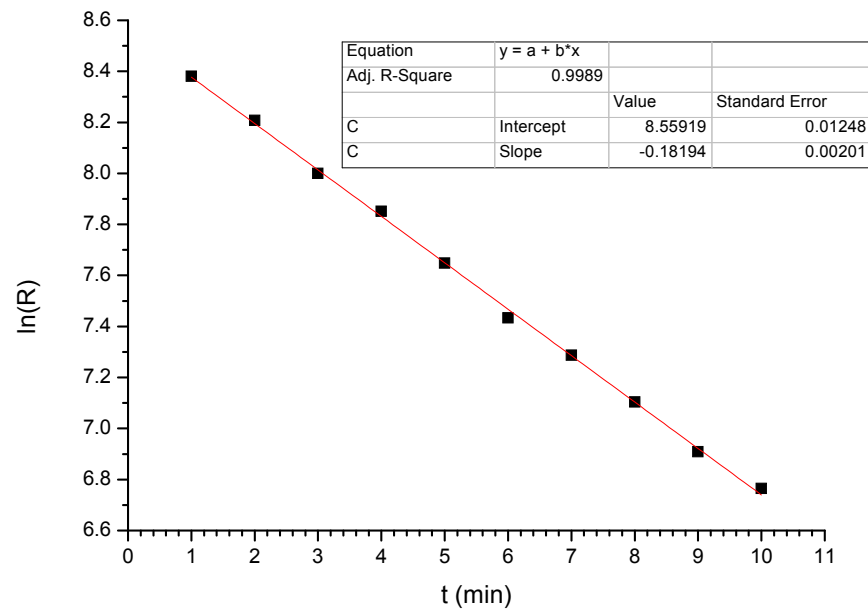
Valorile obtinute in functie de timp sunt prezentate in urmatorul tabel:

t (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R (imp)	4361	3367	2982	2569	2097	1692	1461	1216	1001	867

Sa se reprezinte in sistemul de coordonate de mai jos $\ln(R)$ in functie de timp. Sa se determine din grafic timpul de injumatatire a acestui izotop.



Rezolvare: $T_{1/2} = 3.8 \text{ min}$



SEMINAR 5

LEGEA DEZINTEGRĂRII RADIOACTIVE

APLICATII III

DEZINTEGRARI SUCESIVE

ECHILIBRUL SECULAR

Exercitiul 1: Calculati numarul de atomi ai unei fiice radiogenice si radioactive (N_2) care vor fi prezenti ca rezultat al dezintegrării parintelui (N_1) dupa un interval de 15 ore stiind ca :

$$N_1^0 = 10^4 \text{ atomi.}$$

$$\lambda_1 = 0.0693 \text{ h}^{-1}$$

$$\lambda_2 = 0.1386 \text{ h}^{-1}$$

R: $N_2 = 2.28 \times 10^3 \text{ atomi}$

Exercitiul 2: Calculati abundenta ^{234}U aflat in echilibru secular cu parintele ^{238}U stiind ca

$$T_{1/2}^{238}\text{U} = 4.46 \times 10^9 \text{ ani}$$

$$T_{1/2}^{234}\text{U} = 2.44 \times 10^5 \text{ ani}$$

$$\text{Ab}^{238}\text{U} = 99.28\%.$$

R: 0.005423%

Exercitiul 3: In natura $^{226}_{88}\text{Ra}$ ($T_{1/2} = 1600 \text{ ani}$) exista in echilibru secular cu parintele sau $^{228}_{92}\text{U}$ ($T_{1/2} = 4.5 \times 10^9 \text{ ani}$). Ce fractiune din cantitatea de radium existenta in momentul de fata va mai fi peste 1600 de ani?

R: 0.99999975

Exercitiul 4: Sterilul ramas dupa extragerea mineralelor utile este depozitat in vecinatatea minelor.

Dupa separarea minereurilor bogate in uranium sterilul ramas mai contine o anumita cantitate de uranium. Acesta este compus din cei doi izotopi ^{235}U si ^{238}U aflati in echilibru secular cu produsii lor de dezintegrare. Dintre acestia Rn-222 si Rn-219 se

degaja in permanenta, fiind singurii radionuclizi gazosi din cele doua serii radioactive. Sa se calculeze activitatea totala anuala degajata de o halda de steril ce contine 170 000 tone de reziduuri cu o concentratie de 1.5 kg la tona.

Raportul abundentelor naturale ale ^{235}U si ^{238}U este de 1/137.8, iar timpii de injumatatire ai acestor izotopi sunt:

$$T_{1/2}^{238}\text{U} = 4.5 \times 10^9 \text{ ani}$$

$$T_{1/2}^{235}\text{U} = 7.1 \times 10^8 \text{ ani}$$

$$\textbf{R: Rn-222: } 9.933 \times 10^{16} \text{ Bq/an}$$

$$\textbf{Rn-219: } 5.048 \times 10^{15} \text{ Bq/an}$$

Exercitiul 5: Sa se calculeze cantitatea de ^{206}Pb care apare in urma dezintegrarii unui kilogram de ^{238}U pur intr-un interval de timp egal cu varsta Pamantului.

$$T_{1/2}^{238}\text{U} = 4.46 \times 10^9 \text{ ani}$$

$$T_p = 4.54 \times 10^9 \text{ ani.}$$

$$\textbf{R: } 437 \text{ g}$$

Exercitiul 6: Uraniul natural are in prezent trei izotopi cu abundentele si timpii de injumatatire:

$$T_{1/2}^{238}\text{U} = 4.5 \times 10^9 \text{ ani si } \text{Ab } ^{238}\text{U} = 99.2744 \text{ \%.}$$

$$T_{1/2}^{235}\text{U} = 7.1 \times 10^8 \text{ ani si } \text{Ab } ^{235}\text{U} = 0.7202 \text{ \%.}$$

$$T_{1/2}^{234}\text{U} = 2.44 \times 10^5 \text{ ani si } \text{Ab } ^{234}\text{U} = 0.0055 \text{ \%.}$$

Care este raportul abundentelor izotopice ale ^{235}U si ^{238}U acum?

Cat a fost acest raport acum 2 miliarde de ani?

Cat a fost acest raport la formarea Pamantului stiind ca varsta planetei noastre este de aproximativ 4.54×10^9 ani.

$$\textbf{R: } 0.007255$$

$$0.0375$$

$$0.3037$$

SEMINAR 6

PARCURSUL RADIATII NUCLEARE IN MATERIE

Exercitiul 1: Din mecanica Newtoniana se stie ca in momentul in care un obiect A de masa M loveste un obiect B (presupus in repaus) de masa m energia cinetica pierduta de corpul este:

$$K_B = 4K_A(m \times M) / (M+m)^2$$

Estimati cate ciocniri cu electronii trebuie sa sufere o particula alfa pana in momentul in care este stopata.

R: 2000

Exercitiul 2: Se cunoste ca parcursul in aer al particulelor alfa poate fi calculate in functie de energia lor in felul urmator:

$R_l \text{ (cm)} = 0.56 \times E \text{ (MeV)}$ pentru energii ale particulelor alfa mai mici de 4 MeV si

$R_l \text{ (cm)} = 1.24 \times E \text{ (MeV)} - 2.62$ pentru energii ale particulelor alfa cuprinse intre 4 MeV si 8 MeV

Relatia dintre parcursul particulelor alfa in aer si un alt mediu caracterizat prin numarul de masa A este:

$$R_{\text{mediu}} \text{ (g/cm}^2\text{)} = 0.56 \times A^{1/3} \times R_{l \text{ aer}} \text{ (cm)}$$

Nuclidul ^{210}Po se dezintegreaza alfa. Particulele emise au o energie de 5.3 MeV. Care este grosimea necesara a unei foite de Al ($A=27$) pentru a opri aceste particule? Densitatea aluminiului este de 2700 mg/cm^3 .

R: 0.00246 cm

Exercitiul 3: Coeficientul liniar de atenuare pentru radiatia X cu energia de 200 KeV in plumb este $1 \times 10^3 \text{ m}^{-1}$.

- a) Ce fractiune din fotonii cu aceasta energie pot strabate 2 mm de plumb?
- b) Care este valoarea grosimii necesare pentru a atenua intensitatea fascicului la jumatate?
- c) Pentru ce grosime intensitatea fascicului sade de 1000 de ori? Dar de 1 000 000 de ori?

R: 0.693 mm

SEMINAR 7

METODE NUCLEARE DE DATARE

Exercitiul 1: O proba de biotit contine 8.45 % K_2O si 6.016×10^{-10} moli / gram ^{40}Ar radiogenic.

Care este varsta probei?

R: 49.44 Ma

Exercitiul 2: O roca magmatica a fost analizata pentru datarea pe baza metodei potasiu-argon utilizand doua minerale constituinte: biotit si hornblenda. In urma analizelor s-a obtinut:

Pentru biotit: $K_2O = 8.71$ % (procente masice)

^{40}Ar radiogenic = 12.83×10^{-10} moli / gram

Iar pentru hornblenda: $K_2O = 1.44$ % (procente masice)

^{40}Ar radiogenic = 4.348×10^{-10} moli / gram

Calculati varstele potasiu-argon pentru cele doua minerale. Ce puteri spune despre varsta rocii in urma datelor obtinute pentru cele doua minerale considerand ca o incalzire a acesteia a fost posibila de-a lungul existentei sale?

Exercitiul 3: Metoda de datare bazata pe folosirea izotopului ^{14}C consta in determinarea concentratiei de ^{14}C (sau a activitatii acestui izotop) pe gram de carbon din probele investigate si comapararea acesteia cu concentratia sau activitatea probelor de carbon organic actual. O proba de tesut organic actual, indiferent de natura sa, prezinta o activitate egala cu 15.6 dpm pntru fiecare kilogram de carbon.

Stiind ca o proba arheologica care este analizata pentru datarea prin ^{14}C are o activitate egala cu 7.37 dpm pe gram de carbon sa se calculeze:

- numarul de nuclee de ^{14}C dintr-un gram de carbon organic actual.
- Varsta probei arheologice

R: 6200 ani

Exercitiul 4: Varsta unei probe arheologice este de 8000 ani (6000 ani BC). Care este activitatea radiocarbonului din aceasta proba?

R: 5.15 d.p.m.

0.0859 Bq/ Kg

LABORATOR 1

PRELUCRAREA DATELOR EXPERIMENTALE SI CALCUL DE ERORI

I. Introducere

Rezultatul oricarei masuratori este afectat intotdeauna de o eroare. Prin eroare se intelege diferenta dintre valoarea reala a unei marimi fizice si valoare masurata. Scrierea unui rezultat fara eroarea corespunzatoare este lipsita de semnificatie. Totodata, valoarea erorii totale care afecteaza o marime stabileste cifrele semnificative ale rezultatului final.

Sursele de eroare sunt multiple, incepand de la aparatura si procedurile de laborator folosite, si mergand pana la natura intrinseca a anumitor fenomene fizice.

Tipuri de erori:

- erori statistice;
- erori sistematice;
- erori grosolane.

→ Erorile statistice

Sunt erori a caror valoare si semn sunt intamplatoare (nu respecta o alta regula decat cea a legilor statisticii);

Se datoreaza unui complex de cauze greu de sesizat si inlaturat. Se supun legilor calcului probabilistic;

Daca numarul de masuratori este foarte mare:

- erorile de o anumita marime (pozitive) apar la fel de des ca si erorile de aceeasi marime (negative);
- erorile mari (pozitive si negative) au o probabilitate mica de aparitie fata de erorile mici.

Asta ne conduce la concluzia ca, efectuand un numar foarte mare de masuratori si calculand media aritmetica a acestor valori, vom obtine o valoare apropiata de valoarea reala a respectivei marimi fizice.

→ **Erorile sistematice**

Sunt erori care spre deosebire de cele accidentale, apar in aceeași direcție și au în fiecare caz o valoare bine determinată, constantă sau variabilă.

Cauzele erorilor sistematice sunt:

- defecte ale aparatelor de măsură;
- condițiile de mediu, în cazul în care acestea sunt incompatibile cu funcționarea aparatelor;
- experimentatorul, depinzând de particularitățile acestuia, sau de poziția lui față de scala aparatului în momentul citirii.

→ **Erorile grosolane**

De obicei efectuăm un număr mic de măsurători (3 sau 5) pentru determinarea (prin mediere) a valorii numerice a unei mărimi fizice. Dacă în șirul de valori obținute există una cu mult diferită de celelalte, o eliminăm și repetăm măsurătoarea. Spunem că acea măsurătoare este afectată de o eroare grosolană. Cauza unei astfel de erori este, în general, neatenția (momentană) la citirea unei valori de pe scala aparatului sau modificarea pe timp scurt a condițiilor în care se desfășoară experimentul.

În concluzie, mărimea erorilor sistematice este constantă și influențează rezultatul într-un singur sens în timp ce mărimea erorilor statistice se schimbă de la o măsurare la alta iar rezultatul este influențat în ambele sensuri. Erorile sistematice pot fi reduse prin prudență în măsurare, folosirea de etaloane etc., în timp ce erorile statistice pot fi mult diminuate prin efectuarea de măsurători repetate.

II. Exactitatea și precizia măsurătorilor

Măsurătoarea exactă: diferența dintre media aritmetică a determinărilor și valoarea reală este cât mai mică posibil.

Exactitatea (justetea) este dată prin urmare de apropierea dintre media aritmetică a determinărilor și valoarea reală.

Masuratoarea precisa: diferentele dintre valorile gasite este cat mai mica posibil.

Precizia (fidelitatea) este data de gruparea stransa a valorilor gasite.

Exactitatea depinde de erorile sistematice, iar precizia de erorile statistice (aleatoare).

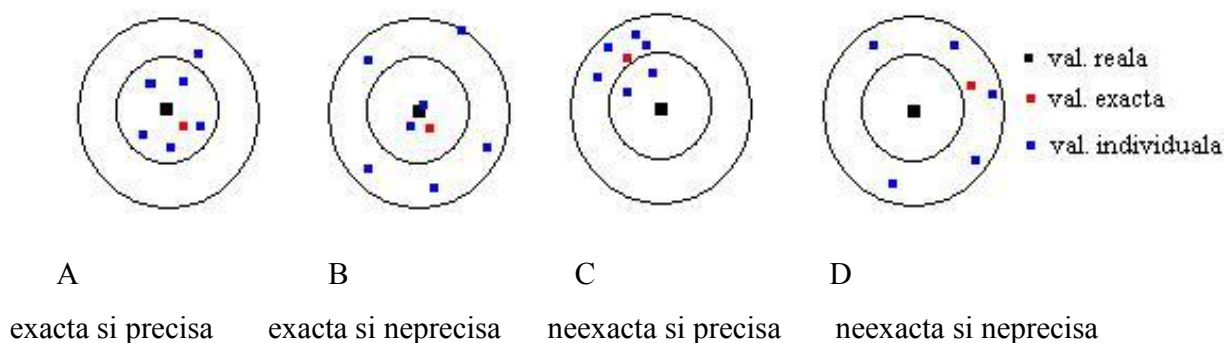
Exemplu: avem in tabel patru serii de cate sase determinari repetate.

Metoda A	Metoda B	Metoda C	Metoda D
18.00	18.55	17.65	19.10
18.05	17.60	17.70	18.40
17.95	18.00	17.90	18.10
18.15	18.30	17.65	18.70
17.95	18.25	17.85	18.80
18.20	17.90	17.75	18.50
$x_{med} = 18.05$	$x_{med} = 18.10$	$x_{med} = 17.75$	$x_{med} = 18.60$

Observatie:

Presupunem ca valoarea reala este 18.10.

Reprezentand valorile masurate si valoarea adevarata ca pe niste lovituri in tintele de tir, avem reprezentarea sugestiva in figura urmatoare:



În concluzie, rezultatul măsurării este caracterizat prin *precizia de măsurare* și de *exactitate sau acuratețe*. Precizia se referă la reproductibilitatea măsurătorilor, la modul în care valorile se grupează în jurul mediei, deci la erorile cu caracter statistic datorate procesului de măsurare sau caracterului statistic al mărimii măsurate. Exactitatea sau acuratețea se referă la corespondența dintre valoarea măsurată și cea reală sau așteptată. Prin urmare acuratețea este indicată atât de precizie cât și de eroarea sistematică globală a măsurătorilor.

III. Noțiuni de calculul erorilor

Orice operație de măsurare are un caracter statistic.

Dacă efectuăm un sir de N măsurători independente a unei mărimi fizice X , frecvența de apariție a unei valori x este:

$$f(x) = \frac{a(x)}{N}$$

$a(x)$ numărul de apariții ale valorii x

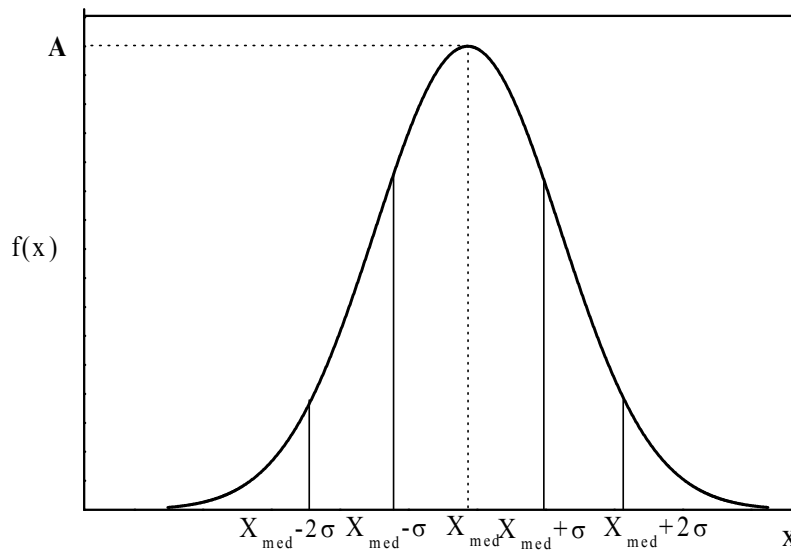
N numărul total de observații

Cea mai bună apreciere pe care o putem face în practică pentru valoarea mărimii fizice X este **media experimentală**. Valoarea mediei experimentale este:

$$\boxed{x_{med_exp} = \sum_{i=1}^N x_i / N} \quad \text{sau} \quad x_{med_exp} = \sum_{x=0}^{\infty} x \cdot f(x)$$

Iar eroarea individuală a fiecărei măsurători este $\Delta x = |x_i - x_{med}|$

Pentru o mărime ce poate furniza un sir continuu de rezultate distribuția valorilor obținute este una de tip Gauss (**Fig 1**). Curba este cu atât mai bine conturată cu cât numărul de măsurători este mai mare.



Distributia experimentală (de tip Gauss) a rezultatelor pentru un număr N mare de măsurători.

Funcția matematică care caracterizează această distribuție este dată de ecuația:

$$f(x) = A \exp \left[-\frac{(x - x_{\text{med}})^2}{2\sigma^2} \right] \quad \text{unde:}$$

- A reprezintă amplitudinea,
- x_{med} este valoarea medie a mărimii de interes,
- σ se numește ***deviația standard***.

Această funcție prezintă proprietatea importantă că în intervalul $x_{\text{med}} - \sigma$, $x_{\text{med}} + \sigma$ sunt cuprinse 68.3% din rezultate; în intervalul $x_{\text{med}} - 2\sigma$, $x_{\text{med}} + 2\sigma$ intra 95.5% din rezultate, iar în intervalul $x_{\text{med}} - 3\sigma$, $x_{\text{med}} + 3\sigma$ intra 99.7% din rezultate. Această proprietate duce la definirea așa numitelor nivele de încredere. Un nivel de încredere de 99.7% înseamnă practic certitudinea faptului că toate rezultatele sunt cuprinse în intervalul $x_{\text{med}} \pm 3\sigma$ și așa mai departe.

Deviația standard reprezintă practic deviația datelor experimentale față de valoarea medie adevărată sau așteptată x_{med} (-valoare ideală a mediei ce se mai numește și numește speranță matematică sau medie statistică și care s-ar obține dacă am efectua un număr infinit de măsurători) și poate fi calculată ca :

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum (x_i - x_{med})^2$$

Valoarea de care dispunem noi in practica este insa valoarea mediei experimentale. Se poate demonstra ca deviatia standard si media exerimentala se afla in relatia (F. Knoll, Apendix B) :

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum (x_i - x_{med_exp})^2$$

Deviatia standard mai este intalnita si sub denumirea de **abatere patratica medie**. Asa cum am mai precizat aceasta marime caracterizeaza imprastierea datelor experimentale, fiind un **indicator al preciziei setului de masuratori individuale**.

In general in practica pentru a caracteriza imprastierea unui set de date se foloseste DEVIATIA STANDARD RELATIVA (DSR):

$$DSR = \frac{\sigma}{x_{med_exp}}$$

O marime de mai mare interes este masura in care media obtinuta in urma a N masuratori se departeaza de valoare reala, exacta a mediei care s-a obtine in cazul in care s-ar efectua un numar infinit de masuratori. Aceasta este caracterizata de o abatere data de ecuatie:

$$\varepsilon_s = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

Aceasta este **EROAREA STANDARD ABSOLUTA A MEDIEI** (vezi demonstratie in anexa)

Putem bineinteles calcula si eroarea relativa.

$$\varepsilon_{Srel} = \frac{\varepsilon_s}{x_{med_exp}}$$

Aceasta este EROAREA STANDARD RELATIVA A MEDIEI

Patratele deviatiei standard si a erorii standard a mediei se mai intalnesc uneori in literatura si sub denumirile de *variante*.

Rezultatul final al unui experiment in care am repetat N masuratori independente ale unei marimi fizice X se prezinta ca:

$$X = x_{med_exp} \pm \varepsilon_s$$

In cazul in care putem asocia o eroare individuala s_i fiecarei masuratori in parte x_i a marimii X se poate calcula si o eroare standard asteptata a mediei.

$$\varepsilon_{asteptat} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N s_i^2}}{N}$$

Aceasta este EROAREA STANDARD ASTEPTATA A MEDIEI.

In cazul in care $\varepsilon_s \gg \varepsilon_{asteptat}$ inseamna ca avem o imprastiere a valorilor masurate mai mare decat ne-am asteptat din considerente statistice, adica masuratorile ne sunt afectate de erori sistematice.

IV. Regulele de propagare ale erorilor.

In cazul in care determinam o marime u in functie de alte marimi $x, y, z, \dots$ ($U=f(x, y, z, \dots)$) care au fost determinate prin masurare, iar erorile absolute asociate acestora sunt $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ iar erorile relative sunt respectiv $\varepsilon_{rel\ x}, \varepsilon_{rel\ y}$ eroarea ce va caracteriza marimea u va fi:

$$\varepsilon_u^2 = \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 \varepsilon_x^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 \varepsilon_y^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2 \varepsilon_z^2 + \dots$$

A) dacă $u = x + y$ sau $u = x - y$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = 1 \text{ si } \frac{\partial u}{\partial y} = 1 \text{ sau } \frac{\partial u}{\partial x} = 1 \text{ si } \frac{\partial u}{\partial y} = -1 \text{ si rezulta :}$$

$$\boxed{\varepsilon_u = \sqrt{\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2}}$$

B) dacă $u = Ax$ sau $u = x/B$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = A \Rightarrow \varepsilon_u = A \varepsilon_x \text{ si } \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{1}{B} \Rightarrow \varepsilon_u = \frac{\varepsilon_x}{B}$$

C) dacă $u = xy$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = y \text{ si } \frac{\partial u}{\partial y} = x$$

$$\varepsilon_u^2 = y^2 \varepsilon_x^2 + x^2 \varepsilon_y^2 \text{ impartind cu } u^2 = x^2 y^2 \text{ rezulta}$$

$$\boxed{\left(\frac{\varepsilon_u}{u}\right)^2 = \left(\frac{\varepsilon_x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\varepsilon_y}{y}\right)^2}$$

D) $u = x/y$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{1}{y} \text{ si } \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{x}{y^2}$$

$$\varepsilon_u^2 = \frac{1}{y^2} \varepsilon_x^2 + \frac{x^2}{y^4} \varepsilon_y^2$$

Impartind $u^2 = x^2/y^2$ rezulta :

$$\boxed{\left(\frac{\varepsilon_u}{u}\right)^2 = \left(\frac{\varepsilon_x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\varepsilon_y}{y}\right)^2}$$

V. ESTIMAREA ERORILOR IN CAZUL MASURARII UNOR MARIMI FIZICE CU NATURA STATISTICA

Exista fenomene fizice care prin natura lor au un caracter statistic intrinsec. Aceste marimi fizice descriu fenomene probabilistice. Cateva exemple sunt prezentate mai jos :

Experiment	Definitia reusitei	Probabilitatea reusitei
Arunc o moneda	Pajura	1/2
Dau cu zarul	Un sase	1/6
Urmaresc un nucleu radioactiv pentru un timp t	Acest nucleu se dezintegreaza	$1 - e^{-\lambda t}$

Comportarea caracteristica populatiilor formate din particule care au probabilitati egale de a efectua o tranzitie si legi de evolutie in timp in general de forma exponentiala este de tip probabilistic.

Dezintegrarea radioactia si emisiile fotonice in fenomenul de luminescenta subscriu acestui tip de fenomene.

Calculul probabilitatilor arata ca aceste procese pot fi descrise de o lege de distributie Poisson, de forma :

$$P(n) = \frac{n_{med}^n}{n!} \exp(-n_{med})$$

Unde n este numarul de impulsuri n_{med} este valoarea medie obtinuta dintr-un numar mare de masuratori iar P(n) este probabilitatea ca numarul de impulsuri masurate sa fie n.

Particularitatea avantajoasa a distributiei Poisson insa ca deviatia standard a acestei distributii urmatoarea :

$$\sigma = \sqrt{n_{med}}$$

Pentru o singura masuratoare rezultatul se poate da sub forma $n \pm \sqrt{n}$.

Eroarea (abaterea) standard a mediei, in cazul distributiei Poisson poate fi calculata ca:

$$\varepsilon_s = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = \sqrt{\frac{n_{med}}{N}}$$

APLICATIE :

1) Alegerea timpului optim de masurare

O sursa radioactiva se dezintegreaza cu viteza 2500 imp/min. Care este timpul necesar de masurare pentru a obtine o activitatea cu o eroare relativa de 1% pentru un nivel de incredere de 68% in cazul efectuarii unei singure determinari ?

Pentru o singura determinare $n \pm \sqrt{n}$

Eroarea relativa poate fi exprimata ca

$$\varepsilon_{Srel} = \frac{\sqrt{n}}{n} = \frac{1}{\sqrt{n}}$$

De unde rezulta ca pentru a avea o eroare relativa de 1 % un numar de 10000 impulsuri trebuie sa fie inregistrate ceea ce conduce la obtinerea unui timp necesar de numarare de 4 minute.

Bibliografie :

Knoll G.F. (2000)

Radiation Detection and Measurement (800pp, third edition)

John Wiley and sons inc. ISBN: 0-471-07338-6.

LABORATOR 2

STUDIUL FLUCTUAȚIILOR STATISTICE ÎN MASURĂTORI ALE RADIOACTIVITĂȚII MEDIULUI

În toate cazurile s-a constatat că nucleele radioactive se descompun, adică trec într-o altă stare, respectând legile fenomenelor statistice specifice mecanicii cuantice, astfel că probabilitatea de dezintegrare a unui nucleu în unitatea de timp, λ (constanta radioactivă), este independentă de factorii exteriori, fiind aceeași pentru toate nucleele aceleiași specii. În această presupunere, numărul de nuclee dN dezintegrate în timpul dt , se poate scrie:

$$dN = -\lambda N dt$$

care prin integrare pe intervalul $(0, t)$ duce la obținerea soluției :

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

unde N este numărul de nuclee rămase nedezintegrate după timpul t , N_0 fiind numărul total de nuclee la momentul inițial. Dacă în relația (2.2) considerăm $N = N_0/2$, obținem $t = T_{1/2} = \ln 2 / \lambda$ numit timp de înjumătățire, adică timpul după care numărul de nuclee rămase nedezintegrate se reduce la jumătate. Având dată o cantitate de substanță radioactivă (N nuclee), numărul de nuclee dezintegrate în unitatea de timp este: dN/dt . Această mărime se numește activitate și se notează cu

$$\Lambda = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = \lambda N$$

Unitatea de măsură pentru activitate în sistemul internațional este 1Bq (bequerel) care este egal cu o dezintegrare pe secundă. O unitate tolerată pentru activitate este Curiul (1Ci) definit ca activitatea unui gram de radium ($1\text{Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$).

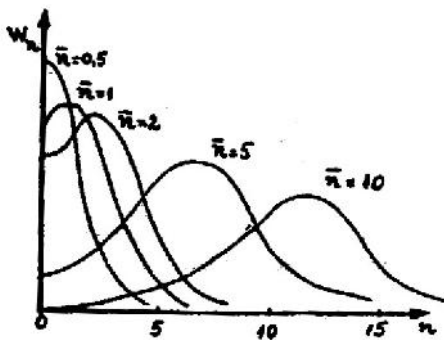
Activitatea unui preparat, împărțită la masa preparatului, se numește activitate specifică și se măsoară în Bq/kg. Deoarece, așa cum am spus, fenomenul de dezintegrare are un caracter statistic, la măsurarea repetată a activității unei surse, în scopul găsirii unei valori medii, se vor obține valori diferite (0, 1, 2, ..., k, ..., n, ...). Probabilitatea de apariție a unei anumite valori k din șirul considerat (frecvența de apariție) se supune legii lui Poisson.

$$w_k = \frac{(\bar{n})^k}{k!} \exp(-\bar{n})$$

unde:

$$\bar{n} = \sum_{i=1}^{\infty} f_i i \quad (2.5)$$

este valoarea medie a mărimii considerate (activitatea) iar f_i este frecvența de apariție a unei valori (i) din șirul de măsurători efectuate. Dependența acestei probabilități este redată. Se observă că pentru $\bar{n} \rightarrow \infty$ distribuția lui Poisson trece într-o distribuție Gauss (vezi cazul $\bar{n}=10$).



Distribuția Poisson pentru diferite valori ale lui $\bar{n}$.

Eroarea absolută (abaterea de la media statistică) atunci când rezultatul îl exprimăm printr-o singură măsurătoare este:

$$\sigma = \sqrt{\bar{n}}$$

iar eroarea relativă

$$\mathcal{E} = \frac{\sigma}{\bar{n}} = \frac{1}{\sqrt{\bar{n}}}$$

În cazul activităților mici, când numărarea se face în prezența fondului (orice detector înregistrează un anumit număr de impulsuri în lipsa unei surse radioactive, impulsuri ce se datorează atât elementelor radioactive naturale diseminate în toate corpurile din vecinătatea detectorului cât și radiației cosmice) eroarea absolută se exprimă prin relația:

$$\sigma = \sqrt{\frac{Rr}{t} + \frac{F}{t_f}} ; R \neq F$$

unde r și F sunt vitezele de numărare în prezența, respectiv absența sursei, iar t și t_f timpii de numărare corespunzători. În particular dacă $t = t_f$, eroarea absolută, respectiv cea relativă vor fi:

$$\sigma = \sqrt{\frac{R + 2F}{t}}$$

$$\varepsilon = \frac{1}{\sqrt{t}} \frac{\sqrt{r + F}}{r - F}$$

Ultima expresie permite determinarea timpului de măsurare t , egal pentru probă și fond, pentru a avea o anumită abatere standard relativă:

$$t = \frac{1}{\varepsilon^2} \frac{r + F}{(r - F)^2}$$

De remarcat că timpul t definit de relația de mai sus trebuie determinat astfel ca viteza de numărare R (cu sursa ipotetic total izolată de fond) să aibă semnificație fizică, adică:

$$R \geq 3 \sigma$$

În acest caz timpul minim de măsură devine:

$$t_m \geq 9 \frac{R + 2F}{R^2}$$

Considerațiile de mai sus sunt adevărate dacă erorile de măsură obișnuite, legate de aparatură, sunt mult mai mici decât abaterile statistice.

A) Verificarea caracterului statistic al fenomenului de dezintegrare radioactiva.

S-a efectuat un numar mare ($N=653$) de masuratori ale fondului radioactiv in apropierea unei surse ionizante ecranate. Numararea impulsurilor a fost facuta timp de 10 minute pentru fiecare masuratoare. Datele obtinute se gasesc in fisierul EXCELL asociat. Numarul de masuratori : $N = 635$

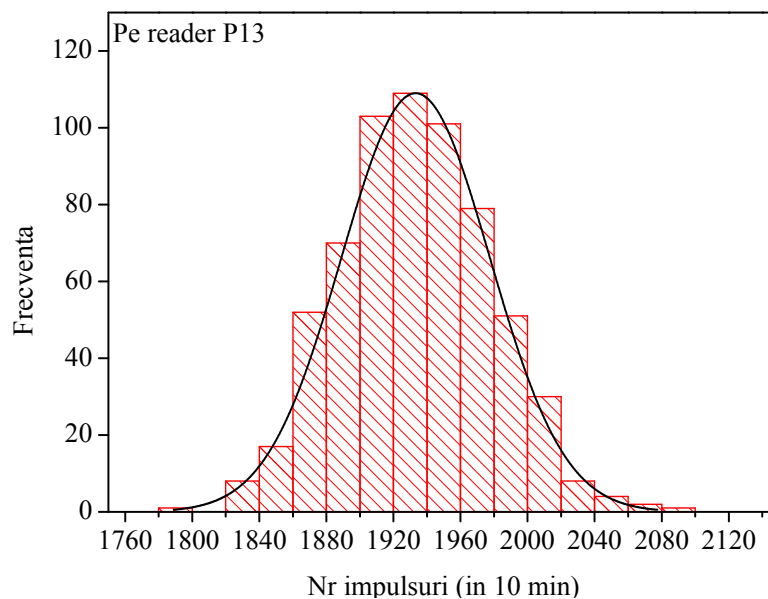
Valorile individuale : $x_i = (1970, 1916, 1794, 1871, 1983, 1895, 1889, 1933, \dots \text{etc})$

(vezi Anexa EXCELL)) impulsuri

Sa se calculeze in in foaia excell : valoare medie, deviatia standard, eroarea standard a mediei si eroarea asteptata a mediei.

Cum interpretati rezultatele ?

Valorile obtinute sunt prezentate in urmatoarea figura :



Distributia experimentală (de tip Gauss) a rezultatelor obținute în măsurarea fondului radiactiv în apropierea unei surse ecranate de ^{90}Sr - ^{90}Y pentru un număr mare de măsurători.

R : Valoarea medie experimentală : $x_{med_exp} = 1933 \text{ imp}$

Deviatia standard : $\sigma = 44.3 \text{ imp}$

$x_{med_exp} + 3 \sigma = 1800 \text{ imp}$

$x_{med_exp} - 3 \sigma = 2066 \text{ imp}$

Eroarea standard a mediei : $\varepsilon_s = 1.76$

Erorile asociate fiecărei măsurători $s_i = \sqrt{x_i} = (44, 44, 43, 42, \dots \text{etc})$ impulsuri

Eroarea așteptată a mediei : $\varepsilon_{asteptat} = 1.74$

$X = 1933 \pm 2 \text{ impulsuri}$

B) Verificarea functionarii corespunzatoare a unui detector NaI : TI

Se executa masuratori ale fondului cosmic cu ajutorul unui detector NaI :TI si a unui numarator NUMEPOR 537 A.

Intervalul de masurare este de 10 secunde (se obtin sub 30 impulsuri).

Se face un numar mare de inregistrari (cateva sute).

Se reprezinta grafic sub forma unei histograme frecventa de aparitie a fiecarei valori.

frecventa de aparitie = de cate ori apare valoare x / numarul total de masuratori

Ce forma are curba de distributie ?

Se calculeaza valoarea medie a distributiei, deviatia standard, eroarea standard si eroare asteptata.

Ce observati ?

Ce se poate spune despre functionarea detectorului ?

LABORATOR 3

SPECTROMETRIA GAMMA CU DETECTOR Ge Hp- ANALIZA CALITATIVA

Introducere

Lucrarea de fata prezinta o metoda de determinare a energiei radiatiilor gamma prin utilizarea unui lant spectrometric cu detector cu semiconductor (Ge hiperpur).

Principalele mecanisme de interactiune ale radiatiilor gamma cu materia care joaca un rol important in detectia si masurarea acestor radiatii sunt: efectul fotoelectric, efectul Compton si formara de perechi.

a) efectul fotoelectric intern

In cazul efectului fotoelectric un foton gamma interactioneaza cu un atom al mediului absorbant iar in urma acestui proces fotonul dispare, in locul lui fiind emis un electron cu energia $E_e = h\nu - E_b$, unde $h\nu$ este energia fotonului incident iar E_b este energia de legatura a electronului in atom.

Electronii aparuti in urma efectului fotoelectric servesc la detectia si cuantificarea energiei radiatiilor gamma deoarece acestia, sau efectele existentei acestora pot fi convertite in impulsuri de curent/tensiune electrica. Impulsurile de tensiune corespunzatoare vor fi proportionale cu energia cuantei gamma obtinandu-se in spectre linia efectului fotoelectric, care din cauza fenomenelor statistice care au loc in lantul detector- analizor apare sub forma asa numitului fotopeak.

b) efectul Compton

Mecanismul de interactiune consta in imprastierea fotonului cu un unghi θ fata de directia initiala. O parte din energia fotonului este transferata electronului cu care are loc interactiunea. Orice unghi de imprastiere este posibil.

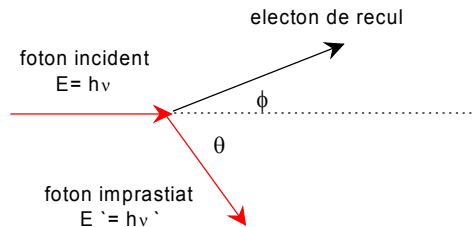


Figura 1 Reprezentare schematica a efectului Compton.

Din legile conservării energiei și impulsului se poate ajunge la :

$$E' = \frac{E}{1 + \frac{(1 - \cos \theta)E}{m_e c^2}}$$

Unde $m_e c^2$ este energia de repaus a electronului, egală cu 510 KeV.

Se poate observa că energia maximă cedată electronului are loc în cazul unei împrăstieri sub un unghi de 180° .

$$E_T = E - E'$$

$$E_{Compton} = E_T(max) = \frac{2E^2}{m_e c^2 + 2E}$$

Electronii aparuti prin efect Compton în detectori produc și ei impulsuri de tensiune proporționale cu energia lor. Din cele spuse mai sus se subînțelege că aceste impulsuri vor avea un spectru continuu de amplitudine variind de la 0 la ($E_{Compton}$). Acest spectru se numește front Compton.

c) formarea de perechi

Efect cuantic de transformare a unui foton cu energie mai mare de 1.02 MeV într-o pereche electron-pozitron în câmpul unui nucleu.

Probabilitatea de realizare a acestor efecte depinde de energia radiațiilor gamma și numărul de ordine al mediului pe care acestea îl strabat. Figura 2 reprezintă această dependență.

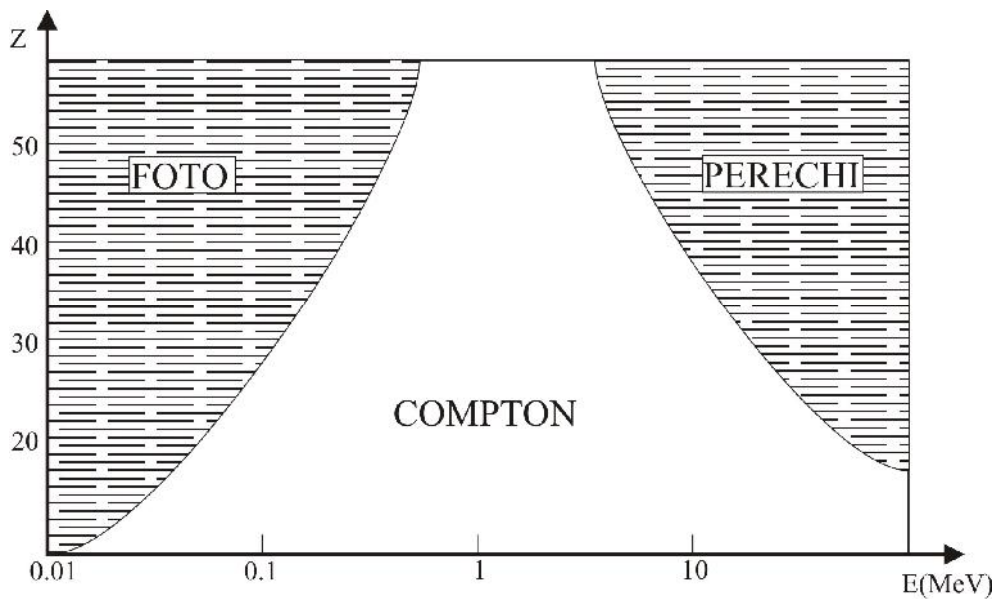


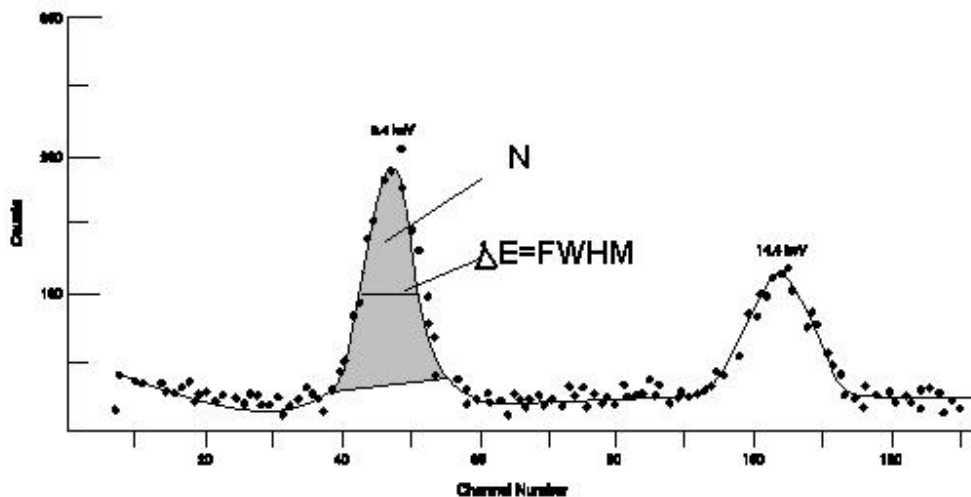
Figura 2: Contributia efectelor fotoelectric, Compton si formare de perechi la atenuarea unui fascicul de radiatii gamma prin strabaterea unui mediu.

Pentru descrierea unui spectrometru gama se folosesc niște parametri principali cum ar fi: **-rezoluția în energie (f)** : diferența de energie a două peakuri pe care aparatul le poate separa, conform definiției:

$$f = \frac{\Delta E}{E_0} \cdot 100$$

unde f –este rezoluția în energie exprimată în procente. În cazul detectorului cu semiconductori rezoluția în energie se definește cu ΔE reprezentând lărgimea la semi-înălțimea (FWHM = full width at half maximum) peak –ului la energia dată în keV, E_0 fiind centroidul peakului (keV).

Rezoluția în energie la un detector dat depinde și de energia fotonului gama, cu creșterea energiei crescând și rezoluția, dar totodată la energia dată depinde și de rata de numărare, cu creșterea ratei de numărare rezoluția în energie scădând. Pentru detectorul de Ge această valoare se încadrează între valorile de 1,8 – 2,7 keV pentru emisia de 1332



keV a Co-60.

Forma generală a unui spectru gama

- **eficiența absolută (ϵ)** : este o mărime care indică fracțiunea din fotonii emiși de sursa gama care ajung să fie înregistrați în spectru sub fotopic.

Se poate calcula astfel:

$$\epsilon = \frac{N}{t_m \cdot A_0 \cdot k_\gamma}$$

unde N- aria netă a fotopeak-ului

t_m - timpul de măsurare

A_0 - activitatea sursei în (Bq) în momentul măsurării

k_γ - yieldul, sau intensitatea relativă (o constantă care ne arată din 100 de dezintegrări ale nucleului de interes câte vor avea ca consecință o emisie γ cu energia de interes)

Determinarea energiei radiatiilor gamma prin utilizarea unui lant spectrometric cu semiconductor Ge (HpGe)

Principiul de functionare al detectorilor cu semiconductori se bazeaza pe creerea de perechi electron-gol la interactiunea radiatiilor gamma cu cristalul. Energia necesara pentru a crea o pereche este de aproximativ 3 eV in cazul cristalelor de Ge. Deoarece aceasta valoare este foarte mica avem un numar mare de purtatori care sunt creati de unde rezulta o foarte buna rezolutie a detectorului (cu un ordin de marime mai buna decat in cazul scintilatorilor). Electronica asociata permite colectarea pulsurilor de curent intr-un numar mare de canale (de ordinul miilor).

Ca exercitiu se da curba de calibrare in energie a detectorului cu semiconductor (Ge hiperpur GMX 30 P4-ST (1.92 keV FWHM si 34.2% eficienta relativa la 1.33MeV) din dotarea laboratorului de Radioactivitatea Mediului. Calibrarea in energie a fost efectuata folosind o sursa standard de Eu. (Figura 3) si trei spectre obtinute cu ajutorul acestui spectrometru (Figurile 4,5,6) care corespund urmatoarelor probe: o sursa lichida de radium, nisip stradal recoltat dupa accidentul de la Cernobil, hidroxid de potasiu, alaturi de tabelul care prezinta energiile emisiilor gamma a catorva radionuclizi de interes.

ENERGIA	NUCLID
Gamma (keV)	
185.4	Ra-226 seria U-238
238.2	Pb-212 seria Th-232
295.1	Pb-214 seria U-238
351.7	Pb-214 seria U-238
510.7	Peak de anihilare
583.1	Ac-228 seria Th-232
609.0	Bi-214 seria U-238
662	Cs-137
768.2	Bi-214 seria U-238
910.9	Ac-228 seria Th-232

968.5	Ac-228 seria Th-232
1120.1	Bi-214 seria U-238
1173	Co-60
1332	Co-60
1237.7	Bi-214 seria U-238
1376.9	Bi-214 seria U-238
1460.1	K-40

Se cere:

a) Identificarea spectrelor

Spectrul 1	
Spectrul 2	
Spectrul 3	

b) Identificarea energiilor emisiilor de interes si a radionucliziilor corespunzatori

Spectrul 1, peak de interes	$E_{\gamma} =$	
Spectrul 2, peak de interes	$E_{\gamma} =$	
Spectrul 3, peak de interes 2	$E_{\gamma} =$	
Spectrul 3, peak de interes 3	$E_{\gamma} =$	
Spectrul 3, peak de interes 4	$E_{\gamma} =$	
Spectrul 3, peak de interes 5	$E_{\gamma} =$	
Spectrul 3, peak de interes 6	$E_{\gamma} =$	
Spectrul 3, peak de interes 7	$E_{\gamma} =$	

c) Calcularea valorii frontului Compton pentru emisia Cs-137 de la 662 KeV.
Verificati valoare obtinuta cu ajutorului spectrului.

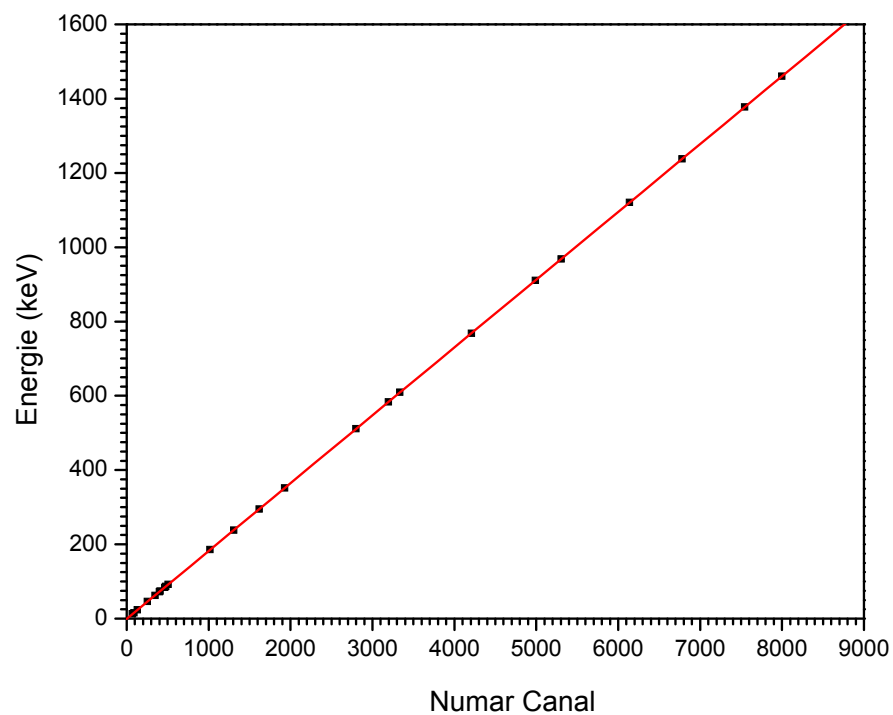


Figura 3: Calibrarea energtica a lantului spectrometric cu detector Ge Hp.

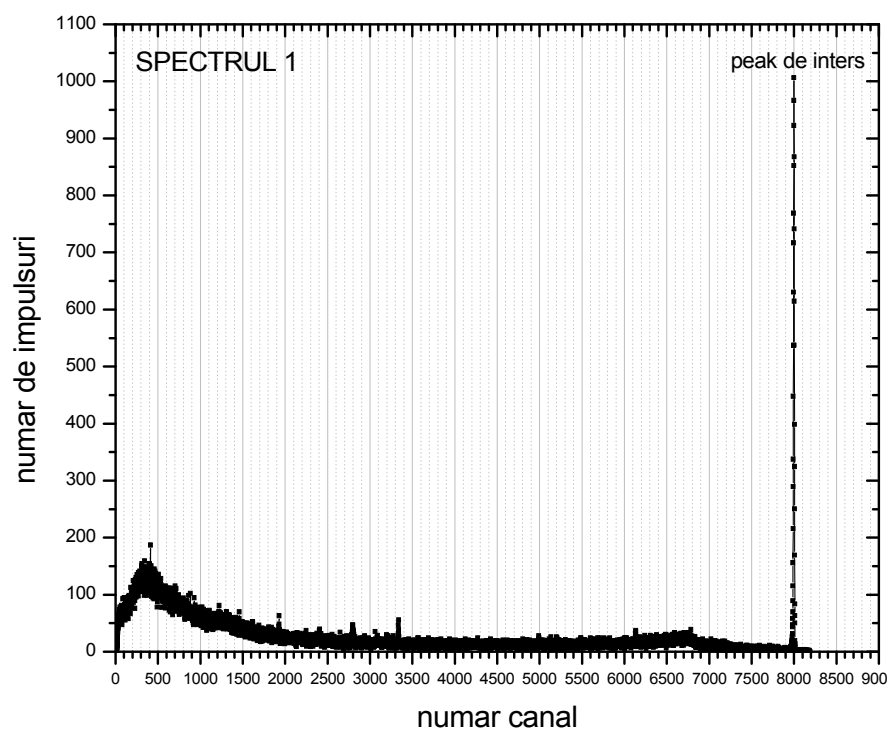


Figura 4. Spectrul 1.

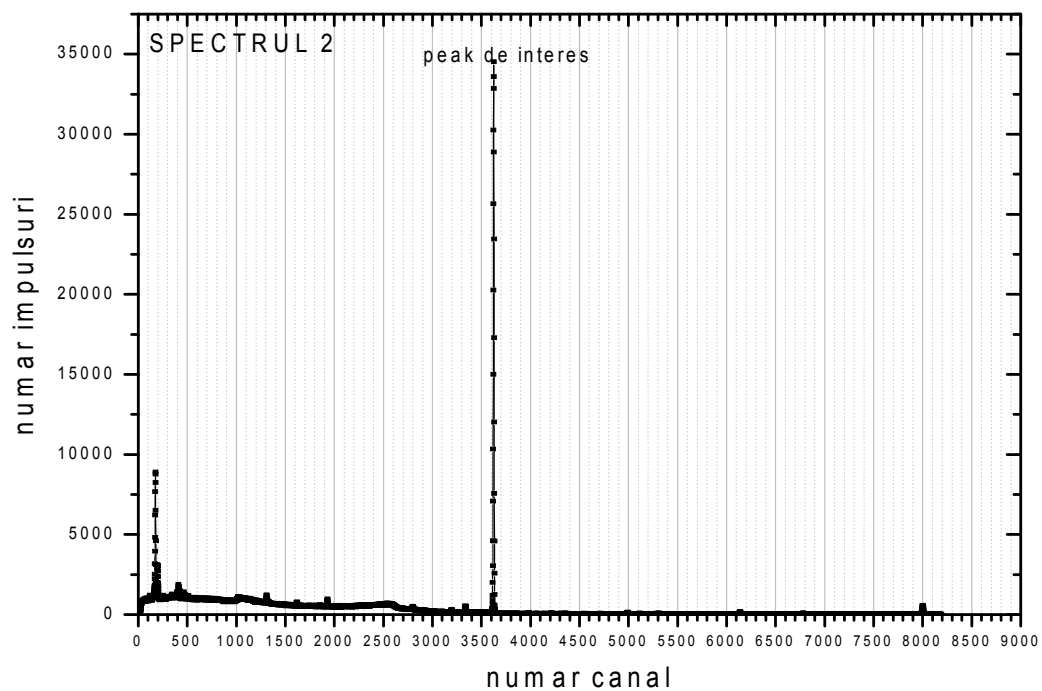


Figura 5. Spectrul 2

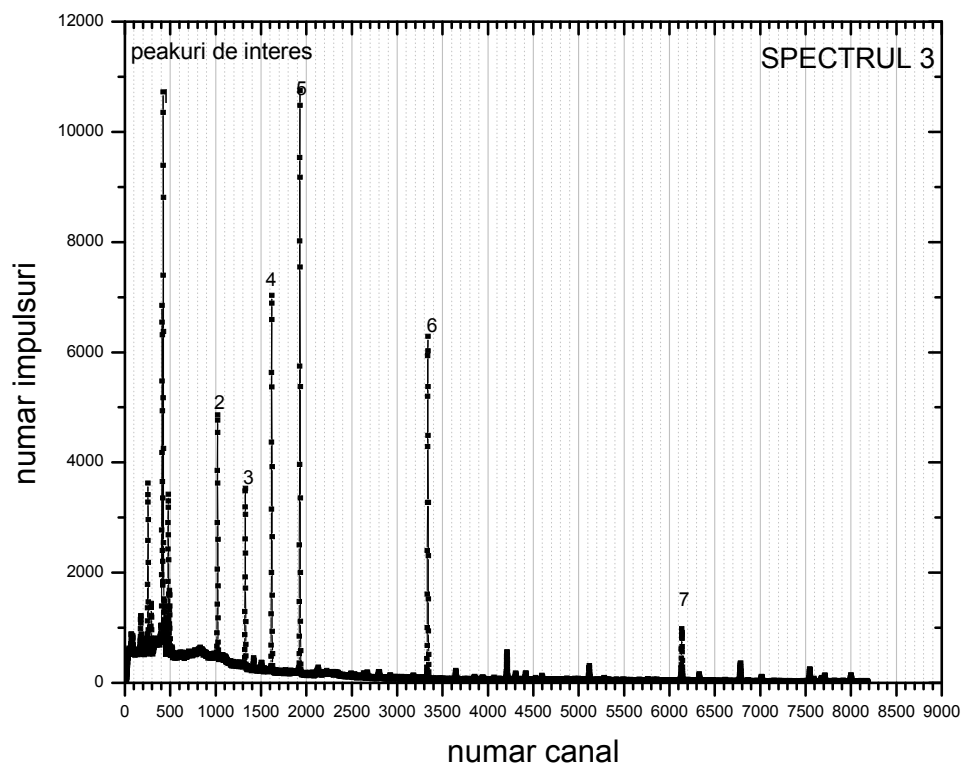


Figura 6. Spectrul 3

LABORATOR 4

SPECTROMETRIA GAMMA CU DETECTOR NaI: Tl - ANALIZA CANTITATIVA

Metoda spectrometriei cu cristale cu scintilație se bazează pe proprietatea acestora de a transforma energia radiațiilor γ în energie luminoasă care apoi este transformată în energie electrică cu ajutorul unui fotomultiplicator. Una dintre cele mai utilizate substanțe scintilatoare este iodura de sodiu activată cu talu: NaI(Tl). Impuritățile (atomii de talu) vor constitui centre de luminescență. Excitarea centrelor este făcută de electronii secundari ce apar în urma interacțiunii radiației γ cu substanța prin cele trei efecte: efectul fotoelectric, efectul Compton și formarea de perechi electron-pozitron.

Lumina emisă de aceste substanțe este convertită în electroni care sunt multiplicați cu ajutorul unui fotomultiplicator, obținându-se la ieșirea acestuia un puls a cărui amplitudine este proporțională cu energia pierdută de particulă sau foton în substanța luminescentă. Particula încărcată sau fotonul pătrunde în cristalul de scintilație și prin ionizare se formează electroni și ioni în interiorul cristalului.

O parte din electroni se recombina cu ionii din cristal și are loc emisia unei radiații luminoase; în cazul cristalului de iodura de sodiu activată cu talu, NaI(Tl), lungimea de undă a radiației emise este de $\sim 4200\text{\AA}$. Lumina emisă cade pe fotocathod; sub acțiunea luminii sunt emiși fotoelectroni care sunt multiplicați succesiv de electrozii fotomultiplicatorului.

Rezoluția acestor detectori este mai scăzută decât a detectoarelor cu semiconductori după cum se poate vedea din spectrul de mai jos (comparativ cu spectrul prezentat în lucrarea precedentă).

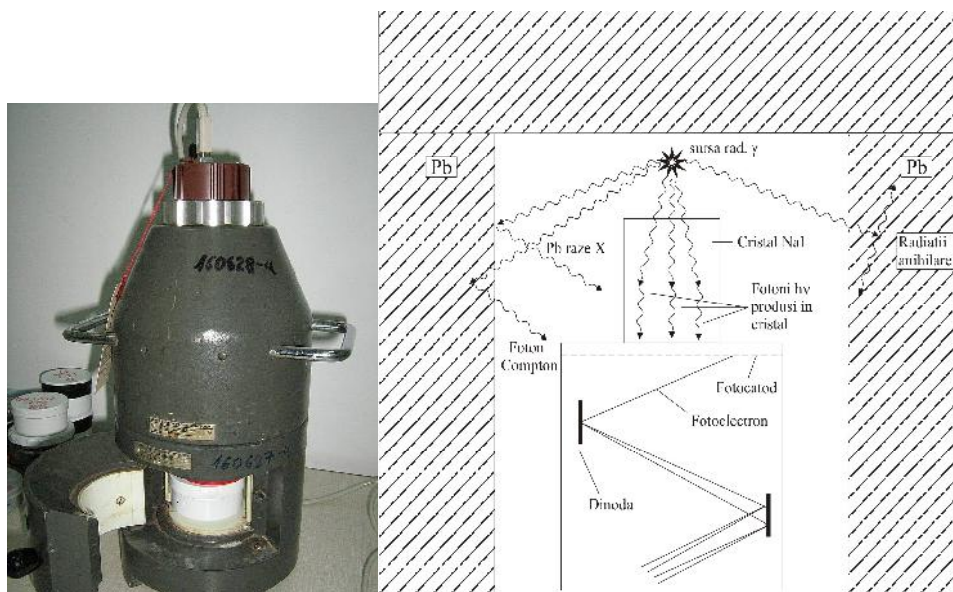


Figura 1: Principalele procese care au loc la detectia radiatiilor gamma cu detector NaI:TI

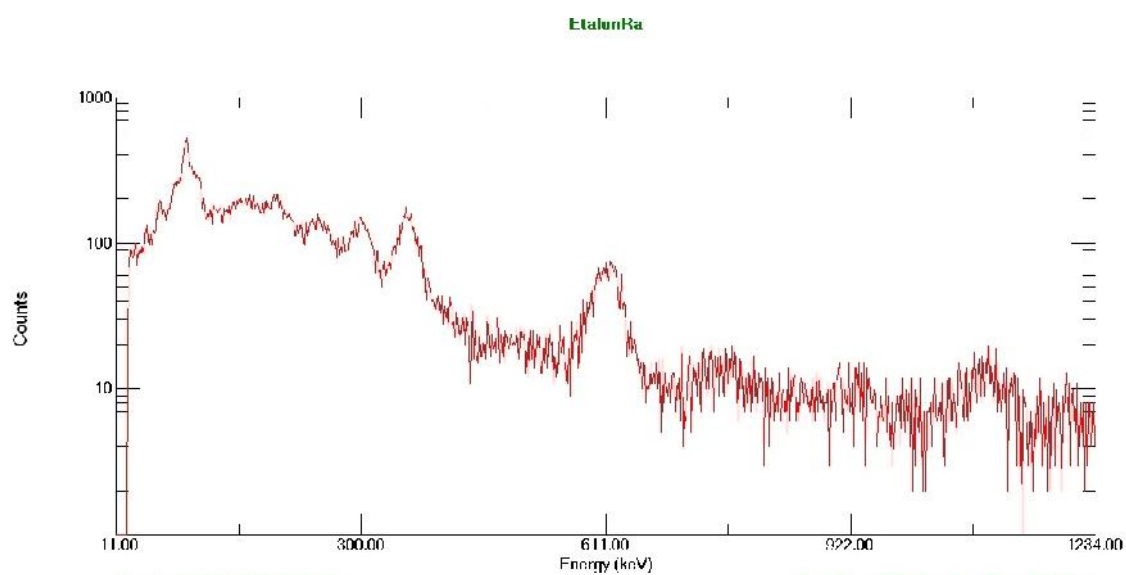


Figura 2 : Spectrul unei surse de rادیu obținut cu detector NaI:TI

Scopul acestei lucrări este analiza cantitativă a spectrului unei probe ce conține Rادیu utilizând un detector Na I: TL

În lucrarea precedentă s-a definit eficiența absolută a unui detector ca:

$$\varepsilon = \frac{N}{t_m \cdot A_0 \cdot k_\gamma}$$

N- aria netă a fotopeak-ului

t_m- timpul de măsurare

A₀- activitatea sursei în (Bq) în momentul măsurării

k_γ- yieldul, sau intensitatea relativă (o constantă care ne arată din 100 de dezintegrări ale nucleului de interes câte vor avea ca consecință o emisie γ cu energia de interes)

Prin urmare pentru determinarea activității necunoscute a unui radionuclid dintr-o sursă de interes este suficientă determinarea ariei nete a fotopeakului generat de radiațiile gamma emise de acest radionuclid și compararea acesteia cu aria netă obținută în urma măsurării unei surse etalon (cu activitatea cunoscută) determinată în urma efectuării de măsurători în aceleași condiții;

Mod de lucru:

Se introduce sursa etalon în castelul de plumb, sub detector.

Se deschide softul de achiziție MAESTRO.

Îndrumatorul de laborator identifică detectorul și ridică tensiunea pe fotomultiplicator.

Se achiziționează spectrul pentru etalon (opțiune Start acquisition) timp de 30 minute.

Se salvează spectrul. Se identifică peakurile de interes (352 keV Pb-214 seria U-238 și 609 keV Bi 214 din seria U-238). Se selectează peakurile și se marchează regiunile de interes. (click stânga- select peak/ click dreapta- mark ROI/ peak info). Se notează ariile nete și se calculează intensitățile acestor peakuri. (aria netă împărțită la timpul real de achiziție (live time)).

Se repetă aceleași operațiuni pentru sursa necunoscută.

Peakurile 352 keV Pb-214 seria U-238 și 609 keV Bi 214 din seria U-238 pot fi folosite pentru determinarea activității Ra -226. Explicați.

Stiind ca activitatatea Ra -226 pentru sursa etalon este de **4938 Bq/ kg**, determinati activitatea nuclidului Ra-226 din sursa necunoscuta.

	352 KeV		609 KeV	
	Aria neta peak	Activitate	Aria neta peak	Activitate
ETALON				
SURSA NEC				
Act Ra-226 in sursa necunoscuta				

LABORATOR 5

DOZIMETRIA RADIATIILOR NUCLEARE CU DETECTORI ACTIVI

Principii și concepte de bază ale dozimetriei

Câmpul de radiații este o regiune din vid sau din substanța străbătută de radiații generate de surse concentrate sau distribuite.

Radiațiile sunt alcătuite din cuante sau particule, fie că este vorba de corpusculi (electronii), fie că este vorba de cuante ale câmpului electromagnetic (fotonii). O caracterizare completă a câmpului de radiații necesită specificarea naturii particulelor, distribuției spațiale, energiei particulelor, direcției particulelor.

Mărimi dozimetrice fundamentale

Kerma și doza absorbită

Ambele mărimi sunt legate de transferul energiei de la fasciculul primar de radiații către mediul iradiat.

Kerma se referă la energia cedată de fascicul în elementul de masă considerat

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm}$$

în care dE_{tr} este energia cinetică transferată prin interacții de către fotoni particulelor încărcate secundare (electroni). Interacțiile fotonilor și eliberarea electronilor secundari au loc în elementul dm considerat, dar energia purtată de electronii secundari nu este cedată acolo decât parțial.

În schimb, mărimea care ține seama de energia absorbită, deci rămasă în elementul dm este doza absorbită :

$$D = \frac{dE}{dm}$$

Acest aport energetic este datorat unor electroni secundari eliberați în parte în afara lui dm .

Ambele mărimi au unitatea în SI : $J \cdot Kg^{-1}$, care a primit numele special de gray (Gy).

În trecut a mai fost folosită, și este în prezent tolerată, unitatea rad, între ele existând relația

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

Pentru ambele mărimi se definește și derivata în raport cu timpul :

debitul kermei :

$$\dot{K}=\frac{dK}{dt}$$

și debitul dozei :

$$\dot{D}=\frac{dD}{dt}$$

exprimate în $\text{Gy}\cdot\text{s}^{-1}$.

Trebuie subliniat faptul că în timp ce mărimea doză absorbită se referă la orice tip de radiație ionizantă, direct sau indirect, mărimea kerma se referă la radiații indirect ionizante (fotoni și neutroni).

Expunerea

Expunerea se aplică numai pentru radiații X și γ . Este o măsură a ionizării doar în aer și nu poate fi folosită pentru energii ale fotonilor de peste 3 MeV.

$$\text{Expunerea se definește ca raportul : } X = \frac{dQ}{dm}$$

în care dQ este valoarea absolută a sarcinii electrice totale a ionilor de un singur semn, produși în aer, când toți electronii (negatronii și pozitronii) eliberați de fotonii Roentgen și gamma în masa de aer dm sunt complet opriți în aer. Unitatea de măsură în SI este $\text{C}\cdot\text{Kg}^{-1}$.

Mai este tolerată și vechea unitate, **roentgenul (R)** :

$$1\text{R}= 2,58\cdot 10^{-4}\text{ C}\cdot\text{Kg}^{-1}$$

Roentgen-ul este definit ca și doza de radiație a cărei emisie corpusculară asociată produce ioni cu sarcina egală cu 1 Franklin ($1\text{F}= 3.3\cdot 10^{-10}\text{C}$) într-o masă de $1.293\cdot 10^{-6}\text{kg}$ de aer(1cm^3 aer).

Echivalentul dozei

Deoarece efectele biologice ale radiațiilor ionizante în general și ale radiațiilor X și gamma în particular sunt puternic dependente de doza absorbită într- un mediu biologic iradiat (țesut, organ, organism, populație), conceptual de doză absorbită își găsește o

utilizare dintre cele mai importante în radiobiologie și radioprotecție. S-a constatat însă că doza absorbită nu este singura mărime de care depinde efectul biologic; dimpotrivă, acesta variază și în funcție de țesutul și organul țintă, de calitatea radiației (TLE), precum și de care anume sindrom este considerat ca indicator. Din această cauză, s-a introdus un factor denumit eficacitate biologic relativă (EBR) care multiplică doza absorbită pentru a rezulta o mărime care se corelează mai strâns cu efectul biologic.

Pentru probleme de rutină legate de radioprotecție, multitudinea de valori și dependența complexă a RBE este un dezavantaj. De aceea s-a decis definirea unui factor de pondere denumit *factor de calitate* Q , nedimensional, care înglobează valorile corespunzătoare ale EBR și depinde monoton numai de L_{∞} . Pentru radiațiile X și gamma, de TLE relativ scăzut, se consideră în general $Q=1$.

Doza absorbită modificată prin multiplicare cu acest factor de calitate și, eventual, cu alți factori de pondere potrivit aleși, numai pentru scopuri curente de radioprotecție, a fost denumită *echivalentul dozei* : $H = DQ$.

Unitatea pentru echivalentul dozei H , în SI, rămâne aceeași ca și pentru doza D , adică $J \cdot Kg^{-1}$ dar a primit numele special de sievert (Sv) . Se mai poate folosi temporar unitatea veche, tolerată, *rem*. Debitul echivalentului dozei :

$$\dot{H} = \frac{dH}{dt}$$

se măsoară în Sv $\cdot s^{-1}$ sau în vechea unitate *rem* $\cdot s^{-1}$ cu relația : $1 Sv \cdot s^{-1} = 100 rem \cdot s^{-1}$.

Scopul lucrării constă în **masurarea debitului dozei** unei surse radioactive (minereu de uranium natural) folosind două tipuri de dozimetre active:

Doziport 537 (echipat cu un contor Geiger Muller incapsulat într-un cilindru de aluminiu)

valorile obținute sunt exprimate în **mrem/h**

Gamma Scout (echipat cu detector cu corp solid)

valorile obținute sunt exprimate în **μSv/h**

Se măsoară debitul dozei în funcție de distanța de la sursa radioactivă din 5 în 5 cm.

Se reprezintă grafic această dependență. Din considerentele geometrice ale câmpului de radiații tip de funcție matematică reprezintă această dependență?

LABORATOR 6

DOZIMETRIA RADIATIILOR NUCLEARE CU DETECTORI PASIVI DOZIMETRIA PRIN TERMOLUMINESCENTA

Fenomenul de termoluminescenta

Emisia luminii de către un corp se poate face prin două tipuri de procese denumite generic incandescență și luminescență. Prin incandescență se înțelege emisia luminii cu spectru specific temperaturii. Toate celelalte procese de emisie a luminii care au loc prin excitarea pe alte căi a atomilor și moleculelor unui corp poartă numele de luminescență.

Fenomenul de termoluminescență se referă la emisia radiației optice de către anumite materiale, fenomen produs din alte cauze decât încălzirea respectivului material până la incandescență. Această emisie reprezintă eliberarea unei cantități de energie stocată în solid prin diferite moduri de excitație a sistemului său electronic.

Materialele ce au proprietăți termoluminescente sunt capabile să înmagazineze energia radiațiilor ionizante, transformând această energie sub acțiunea excitației termice în semnal luminos. Acest fenomen a fost propus a fi utilizat pentru măsurarea dozelor de radiațiilor ionizante de către fizicianul D. Daniels în anul 1953.

Aplicarea cu succes a fenomenului de termoluminescență în dozimetria radiațiilor a fost practic urmarea descoperirii proprietăților deosebite ale fluorului de litiu (LiF) și oxidului de aluminiu (Al_2O_3). Din acel moment au fost făcute diverse studii fiind aprofundate proprietățile multor materiale în scopul realizării unor dozimetre cu caracteristici cât mai adecvate pentru utilizarea lor în diferite domenii. Tot odată dozimetria retrospectivă a avut de câștigat datorită faptului că multe materiale cristaline existente în roci, sedimente sau materiale de construcție acumulează informație TL în urma expunerii la radiații. Pe baza acestui fenomen a fost dezvoltată și o adevărată procedură pentru datare în cazul ceramicii, a straturilor de arsură, a rocilor și mai recent a sedimentelor.

În cadrul fenomenului de termoluminescență pot fi delimitate două faze :

- etapa de iradiere
- etapa de încălzire.

a) Faza de iradiere

În limbajul benzilor de energie nivelele energetice ale defectelor cristalelor sunt nivele locale situate în interiorul benzii interzise. Iradierea produce ionizarea mediului prin urmare în material apărând electroni liberi. Aceasta echivalează cu transferul electronilor din banda de valență în banda de conducție (fenomen reprezentat în figura 1 prin 1). Acești electroni sunt liberi să se deplaseze prin cristal până când vor fi captați de anumite defecte (processe reprezentate prin 2, 3).

Producerea electronilor liberi este asociată cu generarea de goluri libere care se comportă ca și sarcini pozitive care pot de asemenea migra, în termeni energetici, prin banda de valență până când pot fi captate de capcane de goluri (processele 2' și 3'). Multe capcane de goluri sunt instabile termic chiar și la temperatura camerei și putem avea trecerea golului din nou în banda de valență (4'). Electronii capturați vor rămâne însă în anumite dintre capcane pentru un timp suficient de lung în cazul în care nu primesc un surplus energetic.

b) Faza de încălzire

Electronii capturați pe nivelele metastabile pot acumula energiei ajungând în banda de conducție. Din acest moment electronii pot suferi următoarele procese

- recapturare de către defecte
- cădere în banda de valență (tranzițiile radiative ale electronilor din banda de conducție în banda de valență crează o radiație a cărei cunată energetică mai mare sau egală cu cea corespunzătoare benzii interzise ce este cu o mare probabilitate reabsorbită-fenomen de autoabsorție)
- recombinarea radiativă cu un gol într-un centru luminescent

Prin recombinarea electronilor cu golurile în centri de luminescență (procesul 5), excesul de energie este eliberat sub formă de radiație UV sau VIS.

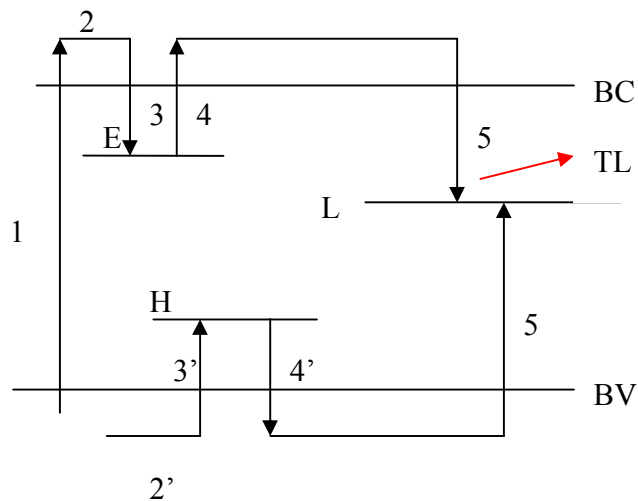


Figura 1 : procese produse la iradierea și încălzirea unui fosfor

Dozimetria termoluminescentă este o ramură a dozimetriei cu corp solid, fiind o metodă relativă de determinare a dozelor. Prin urmare aplicarea cu succes a acestui fenomen este dependentă de caracteristicile unui întreg sistem ce constă din:

- detectorul TL propriu-zis
- instalația de termoluminescență
- sursa de calibrare
- ciclul de măsurare incluzând evaluarea matematică a rezultatelor

Instalația de termoluminescență

Curba de strălucire a unui material termoluminescent care a fost supus unei iradiere se obține prin încălzirea acestuia în instalația de termoluminescență (termoluminimetru).

Schema bloc de principiu a unei astfel de instalații este prezentată mai jos :

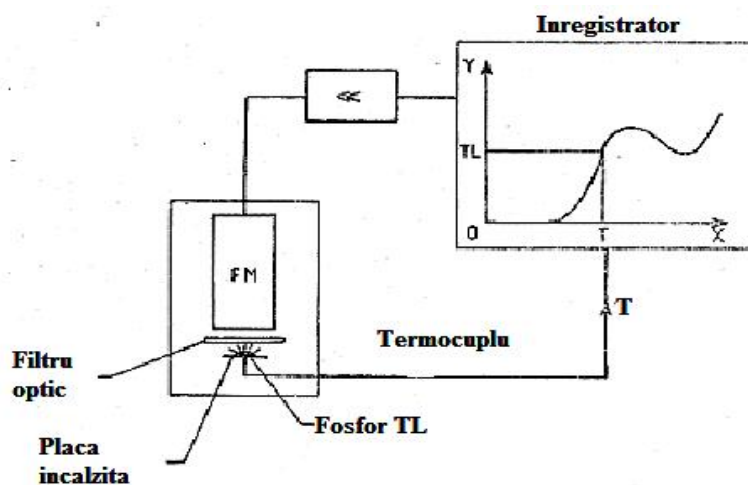


Figura 2: Schema unei instalații de măsurare a TL

Părțile componente ale instalației sunt :

- sistem de încălzire (cuptor) cu termocuplu pentru măsurarea temperaturii;
- ansamblu fotomultiplicator FM, preamplificator, amplificator pentru măsurare emisie luminoase;
- filtru optic pentru extragerea la maxim a luminii datorate emisie termice;
- sistem de prelucrare a datelor și de afișare a rezultatelor;

Calitatea de dozimetru TL

Numarul de materiale ce prezintă fenomenul de termoluminescență este impresionant (peste 2000 de materiale naturale) însă utilizarea lor in dozimetrie este limitată de o serie de cerințe cum ar fi:

a) o eficiență sau sensibilitate cât mai mare care se exprimă prin

$$\eta = \frac{E_{TL}}{m \cdot D}$$

unde : E_{TL} este energia emisă sub formă luminescentă

m este masa fosforului iar D doza absorbită de acesta.

Sensibilitatea depinde de mulți factori cum ar fi compoziția chimică a materialului, concentrația și tipul de activatori, forma fizică a detectorului (chip sau pulbere) tipul de instalație.

b) o omogenitate cât mai mare a grupului de dozimetre folosit. Aceasta se referă la deviația sensibilității detectorilor într-un grup. Poate fi exprimată ca deviația standard față de valoarea medie a tuturor dozimetrelor folosite într-un anumit experiment.

c) reproductibilitatea cât mai bună . Această cerință este legată de faptul că în anumite materiale s-a sesizat o creștere a sensibilității ca rezultat a unei iradiieri urmate de o călire sau o pierdere a sensibilități în urma unei utilizări îndelungate.

d) stabilitate cât mai mare. Este de dorit ca odată ce dozimetrul este iradiat potențialul semnal TL să rămână stabil înainte de momentul încălzirii, adică practice a citirii.

e) o poziție convenabilă a maximelor de emisie , deci o adâncime convenabilă a capcanelor. Prezența a unor nivele superficiale de captură a electronilor dă o instabilitate în timp (atenuare) a semnalului TL, iar nivele foarte adânci ridică probleme de separare a radiației emise de incandescență.

f) un spectru de emisie pentru care se dispune de fotomultiplicatoare și filtre corespunzătoare (domeniul optim este 300-500 nm.).

g) liniaritate a semnalului în funcție de doză.

h) Independență de debitul dozei.

i) Insensibilitate la diferite mărimi de influență, domeniul larg de liniaritate a dozelor, proprietăți convenabile de stocare și manipulare, preparare simplă, cost redus.

Curbe de strălucire

Curba de strălucire a unui fosfor reprezintă dependența semnalului luminos emis (a cantității de energie eliberate) în funcție de temperatura la care acesta este încălzit. Această dependență oferă informații despre adâncimea și stabilitatea capcanelor.

Pentru ca un fosfor să fie un bun dozimetru curba de strălucire trebuie să fie bine rezolvată iar majoritatea capcanelor să fie stabile pe o perioadă lungă de timp dar totodată nu foarte adânci pentru ca maximele de emisie să nu apară la o temperatură la care radiația de corp negru să fie dominată.

Temperature precisă de înregistrare precum și rezoluția fiecărui peak depinde de viteza de încălzire. Pentru scopuri dozimetrice practice sunt folosite în general peakurile din jurul temperaturii de 200 grade Celsius.

Figura 3 prezintă curbele de strălucire ale dozimetrelor de proveniență poloneză MCT (LiF : Mg, Ti) obținute în urma iradierii și citirii cu un dispozitivul Harshaw 2000C.

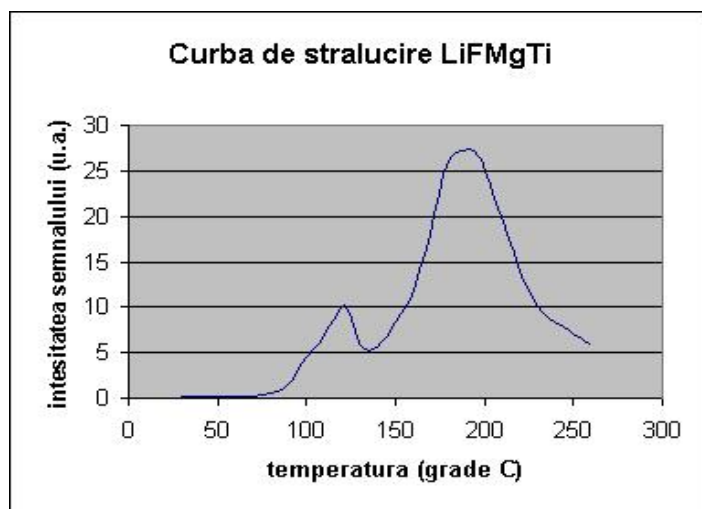


Figura 3: **Curba** de strălucire a LiF: Mg, Ti.

Răspunsul TL la doza absorbită- curba de calibrare

Comportarea răspunsului termoluminescent în funcție de doza absorbită a fost determinată în prealabil cu ajutorul dispozitivului Harshaw 2000. Se observă că avem un răspuns liniar (Figura 4). Intervalul termic de citire a fost 150-240 ° C. Tensiune aplicată pe fotomultiplicator fiind de 270 V

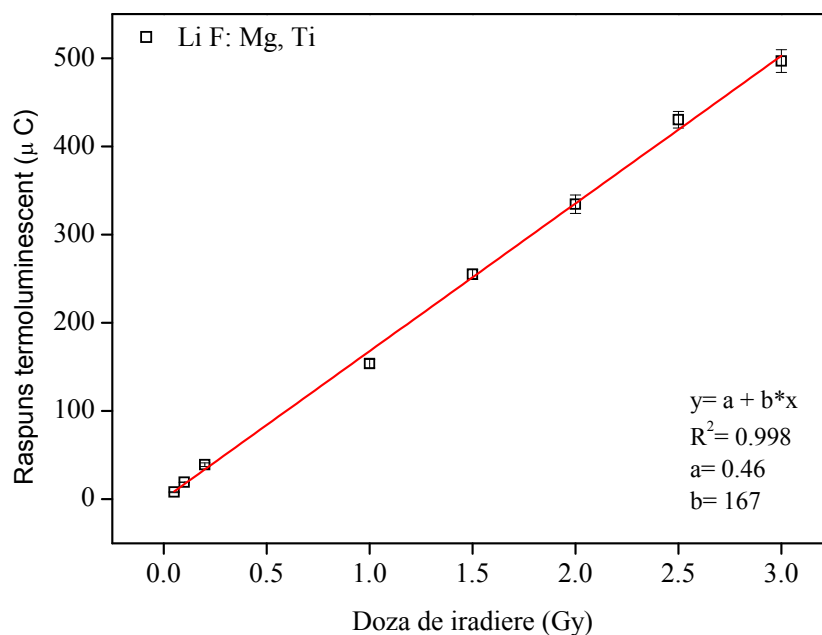


Figura 4 curba de răspuns TL la doza absorbită.

Pe baza acestui răspuns, folosind aceiași parametrici experimentali se va determina doza necunoscută la care au fost expuse un set de 5 dozimetri.

Datele se completează în următorul tabel:

Nr. Dozimetru	Răspuns luminescent	Doza (Gy)	Doza Absorbită (medie) (Gy)	Deviația Standard	Eroarea standard a mediei
1					
2					
3					
4					
5					

LABORATOR 7

STUDII ASUPRA RADONULUI DIN APA

I. Radonul în apă

Concentrațiile de radon din apă variază în limite foarte largi. Sursele de apă pot fi clasificate ca: ape de suprafață, ape subterane și ape de foraj. În timpul condensării și formării picăturilor de ploaie o mică contribuție este adusă de radonul din atmosferă (aproximativ 50 Bqm^{-3}). Apele de suprafață conțin mai puțin de 2000 Bqm^{-3} radon, în timp ce apele subterane, în funcție de viteza de regenerare a depozitului și de cantitățile de Ra și U din apă și din sol, pot conține radon dizolvat în limitele $20 - 44000 \text{ Bqm}^{-3}$.

Un studiu al alimentărilor cu apă, incluzând peste 3000 de probe din 42 de state (SUA), a dat o medie geometrică de 5180 Bqm^{-3} cu o deviație standard de 3530 Bqm^{-3} . Un alt studiu, efectuat pe un număr similar de probe tot din SUA, a obținut o valoare medie de 6920 Bqm^{-3} .

Concentrațiile de radon din cele trei categorii de ape diferă foarte mult de la o categorie la alta și pot să difere mult chiar în cadrul aceleiași categorii. Gradul de utilizare a acestor ape diferă de asemenea mult în funcție de categorie și de țară. Raportul UNSCEAR din 1988 adoptă o valoare de referință de 1000 Bqm^{-3} specificând totuși că țări ca Finlanda și Suedia au valori medii ponderate pe populație de peste 30000 Bqm^{-3} . Măsurătorile din sudul Finlandei asupra apelor de foraj au dat o valoare mediană a concentrație radonului de 210000 Bq m^{-3} obținându-se doar în locuri izolate valori apropiate de 50 MBqm^{-3} .

Radonul din apă este îndepărtat încet prin difuzie moleculară, rate mari de ieșire se înregistrează la încălzirea și agitarea acesteia. Deși în unele utilizări gospodărești cantitatea de radon ieșit din apă este mare, până la 98% la utilizarea dușurilor și spălatul vaselor, contribuția la radonul de interior (40 Bq m^{-3}) este estimată ca fiind de numai 0,5 - 3%. Radonul din apă nu poate contribui ca o sursă majoră de radon de interior.

În ceea ce privește radonul din apa mărilor și oceanelor acesta este în general la echilibru cu Ra-226 și are o valoare aproximativă de 4 Bq m^{-3} , excepție făcând statul de

la suprafață. Procesul de evaporare contribuie de asemenea la sărăcirea stratului superficial marin.

Sursa radonului detectat în apele subterane este în formațiunile geologice ale solului. Radonul conținut în apele subterane este controlat de la distanță de sursă prin conductivitatea hidraulică sau de viteza de curgere, ceea ce face posibil transportul orizontal al radonului de-a lungul faliilor. Anomaliile temporale ale radonului și domeniul variat de fluctuații au fost corelate cu activitatea seismică. Apele de zăcământ din zonele petroliere conțin radon cu valori a concentrației situată în intervalul 0,2 - 60 BqL⁻¹, uraniul natural fiind în concentrații comparabile cu cea a apelor freatice sau de suprafață.

Măsurători ale concentrației radonului în apa subterană arată ca valorile depind de porozitate și de coeficientul de emanație a solului. Situația diferă în apa aflată în fisurile din roca de bază, unde concentrația de radon este adesea considerabil mai mare decât în piatra din mediul ambiant. Granitul de exemplu are concentrația în uraniu de 12 ppm (148 Bqkg⁻¹), concentrația de Ra-226 se presupune a fi în echilibru cu acesta. Deci 400000 atomi de radon pe metru cub de piatră sunt formați și dezintegrați pe secundă în granit. Activitatea concentrației de radon în granit este de 400 kBqm⁻³. Concentrația Rn în fisură poate apoi să se ridice la zece milioane Bqm⁻³.

Apele geotermale, asemenea celor de zăcământ, se caracterizează printr-o concentrație crescută de Ra – 226. De aceea riscul de iradiere la acest tip de ape depinde în mare măsură de modul lor de utilizare. Folosirea lor la încălzirea locuințelor, ca apă menajeră, în unele procese semiindustriale ca topitul inului și a cânepei, dar și pentru tratamente în stațiunile balneoclimaterice duc la o iradiere suplimentară a populației.

Utilizarea apelor minerale și termale cu o concentrație mare de radon în diferite scopuri (apa de masă, tratamente medicale, sursă de căldură) duce la creșterea concentrației de radon în locul unde sunt folosite. Apele minerale prezintă o radioactivitate naturală ridicată, aportul la aceasta fiind adus de izotopi radioactivi dizolvați din rocile cu care a venit în contact bazinul hidromineral sau prin dizolvarea radonului rezultat din dezintegrarea radiului.

II. Metode specifice de măsurare a radonului din apa

1. Metodele fontactoscopice

Diferite tipuri de metode fontactoscopice, aplicate mai cu seamă în trecut la evaluarea radioactivității apelor naturale se bazează pe principiul camerelor de ionizare. Proba de apă este introdusă direct în camera de ionizare care face corp comun cu un electroscop. Concentrația de radon se evaluează din viteza de descărcare a electroscopului încărcat în prealabil, utilizând un microscop prevăzut cu o scală micrometrică. Descărcarea electroscopului este proporțională cu ionizarea aerului produs de gazul radon degajat din apă. Precizia măsurătorilor fontactoscopice este mult limitată de umiditatea variabilă a aerului din camera de ionizare.

2. Metoda circulației

Metoda circulației se bazează pe utilizarea unui electroscop de tip Schmidt prevăzut cu o cameră de ionizare. Proba de apă se recoltează direct din izvor, într-un vas Curie vidat în prealabil. După agitare, o parte din radonul dizolvat în apă se separă în volumul de aer de deasupra apei. Aerul conținând radon circulă prin camera de ionizare. (volumul camerei fiind de 0,5 litri). Circulația aerului se realizează cu ajutorul unei pompe. Camera de ionizare este cuplată la un electroscop. Radonul din vasul se va împărți între volumul V_1 (camera de ionizare), V_2 (pompa și conductele) și V_3 (volumul de deasupra apei). Efectul produs de radonul introdus în camera de ionizare va trebui înmulțit cu raportul:

$$\frac{V_1}{V_1 + V_2 + V_3}$$

pentru a obține cantitatea de radon din întregul sistem.

3. Metoda prin barbotare

Aceasta metoda se folosește în cazul determinărilor de radon sau de concentrații de radon relativ mici, ea este o metodă îmbunătățită a metodei circulației prin uscarea aerului introdus în camera de ionizare care are un volum marit de până la 3 litri.

4. Metoda prin repartiție

Metoda prin repartiție a fost folosită, cu scopul de a înlătura erorile apărute la metodele descrise anterior. Proba de apă, de circa 1,5 litri, se ia prin absorbție, direct de la sursă într-un cilindru gradat cu capacitatea de 2,5 litri în prealabil vidat. Prin acest mod de prelevare a probei, aceasta nu intra în contact cu mediul exterior și radonul dizolvat în apă trece în vas, împreună cu toate gazele dizolvate în apă. Vasul care conține proba de apă se agită puternic, stabilindu-se echilibru între concentrația radonului din apă și aerul de deasupra ei. Aerul din vas trece, prin intermediul unui tub de uscare în camera de ionizare, vidată în prealabil. Determinarea radonului intrat în camera de ionizare se face prin compararea curenților de ionizare produși de radonul de determinat, și respectiv de o cantitate cunoscută de radon provenită dintr-o soluție etalon de radon. Măsurătorile se fac după trei ore de la introducerea radonului în aparat când între radon și descendenții săi RaA, RaB, RaC se stabilește echilibru radioactiv și creșterea rapidă a conductibilității camerei a luat sfârșit.

5. Metoda prin scintilație

Determinarea radonului din ape și gaze naturale se poate face și prin măsurarea radiației α a produșilor de dezintegrare RaA, RaB și RaC, care formează depozitul activ al acestuia.

În cazul apelor, radonul din proba de apă, prelevat într-un vas de barbotare Curie este antrenat împreună cu aerul de deasupra apei într-o camera de scintilație de dimensiuni și de formă adecvate. Camerele de scintilație sunt alese în funcție de volum și de activitatea măsurată ținând cont și de parcursul radiației α măsurate. Pereții camerei sunt acoperiți de un strat de scintilator, cum ar fi sulfura de zinc activată cu Ag. Scintilațiile produse de depozitul activ al radonului introdus în cameră sunt detectate și măsurate după stabilirea echilibrului radioactiv între radon și depozitul său activ (cca 3 ore) cu ajutorul unui fotomultiplicator.

În literatură sunt prezentate numeroase variante ale acestei metode utilizând camerele de scintilație și detectori adaptați condițiilor speciale de măsură. Camera de scintilație are formă semisferică și un volum de circa 530 ml. Pereții camerei sunt

acoperiți cu un strat subțire de ZnS(Ag), drept scintilator, cu excepția geamului transparent al fotomultiplicatorului, care se cuplează la cameră prin intermediul unui conductor de lumină din lucită. Radonul din proba de apă poate fi introdus în camera de scintilație prin oricare din metodele descrise mai înainte. La acesta metodă nu este necesară uscarea gazului introdus în cameră. Măsurarea se face și aici după trecerea a trei ore de la introducerea gazului adică după stabilirea echilibrului radioactiv între radon și depozitul său activ.

III. Măsurarea radonului din apă cu LUK-VR

LUK VR este instalația care este folosită la determinarea radonului din probe lichide. Instalația este formată dintr-un vas de sticlă – extractor (scrubber) - cu ajutorul căruia radonul din apă este adus la echilibru cu radonul din aerul de deasupra apei. Aerul cu un conținut de radon este transferat prin intermediul unor tuburi de cauciuc, prevăzute cu doi robineți de închidere, în camera de scintilație (celule Lucas). Camera de scintilație se afla în interiorul aparatului Luk 3A, fiind așezată în fața unui fotomultiplicator.

1. Metoda de măsurare radonului din probe lichide

Un volum V_w de apă cu concentrația totală de radon A este vărsat în vasul extractor. Deasupra apei din vas se află un volum de aer V_a . După un interval de timp se va stabili echilibrul între concentrația radonului din apă A_w și din aerul de deasupra A_a , astfel concentrația totală de radon este împărțită între volumul de aer A_a și cel de apă A_w . Legătura dintre cele două concentrații este dată de ecuația dedusă de Genrim privind coeficientul de dizolvare (solubilitate) a ^{222}Rn în apă:

$$\alpha = \frac{A_w}{A_a} \cdot \frac{V_a}{V_w}$$

Concentrația radonului din aer A_a se obține, înlocuind concentrația radonului din apă A_w cu diferența concentrației inițiale (A) și concentrația radonului ieșit din apă în aer (A_a), $A_w = A - A_a$:

$$A_a = \frac{A}{\alpha} \cdot \frac{V_a/V_w}{1 + V_a/(\alpha \cdot V_w)}$$

Celula este golită prin vidare (evacuarea aerului din celulă până la o anumită presiune), apoi se introduce aerul de măsurat. Volumul celulei V_1 este relativ mic - 145 ml. Când camera de scintilație (celula Lucas) evacuată anterior, este conectată cu volumul activ V_a , se formează o depresiune $V_a/(V_1+V_a)$. Numai o parte din aerul activ se va transfera în camera de scintilație (celula Lucas). Presiunea poate fi egalizată deschizând robinetul de la scrubber, egalizând presiunea în interiorul spațiului activ cu presiunea atmosferică, în acest caz se va obține o diluare nedeterminată a aerului activ. Există o metodă de transfer complet al aerului din scrubber în celula Lucas. Extractorul (scrubber) este un vas cu volum de 500 ml. În partea de sus a scrubberului se afla un capac care are două ieșiri. Prima ieșire este un tub de sticlă care este introdus până în partea de jos a vasului extractor, a doua ieșire este prevăzută cu un tub de cauciuc pe care este un robinet. La ieșirea cu tubul din sticlă se conectează o seringă Janet cu un volum de 160 ml, plină cu „apă pură”. Aerul este transferat în celula Lucas anterior golită prin deschiderea succesivă a robinetului aparatului, a robinetului dintre scrubber și aparat. O dată cu transferul aerului în interiorul celulei are loc și transferul apei (160 ml) din seringă Janet în scrubber. Această cantitate din apă forțează aerul activ să iasă, fără nici o diluare. Seringa Janet simplifică determinarea volumului de apă introdus, permițând aflarea volumului de aer transferat în celula Lucas.

Relația finală dintre concentrația radonului și numărul de impulsuri măsurate n_s , este:

$$n_s = \frac{k \cdot \varepsilon \cdot \alpha \cdot \eta}{\alpha} \cdot \frac{V_a}{1 + V_a / (V_w \cdot \alpha)}$$

unde

- k este raportul dintre volumul celulei Lucas și volumul aerului activ V_a ; $k = V_1/V_a$;

- ε este eficiența detecției și are valoarea de 1,45 pentru un interval de 15 minute dintre procesul de umplere și momentul măsurării;

- a este concentrația specifică a radonului în apă, $a = A / V_w$;

- V_a este volumul aerului din vasul extractor;

- V_w este volumul apei active din vasul extractor;

- α este coeficientul de solubilitate, are valoarea de 0,24 la 20 grade C;

▪ η este eficiența transferului în aerul de probă a ^{222}Rn dizolvat în apă.

Coeficientul de solubilitate în apă depinde de temperatură și este dat de relația următoare:

$$\alpha = 0.1057 + 0.405e^{-0.0502t}$$

unde t este în $^{\circ}\text{C}$.

Diferența de temperatură de la 10 la 22 grade C dă o eroare de 12,3%. Din acest motiv, apa trebuie să fie adusă la temperatura camerei înainte de măsurare.

Relația pentru aflarea concentrației se obține prin înlocuirea coeficientului K cu raportul V_1/V_a :

$$\alpha = \left(1 + \frac{V_a}{\alpha \cdot V_w}\right) \cdot \frac{\alpha}{V_1 \cdot \varepsilon \cdot \eta} \cdot n_s$$

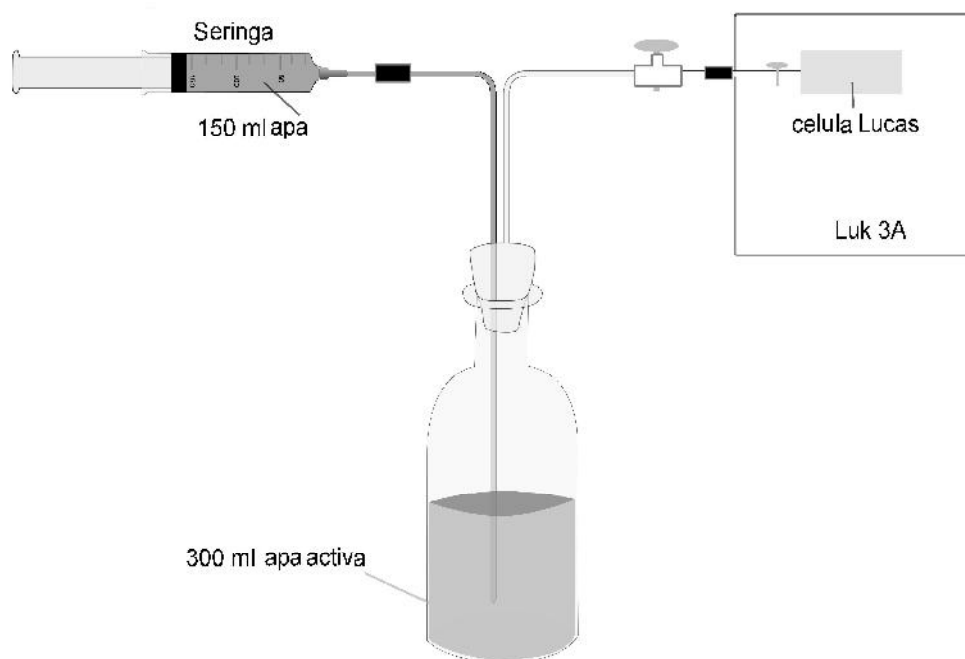


Figura 1. Schema de principiu a dispozitivului LUK-VR

2. Procedura recomandată pentru măsurarea concentrației radonului în apă

Procedura de măsurare poate fi rezumată:

a) prelevarea probei de apă: - probele de apă vor fi recoltate în vase de 0,5 l, vasele vor fi complet umplute și perfect închise.

b) vasul va fi adus la temperatura camerei; coeficientul de solubilitate α este tabelat mai jos:

Temperatura °C	18	19	20	21	22	23	24
Coeficientul α	0,270	0,262	0,254	0,247	0,240	0,233	0,227

c) se toarnă cu grijă apa din vasul în care a fost recoltată proba în scrubber;

d) scrubberul se agită energic timp de un 1 minut, timp în care concentrația radonului din apă devine egală cu concentrația radonului din aerul de deasupra apei;

f) camera de scintilație (celula Lucas) din interiorul aparatului LUK 3A este evacuată cu ajutorul unei pompe de mână.

e) se conectează la una dintre ieșirile scrubberului (tub de cauciuc pe care se află un robinet de închidere) aparatul LUK 3A, iar la cealaltă ieșire (tub de cauciuc) seringă Janet

g) după deschiderea succesivă a robinetelor aerul cu un conținut de radon este transferat în camera de scintilație, iar apa din seriga Janet este transferată în scrubber.

h) după ce aerul a ajuns în celula Lucas, robinetul de pe aparat se închide apoi se selectează comanda start a aparatului LUK 3A .

i) după un interval (în funcție de tipul măsurători) se citește numărul de impulsuri (N)

j) concentrația radonului se calculează cu următoarea relație:

$$A = \frac{N}{9,85} \quad (1)$$

unde: A -concentrația radonului din apă (Bq^l⁻¹)

N - numărul de impulsuri obținute la 100 secunde.

Înainte de măsurarea probei se determină fondul celulei. Se determină de trei ori numărul de impulsuri la 100 secunde și se face media aritmetică. Pentru fiecare probă se fac trei măsurători a câte 100 secunde și se face media.

Rezultatele se trec în tabelul de mai jos

	Media imp/100 sec	Numarul de impulsuri /100sec	Concentratia masurata de radon (Bq/l)	Concentratia de radon (Bq/l)
Fond				
Proba				

Concentratia de radon masurata se determina cu relatia (1)

Concentratia de radon se determina cu relatia:

$$\Lambda_0 = \Lambda e^{\lambda t}$$

unde Λ_0 -activitatea probei în momentul recoltării

Λ -activitatea probei după timpul t

λ - constanta de dezintegrare a radonului

t- timpul scurs de la recoltarea probei până la măsurarea ei

LABORATOR 8

MASURAREA CESIULUI DUPA ACCIDENTAL DE LA CERNOBIL

I. Introducere

În vederea realizării protecției mediului împotriva poluării radioactive, se impune cunoașterea surselor de contaminare și a căilor de expunere a organismului uman la acțiunea factorilor de sine pentru sănătatea omenirii. Populația Terrei este supusă unei iradiere complexe, datorate unor surse naturale și artificiale. Prezența acestor surse în mediul înconjurător implică riscuri de iradiere prin inhalarea aerului, indigestia apei și consumul de alimente contaminate.

În ultimul timp, documentele internaționale care se referă la radioprotecție, folosesc termenul de expunere pentru acțiunea prin care radiațiile interacționează cu organismul uman, din care rezultă așa numitele efecte biologice produse de radiații. Termenul de iradiere rămâne pentru instalațiile care produc câmpuri de radiații.

Iradierea artificială a populației neprofesional expusă se realizează pe cale medicală (radioterapie), prin căderi de pulberi de la testele cu armele nucleare sau de la accidentarea unor reactoare nucleare, din industrie și cercetările nucleare și din alte surse din viața curentă.

Pe plan mondial, radioactivitatea naturală cât și cea artificială, creată de om, este investigată și evaluată, din punctul de vedere al efectelor produse de radiații asupra organismului uman, de către Comitetul Științific al Națiunilor Unite privind Efectele Radiațiilor Atomice (UNSCEAR), creat în 1955. Agenția Internațională pentru Energie Atomică (AIEA) a elaborat, de asemenea, o serie de documente pentru protecția și securitatea nucleară. În România, radioactivitatea mediului este supravegheată, în conformitate cu prevederile Hotărârii Guvernului nr.264/1991, de către Comisia Națională pentru Controlul Activității Nucleare (CNCAN).

În România, sursele de poluare cu radionuclizi sunt: reactoarele de cercetare, Institutul de Fizică Atomică (IFA) Măgurele-București; reactoarele de încercări de

materiale, Institutul de Cercetări Nucleare (ICN) Colibași-Pitești; Cimitirul Național de deșeuri radioactive slab activate Băița-Bihor; stația de tratare a deșeurilor radioactive Măgurele-București și ICN Colibași-Pitești; haldele de steril rezultat de la prelucrarea minereului de uraniu, Uzina „R” Feldioara-Brașov; Exploatarea minieră Crucea, Exploatarea minieră Oravița-Banat; sursele de mare activitate „Sigma”, ICN-Pitești; sursele de mare activitate din marile unități de iradiere medicală sau industrială și carotaj radioactiv; transportul minereului radioactiv și deșeurilor radioactive; sursele de radiații în locul de stocare, folosire etc.

II. Metode de măsurare a radioactivității (Spectrometrie Gama)

Studiul experimental al energiei și intensității radiațiilor γ emise de nuclee, precum și a corelării geometrice (unghiulare) și temporale a radiațiilor emise în cascadă de către un nucleu, furnizează o serie de informații prețioase privind diferitele stări excitate în nucleu, spinii și paritățile acestor stări, duratele lor de viață, precum și momentele magnetice și electrice ale acestora.

Pe baza acestor date se construiesc schemele de nivele nucleare în care sunt compilate toate aceste date experimentale într-o formă ce permite relevarea unor trăsături specifice, a anumitor regularități și analogii de structură pentru diferite nuclee. Schemele de nivele stau la baza elaborării modelelor teoretice nucleare, fiind piatra de încercare a acestora.

Într-un sens mai restrâns, dar cu largi aplicații, spectrometria γ constă în studiul spectrelor radiațiilor γ emise de diferiți radionuclizi, în scopul identificării și a determinării lor cantitative. Această metodă permite recunoașterea selectivă a radionuclizilor dintr-un amestec de radionuclizi naturali sau artificiali. Sensibilitatea metodei este de ordinul ppm (10^{-6}) – ppb (10^{-9}). Spectrometria γ se bazează pe faptul că emisia radiațiilor γ corespunde tranzițiilor cuantice dintre diferitele nivele energetice ale unui nucleu; cu alte cuvinte, radiațiile γ sunt emise cu energii discrete, bine definite, caracteristice radionuclizilor din care provin.

În procesul detecției radiațiilor γ cu detectori cu scintilații și semiconductori, spectrul lor energetic este convertit într-un spectru de amplitudini ale impulsurilor de răspuns.

Acest spectru de amplitudini are o formă relativ complicată chiar pentru radiațiile γ monoenergetice, consecință a diferitelor moduri de interacțiune a radiațiilor γ cu cristalul detector (efect fotoelectric, Compton și formare de perechi).

Dimensiunile scintilatorului se aleg suficient de mari pentru ca radiațiile γ să-și piardă integral energia în volumul acestuia. În funcție de energia radiațiilor γ și de dimensiunile cristalului detector, aspectul spectrului de amplitudini suferă anumite modificări. Geometria sursă-cristal este încă un parametru care-și spune cuvântul asupra formei spectrului înregistrat.

Așadar, pe lângă fotopicuri (corespunzătoare absorției totale) spectrul γ mai conține și alte linii numite linii satelit sau parazite, care fac dificilă interpretarea calitativă a unui spectru.

Se impune deci o analiză detaliată a formei spectrului de amplitudine, a provenienței diferitelor picuri și distribuției continue prezente în spectru. Această analiză ajută la evitarea contribuției supărătoare a unor fenomene care nu interesează și la o estimare justă a corelațiilor necesare în prelucrarea datelor experimentale.

Odată cu detectarea razelor γ pot fi înregistrate și alte radiații electromagnetice secundare, ca radiația de frânare sau radiația X caracteristică, care complică și mai mult forma spectrului.

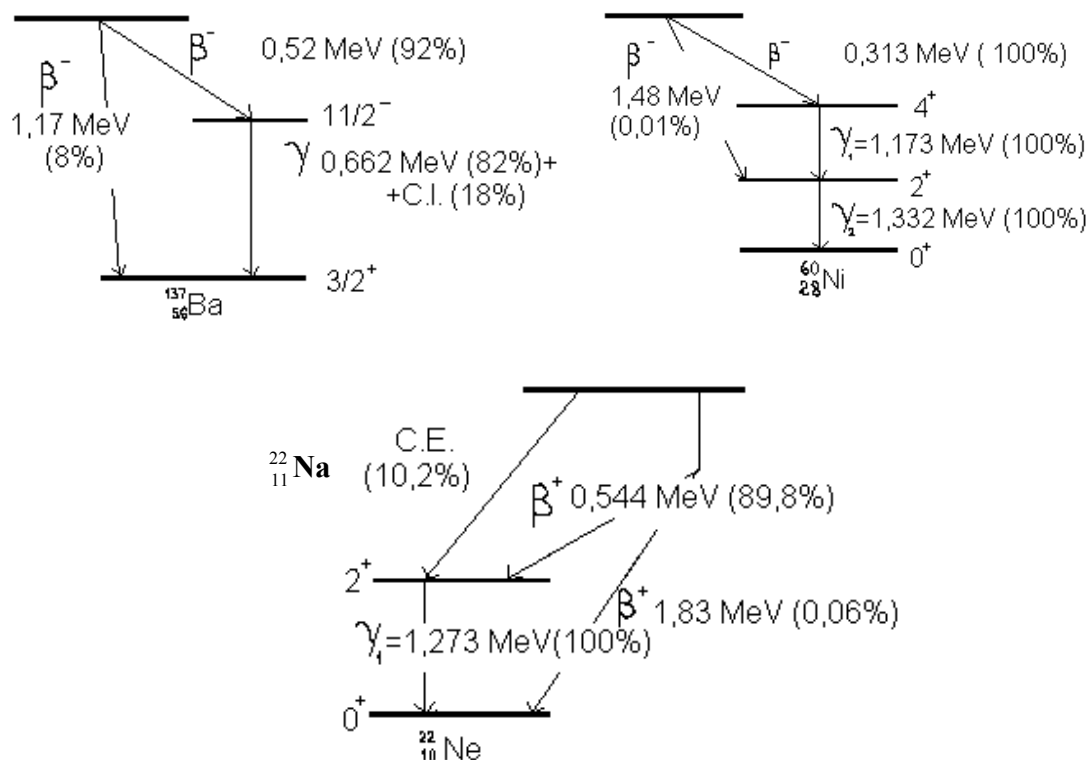
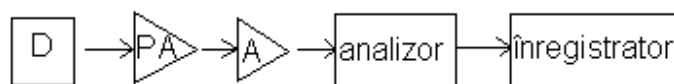


Figura 1. Schemele de dezintegrare ale câtorva radionuclizi

III. Detectoare folosite în spectrometria gama

Detectoarele de radiații sunt specifice tipului de radiație detectat α, β, γ sau n. Cu ajutorul detectorilor se pot măsura și energiile radiațiilor, iar ansamblul care realizează măsurătoarea se numește spectrometru. Pe lângă detector un spectrometru mai are în componența sa o serie de dispozitive electronice care îndeplinesc un anumit rol.



D-detector; PA-preamplificator; A-amplificator

Figura 2. Schema bloc a unui spectrometru

Există trei faze în procesele experimentale:

- detectarea, care furnizează informațiile;
- prelucrarea acestor date, după recepționarea lor de către dispozitivele electronice;
- interpretarea informațiilor;

Caracteristici ale detectorilor:

1) Eficacitatea (raportul dintre numărul de particule care au dat un semnal înregistrabil la ieșirea din detector și numărul total de particule care intră în detector)

2) Selectivitatea (capacitatea detectorului de a distinge tipurile de radiații detectate)

3) Timpul mort (timpul necesar detectorului pentru a înregistra trecerea unei radiații)

4) Liniaritatea în energie (caracteristica de liniaritate este legată de relația de proporționalitate care trebuie să existe între înălțimea semnalului obținut și energia radiației detectate)

5) Rezoluția energetică (unei energii bine determinate îi corespunde un semnal de lărgime $E \pm \frac{\Delta E}{2}$, lărgimea ΔE fiind rezoluția energetică)

6) Zgomotul de fond (semnalele nedorite sau parazite care alcătuiesc un fond continuu)

Considerațiile referitoare la detecția propriu-zisă au fost reduse la proprietățile fundamentale a numai două tipuri de dispozitive.

IV. Schema generală a unui lanț spectrometric

Interacțiunea radiației nucleare (γ) cu substanța detectorului induce un curent a cărui durată și dependență de timp depinde de tipul detectorului folosit. Pulsul de curent conține informația asupra energiei radiației detectate (suprafața sa de sub grafic este proporțională cu energia absorbită în detector). Așadar, ori de câte ori se cere „măsurarea energiei” trebuie să se facă o integrare a semnalului de curent. Dacă constanta de timp RC a circuitului conectat în paralel la bornele detectorului este mică în comparație cu durata curentului indus, atunci forma acestuia se păstrează și rezultă un semnal „de

curent”. Dacă constanta de timp RC este mare în comparație cu durata curentului indus, atunci acesta este integrat și se obține un semnal „de tensiune”, a cărui amplitudine este Q/C , unde Q reprezintă sarcina (proporțională cu energia) depozitată de radiația incidentă în detector. Pulsul de tensiune este caracterizat printr-un front (f) definit ca timpul de creștere a saltului de tensiune de la 0,1 până la 0,9 din valoarea maximă, numită amplitudine (a). Frontul corespunde timpului de colectare a sarcinilor, de obicei, a electronilor, și este dat de durata curentului indus în detector. Scăderea semnalului datorită descărcării capacității C prin R, este dată de constanta de timp, $\tau = RC$, după legea exponențială:

$$\Delta U = \frac{Q}{C} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

După scurgerea unui timp egal cu τ , amplitudinea pulsului scade la 37% din valoarea sa maximă, astfel că τ poate fi considerată durata pulsului.

Pulsul de tensiune permite obținerea unor informații referitoare la radiația nucleară detectată.

- În primul rând, apariția pulsului marchează interacția fotonului γ sau a unei particule cu detectorul. Numărul acestor interacții în unitatea de timp (viteza de numărare) este o măsură a intensității fasciculului de radiații incident pe detector sau a activității sursei de măsurat.

- În al doilea rând, amplitudinea pulsului este o măsură a energiei pierdute de particulă în detector. Dacă particula a fost complet absorbită în detector, atunci amplitudinea măsoară chiar energia pe care a avut-o aceasta la intrarea în detector.

- În al treilea rând, situarea în timp a frontului foarte scurt al pulsului, marchează momentul apariției în detector a particulei înregistrate. Acest lucru este folosit în măsurători temporale, în care se studiază numai particulele înregistrate în coincidență sau anticoincidență cu particulele înregistrate de un al doilea detector (ex: studiul schemelor de dezintegrare).

La efectuarea unei analize energetice a fotonilor γ înregistrați, semnalul de tensiune obținut prin integrarea curentului generat de detector este preluat mai întâi de circuitele de (pre)amplificare pentru a fi prelucrat în mod adecvat înainte de a fi analizat de aparatura electronică ce urmează. Sursa γ constă dintr-un preparat ce conține un tip

de radionuclizi (surse etalon) sau în general un amestec de radionuclizi (fie naturali, fie obținuți prin activare cu neutroni). Trebuie luate măsuri de ecranare radioactivă, împotriva contaminării, micșorării fondului etc.

Detectorii cei mai utilizați în spectrometria γ sunt cei cu scintilații NaI(Tl) și cu semiconductori de tip n-i-p (Ge-Li). Ambele tipuri de detectoare trebuie alimentate cu tensiune continuă de $\approx 10^3$ V de la sursa de înaltă tensiune (SIT). Aceasta dă în general curenți mici $\approx 10^{-3}$ A și tensiuni continue reglabile între 400-2000 V, bine stabilizate. În majoritatea cazurilor, polaritatea tensiunii înalte furnizate poate fi aleasă după necesități; se poate pune la masă fie borna minus, fie borna plus a sursei.

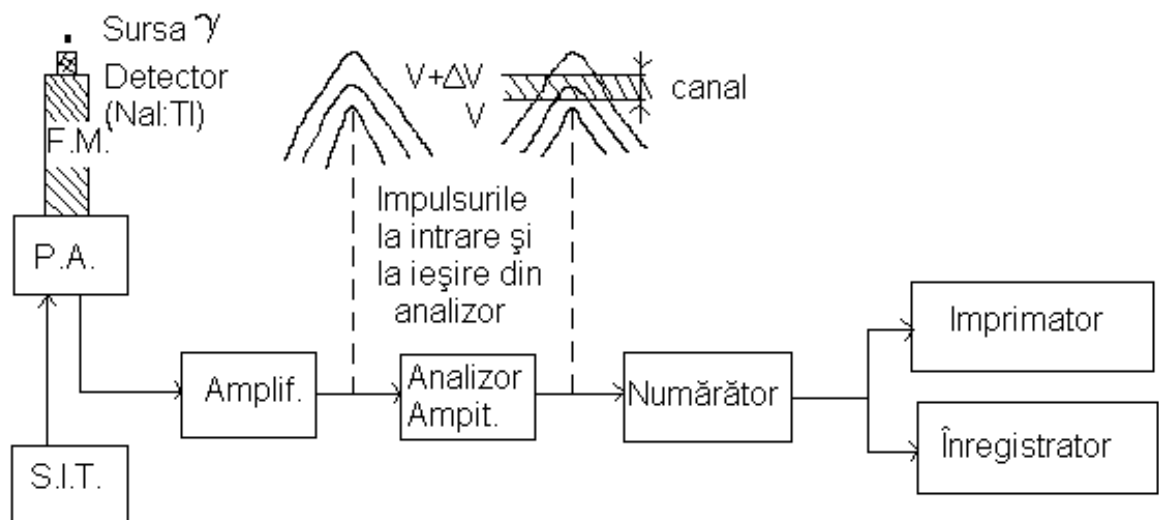


Figura 3. Schema bloc a unui lanț spectrometric γ folosind detectori cu scintilație (NaI:Tl)

V. Spectrul teoretic al radiațiilor γ

Interacțiunea radiațiilor γ cu materia poate avea loc prin efect fotoelectric, efect Compton sau formare de perechi. Probabilitatea de producere a unuia dintre aceste procese depinde de energia radiațiilor γ incidente. Pentru energii mai mici de 1,02 MeV probabilitatea procesului formării de perechi este zero și în detector vor avea loc numai

interacțiuni prin efect fotoelectric și Compton. Efectul fotoelectric este dominant pentru energii γ de ordinul zecilor de keV, iar cel Compton la energii de peste 200 keV.

Condiția ca o parte cât mai mare din fotonii γ incidenti să-ți cedeze complet energia lor prin absorbție în detector, transformând-o în energie cinetică a electronilor liberi, este determinantă în alegerea materialului și a dimensiunilor scintilatorului. Aceasta deoarece numai electronii rapizi, de energii ridicate produc scintilații luminoase prin fenomenul de fluorescență.

Radiațiile γ care părăsesc scintilatorul, după ce au pierdut numai o parte din energia lor, dau un rezultat eronat fiindcă în acest caz s-ar măsura energii care nu aparțin spectrului radionuclidului analizat. Dacă nu sunt absorbite toate radiațiile aceasta conduce la o diminuare a randamentului detectorului cu scintilație. Rezultă că la alegerea dimensiunilor scintilatorului trebuie ținut cont ca energia radiațiilor γ emise de radionuclid să fie complet absorbite de scintilator.

VI. Etalonarea spectrometrului

În scopul recunoașterii radionuclidului căruia îi corespunde o spectrogramă înregistrată, este necesară etalonarea sau calibrarea spectrometrului în energii și determinarea pragului de amplitudine al selectorului sub care pulsările nu pot fi măsurate.

Deoarece atât selectorul cât și elementele din circuitul electronic asociat sunt liniare, spectrul obținut poate fi ușor interpretat calibrând în prealabil instalația cu una sau mai multe surse radioactive de energii cunoscute (surse etalon).

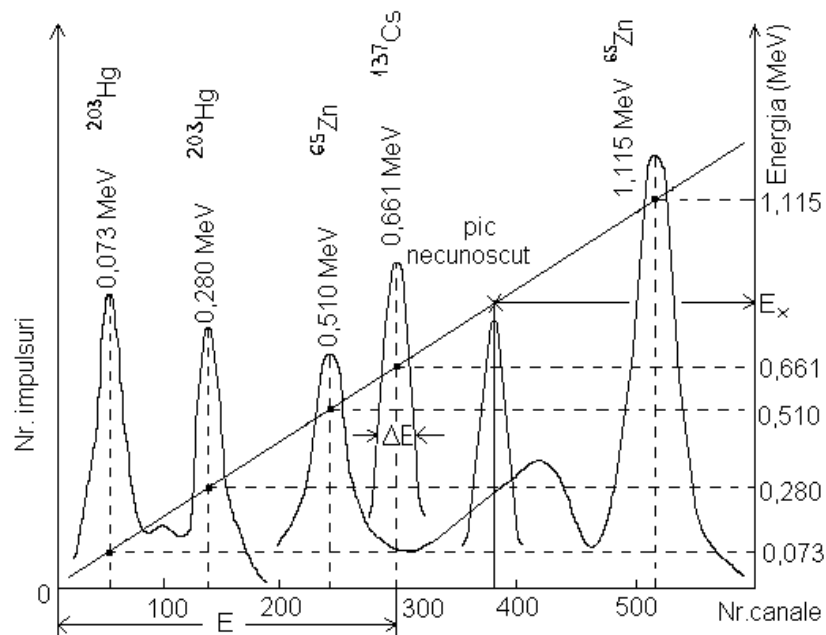


Figura 4. Etalonarea spectrometrului γ

Calibrarea se face astfel: pe un grafic având pe ordonată energia radiațiilor, iar pe abscisă numărul de canale, se suprapun două sau mai multe spectre ale radioizotopilor etalon. De la baza picurilor, prin mijlocul lor, se duc verticale, iar prin intersecția lor cu orizontalele corespunzătoare energiilor acestor picuri, se duce, din origine, dreapta de calibrare. În unele cazuri, și anume atunci când energia de zero nu coincide cu canalul zero, dreapta de calibrare nu trece prin originea coordonatelor. Pentru determinarea energiei corespunzătoare unui pic al unei radiații necunoscute, înregistrat în condițiile în care s-a făcut calibrarea, se ridică prin mijlocul picului cercetat o verticală și energia corespunzătoare se citește la intersecția ei cu dreapta de calibrare de pe ordonata din dreapta cu energiile. Stabilirea izotopului radioactiv (X) căruia îi corespunde picul cu energia astfel determinată se face cu ajutorul tabelelor de izotopi radioactivi.

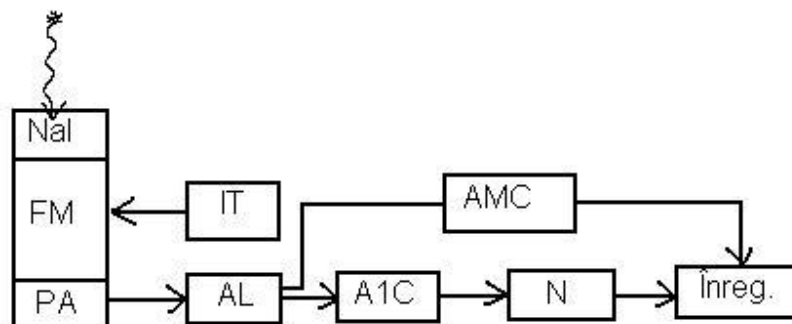
În cazul că există dubii asupra izotopului radioactiv astfel determinat sau dacă energia picului corespunde la mai mulți izotopi radioactivi, caz întâlnit mai rar, noi precizări se aduc prin determinarea timpului de înjumătățire a radioactivității picului prin ridicarea spectrelor la diferite intervale de timp convenabil alese.

Durata de înregistrare a fiecărui spectru trebuie păstrată riguros. Ca surse de etalonare se folosesc următorii izotopi: ^{241}Am , ^{203}Hg , ^{137}Cs , ^{56}Mn , ^{60}Co , ^{22}Na etc.

În urma accidentului de la centrala atomoelectrică Cernobîl din 26 aprilie 1986, s-au eliberat mai mulți produși de fisiune. Începând cu 1 Mai s-au făcut măsurători pentru a identifica radionuclizii eliberați și pentru a stabili impactul activității gama asupra mediului. În ordinea importanței, următorii radionuclizi: $^{132}\text{Te} + ^{132}\text{I}$, ^{131}I , $^{140}\text{Ba} + ^{140}\text{La}$, $^{103}\text{Ru} + ^{103}\text{Rh}$, $^{95}\text{Zr} + ^{95}\text{Nb}$, toți având un timp de înjumătățire relativ scurt, au avut o contribuție esențială la totalul activității în timpul lunii mai. Radionuclizii cu timp de înjumătățire intermediar (cum ar fi ^{134}Cs , ^{141}Ce , ^{144}Ce , ^{125}Sb și $^{106}\text{Ru} + ^{106}\text{Rh}$) au fost de asemenea prezenți în primii ani de după accident. ^{137}Cs și ^{90}Sr au fost și au rămas încă principalii contaminatori în anii care au urmat. După acest catastrofic accident mai multe depozite de ^{137}Cs au fost găsite în diferite țări. În România cel mai mare depozit a fost găsit în Transilvania, pentru centrul țării câteva dintre aceste depozite fiind mai mari de 80 kBq/m^2 .

VII. Determinarea Cesiului

Măsurătorile se pot efectua efectuata cu ajutorul instalației spectrometrice de tipul NP-424 cu patru canale. Detectorul cu scintilație al acestei instalații este constituit pe baza proprietății unor substanțe anorganice, organice, solide sau lichide, de a prelua scânteii numite scintilații, sub acțiunea radiațiilor gama. Detectorul se compune dintr-un scintilator și un multiplicator electronic care servește la transformarea scintilațiilor în impulsuri de curent electric și la amplificarea curentului fotoelectric. Ca instalații auxiliare avem : amplificator de impulsuri discriminator, un bloc de demultiplicare și un numărător electronic.



FM-fotomultiplicator; PA-preamplificator; AL-amplificator de impulsuri discriminator; A1C-analizor monocanal; AMC-analizor multicanal; N-numărător

Figura 5. Schema bloc a unui spectrometru gama NaI(Tl)

Cristalul scintilator folosit (ND-424) este un cristal NaI activat cu talu, de dimensiuni mari (76×45 mm). Acest cristal este folosit cu succes la măsurători asupra unei probe cu volum mare și activitate mică, având cea mai mare eficacitate de conversie. Detectorul este așezat într-o cutie de plumb NZ-424 de formă cilindrică care asigură o bună ecranare. Timpul de rezoluție al analizatorului este $2,5 \times 10^{-6}$ s, viteza maximă de numărare fiind $16 \cdot 10^6$ imp/s.

Probele au fost așezate în cutii de plastic cu diametrul de 77 mm și înălțime de 99 mm, diametru care aproape coincidea cu diametrul cristalului scintilator.

Nivelurile de activitate ale cesiului au fost determinate printr-o metodă gama spectrometrică. Se aplică o tensiune de 820 V pe fotomultiplicator și se încadrează picul ^{137}Cs într-o fereastră, folosind o sursă de cesiu etalon (lapte praf din iunie 1986). În figura 5.2 este reprezentat spectrul de amplitudini (spectrul de energii, spectrul gama) al ^{137}Cs , obținut cu un cristal de NaI. Un astfel de grafic este trasat cu atât mai precis cu cât se folosesc mai multe canale de înregistrare. Amplificarea se reglează astfel încât lățimii fiecărui canal să-i corespundă un număr întreg de keV.

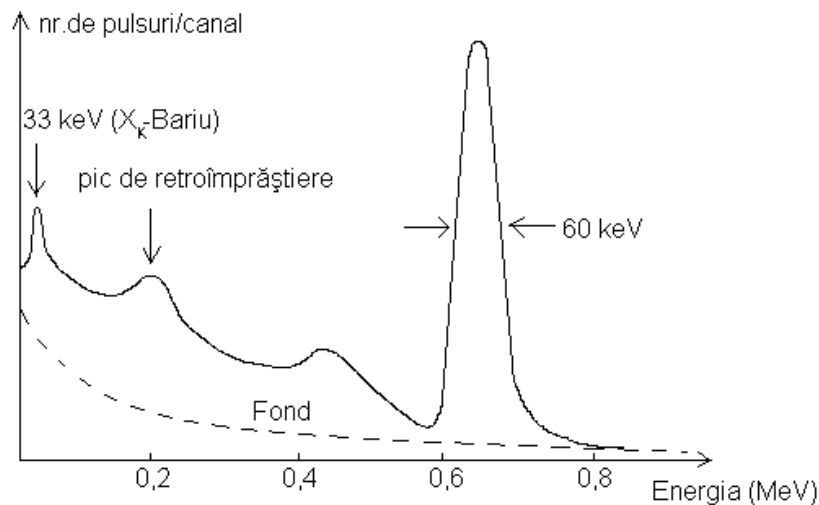


Figura 6. Spectrul de amplitudini (energii) pentru ^{137}Cs obținut cu cristal de NaI

Se observă că maximum corespunzând formării de perechi a dispărut, deoarece la energia de 662 keV a fotonilor emiși de ^{137}Cs procesul de formare de perechi nu se poate produce (pragul procesului este de 1,022 MeV). Maximum pronunțat, corespunzând fotoelectronilor, se numește *pic fotoelectric* sau *fotopic*. Lățimea la semi-înălțime a acestui pic se numește rezoluție și se exprimă uzual în keV; prin împărțirea rezoluției la valoarea energiei pe care o reprezintă picul respectiv se obține rezoluția relativă, exprimată în procente. Rezoluția reprezintă o măsură a capacității spectrometrului de a separa două picuri învecinate, deci două energii apropiate. În figură rezoluția este de 50 de keV, deci o rezoluție relativă de $60/662=9\%$, ceea ce reprezintă o valoare uzuală.

Picul de la energia de 0,2 MeV se datorează radiației gama împrăștiată cu un unghi de 180° pe cărămizile de plumb ale ecranului care protejează cristalul de jur împrejur împotriva radiației cosmice sau provenite din mediul înconjurător. Picul de 33 keV din figură se datorează radiației X_K a bariului. Radiația este emisă la umplerea cu electroni a golurilor de pe pătura X a bariului, goluri produse prin emiterea electronilor de conversie ce însoțesc dezintegrarea ^{137}Cs .

Toate măsurătorile trebuie efectuate în următoarele condiții: fereastră fixată $2\Delta E=260$ keV (coincidea cu lățimea fotopicului), tensiunea aplicată fotomultiplicatorului de 820 V, iar timpul de lucru 100 s.

Pentru calculul activității cesiului din probele de sol s-a folosit *factorul de calibrare*

$FC = 5,09 \frac{Bq \cdot 100s}{kg \cdot imp}$, definit ca raportul dintre indicația furnizată de instalație și activitatea sursei de un anumit tip, conținând un anumit radionuclid și măsurată în condiții geometrice determinate.

Înainte de a începe măsurarea efectivă a activității cesiului din probe, se face mai întâi o determinare a activității fondului. Corecția de fond este necesară deoarece trasarea fondului arată câteodată prezența nedorită a unor surse intense gama în apropiere, sau a unor contaminări. La analizatoarele moderne fondul cristalului de NaI poate fi scăzut printr-o operație de scădere în memoria aparatului. La început se efectuează 5 măsurători pentru fond, iar apoi se face o mediere; rezultatele obținute sunt trecute în tabelul de mai jos.

Nr. măsurători	N imp/100 s	N mediu imp/100 s
1	-	-
2	-	
3	-	
4	-	
5	-	

Mediile rezultatelor celor 5 măsurători făcute asupra fiecărei probe de sol uscat (P1), de lapte praf (P2), și de material de construcție (P3) sunt trecute în tabelul după cum urmează:

P1				P2				P3			
$\overline{N}_f$	$\overline{N}_p$	N_c	$\Lambda_{^{137}Cs}$	$\overline{N}_f$	$\overline{N}_p$	N_c	$\Lambda_{^{137}Cs}$	$\overline{N}_f$	$\overline{N}_p$	N_c	$\Lambda_{^{137}Cs}$

unde: $\overline{N}_f$ (imp/100 s) - numărul mediu de impulsuri pentru fond în 100 s

- $\overline{N}_p$ (imp/100 s) - numărul mediu de impulsuri corespunzător probei în 100 s;

- N_c (imp/100 s) - numărul de impulsuri corectat de fond;
- $\Lambda_{^{137}\text{Cs}}$ (Bq/kg) - activitatea cesiului din probă;

LABORATOR 9

UTILIZAREA DETECTORILOR DE URME LA MĂSURAREA RADONULUI

I. INTRODUCERE

În ultimii 40 de ani s-a observat că în urma trecerii unor particule încărcate prin diferite materiale izolatoare solizi, în material vor apărea niște schimbări permanente. Aceste schimbări sunt submicroscopice, dar pot fi făcute vizibile cu microscopul, cu ajutorul unor metode chimice sau fizice.

Funcționarea detectorilor de urme ne amintește de fotografiere, unde sub acțiunea luminii în fotoemulsie apare o imagine latentă, formată din deformări chimice invizibile. Dacă fotoemulsia care conține imaginea latentă este expusă la acțiunea unor reactivi, va apărea o imagine vizibilă. La fel, dacă un detector în care avem urme primere este tratat chimic, vor apărea urme secundare vizibile cu microscopul optic.

Aceste observații simple au condus la dezvoltarea detectorilor de urme de corp solid, care prin proprietățile lor speciale, dobândesc o utilizare pe scară largă în diferite experimente de fizică nucleară, în geofizică, în cercetarea radiației cosmice, etc.

Detectorul de urme de corp solid are următoarele proprietăți:

1. Este un detector tipic de prag. Aceasta înseamnă că înregistrează particule numai cu pierderi de energie peste pragul caracteristic materialului și poate suporta o doză foarte mare din particulele care se situează sub prag, fără nici o modificare observabilă.
2. Dă posibilitate de măsurare energiei și de determinare gradientului de energie dE/dx .
3. Deoarece urmele secundare au mărimile tipice între 5-20 μ m rezoluția geometrică a detectorilor este foarte bună.
4. Urmele primere pot fi depozitate mult timp (între expoziție și tratarea chimică poate trece un timp destul de mare).
5. Fabricarea, dezvoltarea și citirea lor este destul de simplu și rapid. Detectorul dezvoltat poate păstra urmele practic pentru totdeauna.

Acești detectori de urme de corp solizi pot fi foarte ușor utilizați pentru detectarea radonului din sol și din aer. Pentru detectarea radonului cel mai frecvent se utilizează detectori de tipul LR-115 și CR-39.

Detectorii de urme oferă cea mai comună metodă pentru măsurarea radonului atât în laboratoare cât și pe teren. Motivele sunt ușor de înțeles ținând cont că detectori sunt mici ($1\text{cm} \cdot 1\text{cm}$ și aproximativ $100\text{-}500\mu\text{m}$ grosime), ușor de folosit (nu necesită aparatură electronică pentru a fi expuși), sunt relativ ieftini și ușor de procesat și citit (o baie termostată de dezvoltare, reactivi chimici și un microscop optic reprezintă minimul necesar). În plus dacă rata semnalului care trebuie înregistrat este scăzută ei pot fi pur și simplu lăsați în situ pentru o perioadă destul de lungă, până când se acumulează un număr suficient de măsurători. Acest fapt a dat avantajul posibilității utilizării detectorilor de urme pentru a măsura media unor radiații care variază în timp fără o lege cunoscută.

II. MATERIALE ȘI METODE

II.1. Modele care descriu apariția urmelor primere în detectori de urme de corp solid

Pentru a construi un model care să descrie apariția urmelor în detectori de urme de corp solizi, trebuie ținut cont de proprietățile care au fost observate experimental. Cele mai importante rezultate se pot însuma astfel:

- ❖ Într-un material dat numai atunci apare o urmă dacă pierdea de energie pe unitatea de drum dE/dx a particulei depășește o valoare critică caracteristică materialului.

- ❖ Nu apar urme în metale și în semiconductori. (în materiale unde concentrația electronilor de conducție este mare, respectiv unde mobilitatea și timpul de viață a electronilor și a golurilor este mare.

- ❖ Urmele primere sunt continue și au diametrul de $5\text{-}10\mu\text{m}$.

- ❖ În materiale cristale anorganice și în sticle, urmele primere sunt foarte stabile și pot dispărea numai în urma unei tratări termice la temperaturi foarte mari.

Modelul trebuie să țină cont de aceste proprietăți. Este cunoscut faptul că o particulă grea încărcată grea, parcurgând un anumit material, cea mai mare parte a energiei sale își pierde prin ionizarea și excitarea materialului. Un procent foarte mic din pierderea de

energie se datorează ciocnirilor elastice cu atomii materialului. Energia cedată materialului aproape în totalitate se transformă în energie termică, astfel pe traiectoria particulelor materialul va suferi un șoc termic. Acest efect termic care apare pe traiectoria particulei, dă o explicație calitativ bună pentru apariția urmelor. Poate explica întinderea urmelor, de ce nu apar urme în materiale care sunt buni conductori termici, de exemplu în metale. Acest model însă nu găsește o legătură între sensibilitate, temperatura de topire și de transformare care a fost observat. Un alt neajuns al modelului este că nu poate explica în ce mod se deosebește structura urmelor și a domeniului neatins în materialele cristalice, de exemplu sticlă.

Actualmente se folosește **teoria exploziei de ioni** (ion explosion spike). După acest model mecanismul de formare a urmelor este următorul: particula grea încărcată, de-a lungul traiectoriei sale, ionizează atomii materialului solid. După aceea, forțele de respingere electrostatice care apar, vor disloca atomii ionizați, în felul acesta creând un mare număr de vacante și defecte interstițiale. Acest proces se va petrece numai atunci dacă sarcina spațială mare de pe traiectoria particulelor nu scade repede (de exemplu prin recombinație cu electroni) și dacă forțele care apar sunt destul de mari ca să poată disloca atomii.

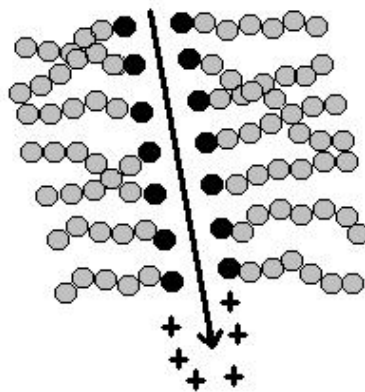


Diagrama schematică a ruperii lanțurilor polimerice la pătrunderea unei particule grele încărcate

- Urme primere nu pot apărea în materiale unde concentrația electronilor de conducție depășește valoarea de 10^{20}cm^{-3} .

- Materialele în care mobilitatea găurilor este mai mare decât $10^{-1} \text{cm}^{-2} \text{v}^{-1} \text{s}^{-1}$, deasemenea nu pot să conțină urme.

- Sensibilitatea relativă a diferitelor materiale crește cu scăderea parametrului $\epsilon E v^{4/3}$.

unde:

- ϵ este constanta dielectrică,

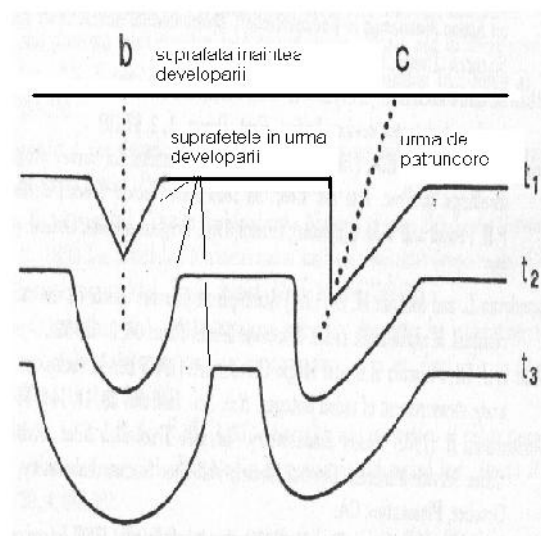
- E-modulul Young,

- v volumul atomic mediu.

Aceste concluzii sunt în concordanță cu experiența. Modelul arată de ce nu apar urme în metale și în unele semiconductori, dă rezultate corecte la clasificarea sensibilității mineralelor și sticlelor.

II.2. Apariția urmelor secundare în detectori de urme de corp solid

Urmele primere pot fi studiate numai cu metode complicate (de exemplu cu microscopul electronic de transmisie), care fac vizibile variațiile structurale ale materiei, localizate pe domenii mici. Cu metode chimice aceste urme pot fi făcute vizibile și cu microscopul optic. Fiecare metodă de tratare chimică se bazează pe simplul fapt că viteza de solubilitate a materialului este mai mare în zona deteriorată de radiație decât în locul unde nu a fost atins de radiație. În urma tratării chimice, în locul urmelor primere vor apărea găuri mici în formă de con, care cu înaintarea procesului chimic se vor mări și vor deveni mai plate. Acest proces poate fi urmărit calitativ în următoarea figură:



Caracteristicile dezvoltării într-un detector de urme de corp solid

II.3. Interacțiunea particulelor încărcate cu polimeri

Polimerii reprezintă cel mai larg folosit detector de urme în toate domeniile, de la geologie (datarea urmelor de fisiune, detectarea urmelor razelor cosmice străvechi în meteoriți, etc.) și până la mediile cu o temperatură ridicată (miezul reactorilor nucleari). Simplitatea, buna geometrie datorită mărimii mici, abilitatea de a fi integrați pentru perioade mari de timp în mediu fac ca popularitatea acestor detectori să fie foarte ridicată, fiind folosiți atât în studiile despre radon, dar și la monitorizarea neutronilor sau cercetărilor spațiale.

Este o certitudine faptul că polimerii sunt cei mai sensibili detectori de urme, dintre toate materialele cunoscute, unii dintre ei putând înregistra și particule cu energie joasă, cum ar fi protonii. Toți polimerii folosiți pot înregistra particule α cu energii variabile în funcție de modul de dezvoltare. Nici un polimer cunoscut nu poate înregistra particule β

În tabelul următor sunt prezentate energiile α și γ ale radonului și thoronului împreună cu descendenții lor, precum și timpii de înjumătățire ai acestora.

Tabel I. Principalele energii α și γ emise de descendenții radonului și thoronului

Izotopul	T_{1/2}	Radiația emisă	E_{α} (MeV)	E_{γ} (MeV)
²²⁶ Ra	1620 ani	α	4,78 (94,3%) 4,69 (5,7%)	0,186 (3,3%)
²²² Rn	3,83 zile	α	5,49 (100%)	-
²¹⁸ Po	3,05 min	α	6,00 (100%)	-
²¹⁴ Pb	26,8 min	β , γ	-	0,295 (19%) 0,352 (36%)
²¹⁴ Bi	19,7 min	β	-	0,609 (47%) 1,120 (15%) 1,760 (16%)
²¹⁴ Po	164 μ s	α	7,68 (100%)	-
²²⁴ Ra	3,66 zile	α	5,45 (6%) 5,68 (94%)	0,241 (3,9)
²²⁰ Rn	55 s	α	6,29 (100%)	-
²¹⁶ Pb	0,15 s	α	6,78 (100%)	-
²¹² Pb	10,64 h	β , γ	-	0,239 (47%) 0,3 (3,2%)
²¹² Bi	60,6 min	α , β , γ	6,05 (25%) 6,09 (10%)	0,727 (11,8%) 1,620 (2,8%)
²¹² Po	304 μ s	α	8,78 (100%)	-
²⁰⁸ Tl	3,1 min	β , γ	-	0,511 (23%) 0,583 (86%) 0,860 (12%) 2,614 (100%)

Există o varietate destul de mare de polimeri care pot fi utilizați ca și detectori de urme.

S-a creat niște standarde și conform acestora, cei mai uzuali polimeri sunt:

1. Nitratul de celuloză: LR 115

2. polycarbonații: MAKROFOL, LEXAN

3. Alildiglicolul: CR 39

CR 39 poate de asemenea fi folosit pentru detectarea neutronilor rapizi prin înregistrarea urmelor de recul. Un exemplu pentru aceasta ar fi boratul de litiu ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$) expus la neutroni termici, care produce particule α în urma reacției (n, α) cu borul sau cu litiul, care interacționează apoi cu materialul detectorului pus în contact cu ecranul de transformare.

În tabelul următor sunt reprezentate parcursurile radonului și a descendenților acestuia în detectorii plastici și în aer.

Tabel II. Parcursul particulelor α emise de radon și a descendenții săi în aer și doi dintre cei mai folosiți detectori plastici

Izotop	Energia particulei α (MeV)	Parcursul		
		Aer (cm)	CR-39 (μm)	Makrofol (μm)
^{222}Rn	5,48	4,0	35,5	38,7
^{218}Po	6,00	4,6	40,7	44,5
^{214}Po	7,70	6,9	59,8	65,6
^{220}Rn	6,28	4,9	43,6	47,7
^{216}Po	6,77	5,6	48,9	43,6
^{212}Po	8,78	8,5	75,8	83,3

II.4. Proprietățile de detectare a detectorului CR-39

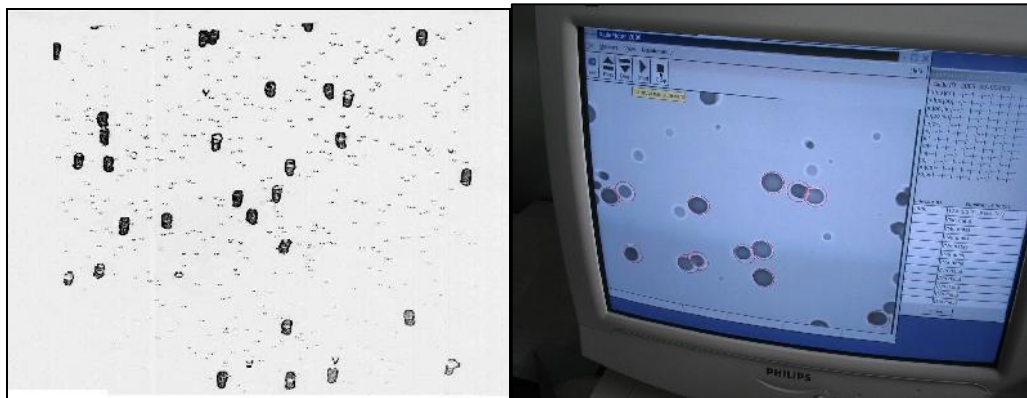
Detectorul de urme CR-39 este din plastic, alildiglicol, și este sensibil la radiațiile α , care au energiile între 0,2-8 MeV. Tehnica folosită este următoarea: detectorul este lipit într-o cutie mică de plastic, radapot sau radamon și este prevăzut cu orificii pentru a permite intrarea radonului în interiorul lui.



Detectorul de urme CR-39

Radamonul are un strat de hârtie specială, care nu lasă să pătrundă descendenții radonului din aer, în schimb radonul va intra prin difuzie, într-o proporție de 95%. Descendenții radonului care apar în urma dezintegrării în interiorul cutiei, se vor depune pe pereții acestuia înainte de a se dezintegra.

Pentru a evidenția urmele în detectorul CR-39, acesta trebuie tratat într-o soluție de NaOH, de 6,25 molar, într-un termostat fixat la temperatura de 90°C. Timpul optim de tratare în această soluție este de 4-5.5 h. Detectorul CR-39, va detecta atât particulele α emise de radon, cât și pe cele emise de descendenții acestuia.



Urme α în detectorul de tip CR-39

Numărul urmelor care vor apărea în detector va fi proporțional cu concentrația de radon din cutie. Din numărul de urme, pe baza unei calibrări se poate calcula concentrația.

O problemă foarte importantă, care apare în cazul tuturor acestor detectori sau a aparaturii dozimetrice folosite, constă în calibrarea lor pentru a putea fi folosiți în măsurători efective și pentru a se putea intercompara rezultatele tuturor măsurătorilor efectuate în diferite regiuni ale globului de diferite laboratoare.

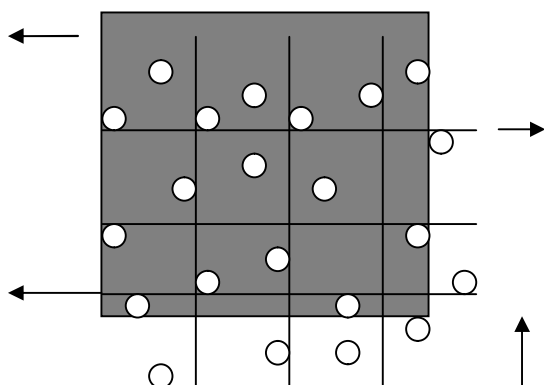
II.5 Citirea detectorilor de urme CR-39

În majoritatea aplicațiilor de dozimetrie a radiației și în particular pentru monitorizarea radonului este necesar a se evalua densitatea de urme pentru un număr relativ ridicat de detectori. Acest lucru face inoportună încercarea măsurării numărului de urme în mod manual (numărul variază de câteva zeci, la câteva mii per detector).

De-a lungul timpului s-au încercat mai multe metode pentru a citi numărul de urme în funcție de metoda de dezvoltare și de detectorul de plastic folosit. S-au folosit metode de "contrast înalt" în special pentru nitratul de celuloză (LR-115), unde urmele apăreau cu un contur roșiatic pe un fond negru-roșu (suprafața detectorului era proiectată pe un ecran-1970), sau prin reflexia internă a unui spot luminos proiectat tangent la suprafața detectorului CR-39 (1985).

La ora actuală se folosesc două metode principale de citire a urmelor: metoda optică de măsurare și metoda tip *pic*.

Metoda optică este reprezentată de un microscop electronic de putere medie legat la un calculator, care abilitatea de a face diferența între mărimea urmelor, diferențiindu-le astfel de eventualele artefacte apărute pe detector. Microscopul este de asemenea capabil să distingă urme provenite de la particule de diferite energii prin auto focalizare Metoda este rapidă și convenabilă, datorită automatizării complete a aparaturii și a început să fie folosită din 1982. Pentru această metodă, limita superioară este de câteva mii de urme pe centimetru pătrat.



Scanarea schematică a unui microscop optic prevăzut cu o măsura mobilă

Metoda tip „pic”-este cea mai uzuală metoda non-optică de citire a urmelor, fiind folosită în special pentru detectorul LR-115. În cazul acesta detectorul este plasat între doi electrozi formând un condensator. Aplicând un curent continuu acestui condensator, urmele dezvoltate încep să se adâncească. Limita superioară pentru această metodă este de câteva sute de urme pe centimetru pătrat. Metoda „scânteie” a fost pusă la punct în anul 1970 de către Cross și Tommasino.

III. APLICAȚIE PRACTICĂ ÎN LABORATORUL DE RADIOACTIVITATEA MEDIULUI

Metoda detectorilor de urme reprezintă soluția convenabilă care permite supravegherea pe termen lung a radonului din sectorul rezidențial și a fost validată de National Radiological Protection Board (NRPB) și de agentia americană EPA.

Pentru măsurarea radonului din interioare s-a utilizat metoda integrată a detectorilor solizi de urme CR-39, expuși pe perioade de timp de la 1 la 6 luni.

Detectorii au fost plasați în zonele locuite din case, cum ar fi dormitoare și camerele de locuit, la o înălțime de 1-1.5 m de sol.

După recoltare detectorii au fost imediat transportați la laboratorul de Radioactivitate a Mediului din cadrul Universității Babeș-Bolyai, cu respectarea Protocolului NRPB de asigurare a calității și controlului procesului de măsurare a radonului.

Detectorii au fost pregătiți pentru procesare și au fost gravați într-o soluție de NaOH de concentrație 6.25 molar, la o temperatură de 90°C timp de 5 h.

Developarea în laborator și citirea automata a urmelor înregistrate de detectori s-au realizat cu ajutorul echipamentului RadoSys-2000 (Elektronika, Budapesta, Ungaria), în condiții optime.

Detectorii de urme nucleare, indiferent că sunt emulsii nucleare sau dielectrice developați chimic, necesită mărire optică pentru vizualizarea și numărarea urmelor. În aplicațiile de rutină, analiza unui număr mare de detectori este foarte dificilă, mai ales dacă trebuie examinate densități mici de urme. O soluție pentru automatizarea numărării urmelor este dată de developarea electrochimică, caz în care urmele nucleare din dielectricii solizi sunt aduse la mărimi macroscopice astfel încât nu mai este necesară utilizarea microscopului optic, iar studiul unor suprafețe mari ale detectorilor este mult ușurat.

Majoritatea aparatelor de developare electrochimică existente necesită mânăuirea unor reactivi chimici atât la începutul cât și la sfârșitul procesului de developare. Acest fapt poate crea probleme și durează un timp îndelungat, mai ales dacă se dezvoltă un număr mare de detectori.

Echipamentul **RadoSys-2000** (Elektronika, Budapesta, Ungaria) îndepărtează aceste dificultăți. RadoSys2000 reprezintă un set complet de instrumente dedicate măsurării activității concentrației de radon integrată în timp. Funcționarea se bazează pe conceptul măsurării detectorilor de urme α . Unitatea de evaluare a sistemului este un microscop-scanner, autofocalizant. RadoSys2000 are o capacitate de analizare și măsurare a 1500 detectori de tip CR-39, cu o sensibilitate a radiației α de 2,9 urme/cm²KBgh/m³, insensibili la alt tip de radiație. Avantajul cupei de developare a RadoSys 2000 este că se pot developa 432 detectori simultan, într-un singur compartiment, cu soluție de NaOH. Developarea electrochimică distruge forma inițială a urmelor. Prin urmare, pentru a putea utiliza forma urmelor în stabilirea provenienței lor (defecte sau particule α), s-au efectuat măsurători atât pe parcursul dezvoltării convenționale cât și al celei electrochimice. Se poate stabili astfel raportul semnal/zgomot. În funcție de necesități se alege detectorul potrivit.

În cele mai multe aplicații de determinare a concentrațiilor de radon și a descendenților săi este necesară evaluarea densităților mici de urme pentru un număr mare de detectori. În acest caz, numărarea manuală a urmelor individuale cu ajutorul unui microscop este un proces lung și adesea inexact. În comparație cu această deficiență sau cu alte aparate de numărare a urmelor, RadoSys2000 deține un microscop care mărește între 100x-400x, spațial, cu o posibilitate de analiză a 12 detectori pe un suport, introduși o dată, cu o rată de scanare și numărare de 60 secunde/detector. Aria de scanare a urmelor pe detector este de 50 mm².

Din sistemul RadoSys2000 face parte și un computer compatibil, cu componente special create pentru el, operând în linux. Datele citite sunt prelucrate cu ajutorul software-ului computerului, obținându-se densitatea de urme și concentrația de radon în Bq/m³. Se pot stabili exact câte măsurători ale aceluiași detector se pot realiza, programul făcând o medie a acestora. Toate datele sunt stocate într-o bază de date.



Aparatul RadoSys 2000 (dreapta), cu radapotul în care se expune detectorul (colț stânga sus) și cu instalația utilizată la dezvoltare (colț stânga jos)

Calculul concentrației de radon pe baza densității de urme măsurate

Activitatea volumică a radonului (sau concentrația de radon) în interiorul locuințelor este exprimată în Becquerel per metru cub (Bq/m³).

Concentrația de radon s-a determinat cu formula:

$$C_{Rn} = \frac{\rho \cdot F_c}{t}$$

unde C_{Rn} reprezintă concentrația de radon calculată (Bq/m³),

ρ este densitatea de urme măsurată la microscop (urme/mm²),

F_c reprezintă factorul de calibrare (kBqh/m³)/(urme/mm²),

t este timpul de expunere a detectorilor în casa de măsurat (h)

Numărul de urme de pe suprafața detectorilor variază în funcție de durata de expunere, de perioada de expunere și de poziția în care s-a amplasat detectorul în casa.

Durata expunerii poate influența direct proporțional numărul de urme înregistrat pe suprafața detectorilor. La durate de expunere mai lungi, de exemplu 6 luni, se înregistrează un număr mai mare de urme decât în situația unor perioade de expunere mai scurte.

Concentrația medie anuală de radon poate fi de asemenea influențată de perioada (anotimpul) în care s-a realizat expunerea detectorilor în casă pentru măsurare. Valorile minime au fost înregistrate în lunile de vară ca urmare a procesului de termo-convecție, mult mai intens în sezonul cald. Din punct de vedere climatologic, octombrie este luna cu stabilitatea atmosferică cea mai ridicată, și prin urmare, valorile maxime ale concentrației de radon înregistrate în această lună sunt perfect explicabile.

Un alt parametru care poate influența numărul de urme este reprezentat de locul în care este expus detectorul în casă pentru măsurare. Nu sunt recomandate pentru expunere zone situate în dreptul aerisirilor, al ferestrelor și ușilor. Locul optim pentru măsurarea concentrației de radon cu ajutorul detectorilor de urme într-o cameră normală de zi este recomandat a fi pe un perete opus aerisirilor, la distanța de 1,5 m de la podea. Concentrația medie anuală de radon se calculează cu formula propusă în raportul National Radiation Protection Board, NRPB 2000 :

$$C_a = f_s \times A.M.,$$

unde f_s reprezintă factorul de corectie sezonier în funcție de luna în care s-au startat măsurătorile.

Rezultate ale măsurătorilor de radon cu detectori de urme strec în tabelul următor.
Parametrul t_{exp} reprezintă durata expunerii estimată în ore.

Tabelul III. Rezultate cu detectori de urme CR-39 distribuiți în case

Cazul măsurat	Localitatea	Seria	t_{exp} (h)	C_{Rn} (Bq/m³)
Casa 1	Cluj - Napoca	L93750	3144	-
Casa 2	Cluj - Napoca	L93371	3144	-
Casa 3	Cluj - Napoca	L93800	3144	-

LABORATOR 10

RADIOACTIVITATEA APEI - RADIUL

Sub formă de clorură sau alte săruri solubile în apă, radiul se găsește în concentrații variabile în apa râurilor și lacurilor ($0,5 - 50 \text{ Bqm}^{-3}$) și în concentrații mult mai mari în apa unor izvoare de ape minerale sau geotermale. Apa mărilor și oceanelor conține o concentrație scăzută de radiu de aproximativ 4 Bqm^{-3}

Concentrațiile ^{226}Ra și ^{228}Ra din apa potabilă sunt în general scăzute, dar există zone unde concentrația ridicată de radiu se datorează surselor geologice. Nivelele radioactivității în apă sunt în general foarte scăzute și se măsoară în mBq l^{-1} sau pCi l^{-1} (pico Curie pe litru).

Apa de suprafață are de obicei o concentrație scăzută de radiu însă apele subterane pot să conțină concentrații mai ridicate datorate geologiei locale. Apa potabilă din fântâni poate să conțină valori de ^{226}Ra și ^{228}Ra peste cele prevăzute de standarde naționale și internaționale. Aceste nivele ridicate ale radiului se pot datora rocilor sau nisipului din fântâni.

Un proiect de cercetare condus de Serviciul Sănătății Publice al SUA a făcut un studiu retrospectiv al locuitorilor din 111 comunități din Illinois și Iowa cărora le-au fost furnizate apă conținând radiu peste 3 pCi l^{-1} . Un total de aproape 908000 de locuitori constituie populația expusă. Într-un studiu făcut asupra apei publice din aceste comunități s-a arătat că media nivelului radiului din apă este $4,7 \text{ pCi l}^{-1}$.

După estimările S.S.P-ului nivelul maxim de contaminare pentru radiu (^{226}Ra și ^{228}Ra combinat) din apa publică este de 185 mBq l^{-1} (5 pCi l^{-1}), astfel asigurându-se protecția sănătății publice.

Consumul de apă cu o concentrație de radiu de 185 mBq l^{-1} (5 pCi l^{-1}) timp de un an este comparabil cu faptul de a fi supus radiației cosmice pe durata unui zbor de aproximativ 15000 km.

O serie de studii referitoare la sursa cancerului din apa potabilă din Iowa a fost raportat de Bean. Primul studiu a examinat sursa apei, adâncimea fântânii și mărimea comunității. Acest studiu a avut drept țintă obținerea trihalometanului prin dezinfecția

apei prin clorinare. Alt studiu care utilizează datele adâncimii fântânii, examinează incidența cancerului în funcție de concentrația radiului din apă.

Apa furnizată a fost divizată în trei grupe de nivele și anume: apa conținând radium 0-2 pCi l⁻¹, 2-5 pCi l⁻¹, 5 pCi l⁻¹, iar media anuală a ratei incidenței în funcție de vârstă a fost examinată pentru perioada 1969-1978 (excepție anul 1972). Anumite tipuri de cancer au fost găsite, observându-se că ele cresc odată cu creșterea concentrației de radium. Tipurile de cancer găsite sunt: cancerul la vezica urinară și plămâni la bărbați, și cancerul la sân și plămâni la femei.

Radonul-222, se află în echilibru secular cu precursorul său direct radium-226. Notăm cu λ_{Ra} și λ_{Rn} constantele de dezintegrare a radiului, respectiv a radonului și cu N_{Ra} și N_{Rn} numărul de atomi de radium, respectiv de radon. În cazul echilibrului secular, pentru un interval de timp $t \ll T_{1/2}(Ra)$, unde $T_{1/2}(Ra)=1620$ ani, viteza de descompunere a radiului părinte este practic constantă, deci se poate aproxima $e^{-\lambda_{Ra}t} \approx 1$, adică $N_{Ra}=N_{Ra}(0)$ și astfel se exprimă numărul de atomi de radon prin expresia:

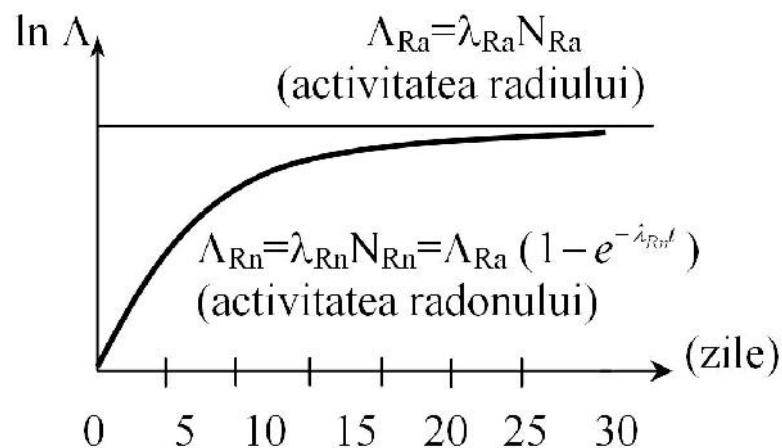
$$N_{Rn} \approx N_{Ra} \frac{\lambda_{Ra}}{\lambda_{Rn}} (1 - e^{-\lambda_{Rn}t})$$

Dacă, în plus, $t \gg T_{1/2}(Rn)$, unde $T_{1/2}(Rn)=3,82$ zile, atunci $e^{-\lambda_{Rn}t} \approx 0$, ceea ce duce la expresia:

$$N_{Rn} = N_{Ra} \frac{\lambda_{Ra}}{\lambda_{Rn}}$$

adică activitățile speciei părinte (radium-226) și fiica (radon-222) devin egale $\Lambda_{Ra} = \Lambda_{Rn}$.

Reprezentarea grafică a echilibrului secular radium - radon este ilustrată mai jos



Echilibru secular radium – radon

III. Procedura recomandată pentru măsurarea concentrației radiului în apă

În general, radiul-226, precursorul direct al radonului, se află în echilibru secular cu acesta. Concentrația de radon este egală cu concentrația radiului, acest fapt se întâmplă după o perioadă de timp, după 30 zile radiul intră în echilibru cu radonul. Cu ajutorul aparatului Luk3A putem determina concentrația de radium din probele de apă, condiția este ca apa care trebuie să fie măsurată trebuie să stea 30 de zile timp necesar ca cele două elemente să intre în echilibru secular

Procedura recomandată pentru măsurarea radiului din ape este prezentată mai jos:

- probele de apă vor fi recoltate în vase de 0,5 l, vasele vor fi complet umplute și perfect închise.
- vasul va fi adus în laborator și ținut la temperatura camerei timp de 30 de zile.
- după cele treizeci de zile proba se măsoară conform procedurii recomandate în cazul radonului după cum urmează:

IV. Măsurarea radonului din apă cu LUK-VR

LUK VR este instalația care este folosită la determinarea radonului din probe lichide. Instalația este formată dintr-un vas de sticlă – extractor (scrubber) - cu ajutorul căruia radonul din apă este adus la echilibru cu radonul din aerul de deasupra apei. Aerul

cu un conținut de radon este transferat prin intermediul unor tuburi de cauciuc, prevăzute cu doi robineți de închidere, în camera de scintilație (celule Lucas). Camera de scintilație se afla în interiorul aparatului Luk 3A, fiind așezată în fața unui fotomultiplicator.

1. Metoda de măsurare radonului din probe lichide

Un volum V_W de apă cu concentrația totală de radon A este vărsat în vasul extractor. Deasupra apei din vas se află un volum de aer V_a . După un interval de timp se va stabili echilibrul între concentrația radonului din apă A_W și din aerul de deasupra A_a , astfel concentrația totală de radon este împărțită între volumul de aer A_a și cel de apă A_W . Legătura dintre cele două concentrații este dată de ecuația dedusă de Genrim privind coeficientul de dizolvare (solubilitate) a ^{222}Rn în apă:

$$\alpha = \frac{A_W}{A_a} \cdot \frac{V_a}{V_W}$$

Concentrația radonului din aer A_a se obține, înlocuind concentrația radonului din apă A_W cu diferența concentrației inițiale (A) și concentrația radonului ieșit din apă în aer (A_a), $A_W = A - A_a$:

$$A_a = \frac{A}{\alpha} \cdot \frac{V_a/V_W}{1 + V_a/(\alpha \cdot V_W)}$$

Celula este golită prin vidare (evacuarea aerului din celulă până la o anumită presiune), apoi se introduce aerul de măsurat. Volumul celulei V_1 este relativ mic - 145 ml. Când camera de scintilație (celula Lucas) evacuată anterior, este conectată cu volumul activ V_a , se formează o depresiune $V_a/(V_1+V_a)$. Numai o parte din aerul activ se va transfera în camera de scintilație (celula Lucas). Presiunea poate fi egalizată deschizând robinetul de la scrubber, egalizând presiunea în interiorul spațiului activ cu presiunea atmosferică, în acest caz se va obține o diluare nedeterminată a aerului activ. Există o metodă de transfer complet al aerului din scrubber în celula Lucas. Extractorul (scrubber) este un vas cu volum de 500 ml. În partea de sus a scrubberului se afla un capac care are două ieșiri. Prima ieșire este un tub de sticlă care este introdus până în partea de jos a vasului extractor, a doua ieșire este prevăzută cu un tub de cauciuc pe care este un robinet. La ieșirea cu tubul din sticlă se conectează o seringă Janet cu un volum de 160 ml, plină cu „apă pură”. Aerul este transferat în celula Lucas anterior golită prin

deschiderea succesivă a robinetului aparatului, a robinetului dintre scrubber și aparat. O dată cu transferul aerului în interiorul celulei are loc și transferul apei (160 ml) din seringă Janet în scrubber. Această cantitate din apă forțează aerul activ să iasă, fără nici o diluare. Seringa Janet simplifică determinarea volumului de apă introdus, permițând aflarea volumului de aer transferat în celula Lucas.

Relația finală dintre concentrația radonului și numărul de impulsuri măsurate n_s , este:

$$n_s = \frac{k \cdot \varepsilon \cdot \alpha \cdot \eta}{\alpha} \cdot \frac{V_a}{1 + V_a / (V_w \cdot \alpha)}$$

unde

- k este raportul dintre volumul celulei Lucas și volumul aerului activ V_a ;
 $k = V_l / V_a$;

- ε este eficiența detecției și are valoarea de 1,45 pentru un interval de 15 minute dintre procesul de umplere și momentul măsurării;

- a este concentrația specifică a radonului în apă, $a = A / V_w$;
- V_a este volumul aerului din vasul extractor;
- V_w este volumul apei active din vasul extractor;
- α este coeficientul de solubilitate, are valoarea de 0,24 la 20 grade C;
- η este eficiența transferului în aerul de probă a ^{222}Rn dizolvat în apă.

Coeficientul de solubilitate în apă depinde de temperatură și este dat de relația următoare:

$$\alpha = 0.1057 + 0.405e^{-0.0502t}$$

unde t este în $^{\circ}\text{C}$.

Diferența de temperatură de la 10 la 22 grade C dă o eroare de 12,3%. Din acest motiv, apa trebuie să fie adusă la temperatura camerei înainte de măsurare.

Relația pentru aflarea concentrației se obține prin înlocuirea coeficientului K cu raportul V_l / V_a :

$$\alpha = \left(1 + \frac{V_a}{\alpha \cdot V_w} \right) \cdot \frac{\alpha}{V_l \cdot \varepsilon \cdot \eta} \cdot n_s$$

2.Procedura recomandată pentru măsurarea concentrație radonului în apă

Procedura de măsurare poate fi rezumată:

a) prelevarea probei de apă: - probele de apă vor fi recoltate în vase de 0,5 l, vasele vor fi complet umplute și perfect închise.

b) vasul va fi adus la temperatura camerei; coeficientul de solubilitate α este tabelat mai jos:

Temperatura °C	18	19	20	21	22	23	24
Coeficientul α	0,270	0,262	0,254	0,247	0,240	0,233	0,227

c) se toarnă cu grijă apa din vasul în care a fost recoltată proba în scrubber;

d) scrubberul se agită energic timp de un 1 minut, timp în care concentrația radonului din apă devine egală cu concentrația radonului din aerul de deasupra apei;

f) camera de scintilație (celula Lucas) din interiorul aparatului LUK 3A este evacuată cu ajutorul unei pompe de mână.

e) se conectează la una dintre ieșirile scrubberului (tub de cauciuc pe care se află un robinet de închidere) aparatul LUK 3A, iar la cealaltă ieșire (tub de cauciuc) seringă Janet

g) după deschiderea succesivă a robinetelor aerul cu un conținut de radon este transferat în camera de scintilație, iar apa din seriga Janet este transferată în scrubber.

h) după ce aerul a ajuns în celula Lucas, robinetul de pe aparat se închide apoi se selectează comanda start a aparatului LUK 3A .

i) după un interval (în funcție de tipul măsurători) se citește numărul de impulsuri (N)

j) concentrația radonului se calculează cu următoarea relație:

$$A = \frac{N}{9,85}$$

unde: A -concentrația radonului din apă (Bq l⁻¹)

N - numărul de impulsuri obținute la 100 secunde.

Înainte de măsurarea probei se determina fondul celulei, facându-se trei măsurători a câte 1000 secunde fiecare. Pentru a se determina valoarea fondului se face

media aritmetica acelor trei masuratori. Pentru fiecare proba se fac trei masuratori a cate 1000 secunde, apoi se face media aritmetica. Din media obtinuta in cazul probe se scade media aritmetica obtinuta in cazul fondului.

Rezultatele se trec in tabelul de mai jos

	Media imp/1000 sec	Numarul de impulsuri /1000sec	Concentratia de radu (Bq/l)	Concentratia de radu (mBq/l)
Fond				
Proba				

Concentratia radiului se determina astfel: $A_{Rn}=A_{Ra}$

unde: A_{Rn} - concentratia radoului masurat

A_{Ra} - concentratia radiului

LABORATOR 11

STUDIUL RADIOACTIVITĂȚII AEROSOLILOR ATMOSFERICI

Generalități

Radioactivitatea naturală

Pământul, ca și alte planete din sistemul nostru solar s-au format în urmă cu 4.5 miliarde de ani din substanțe bogate în minerale ca Fe, C, O, Si și alte elemente cu mase atomice medii sau grele. Aceste elemente, la rândul lor, au fost create din H și He rezultat în urma Big-Bangului, de acum 15 miliarde de ani. Timp de 10 miliarde de ani de la Big-Bang și până la condensarea sistemului solar, hidrogenul și heliul au fost transformate în elemente mai grele. Cea mai mare parte din elementele formate au fost radioactive, dar între timp s-au descompus în nuclee stabile. Câteva din elementele radioactive cu viață lungă în comparație cu vârsta Pământului sunt încă prezente în toate corpurile din sistemul nostru solar. Ele formează partea principală a radioactivității mediului, numită și radioactivitate naturală.

Ca și radionuclizi cosmogeni, care fac parte din componenta cosmică a radioactivității naturale, amintim două elemente radioactive naturale ^{14}C (radiocarbon, $t_{1/2} = 5620$ ani) și ^3T (tritiu, $t_{1/2} = 12.2$ ani) care joacă un rol destul de însemnat în elaborarea unor metode de datare sau în cazul poluării radioactive. Cei doi radionuclizi se găsesc în factorii de mediu (în substanțele biologice în special) ca rezultat al producerii lor prin procese de generare. Astfel, ^{14}C se găsește într-o concentrație constantă de echilibru în CO_2 - ul atmosferic, fiind generat în reacția nucleară dintre azotul atmosferic și neutronii din radiația cosmică.

Cele mai multe elemente radioactive naturale au fost observate ca provenind din elementele grele U și Th. Acești nuclizi se dezintegrează prin emisie de radiații α și β , deci atât Z-ul cât și A-ul elementului se micșorează. Pe de altă parte, toate elementele radioactive ce provin din lanțul de dezintegrare al acestor două elemente grele, se grupează în patru familii radioactive numite și serii naturale. Tabelul 1. prezintă acești

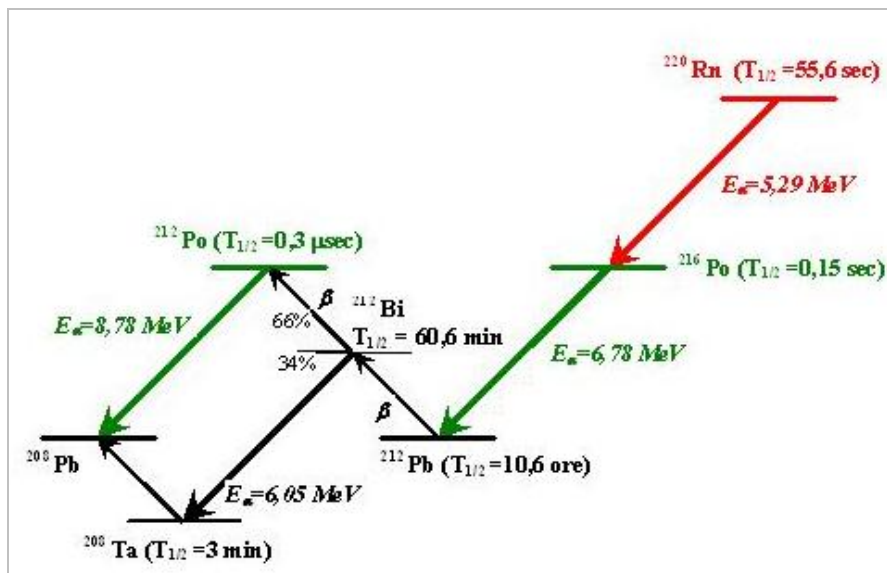
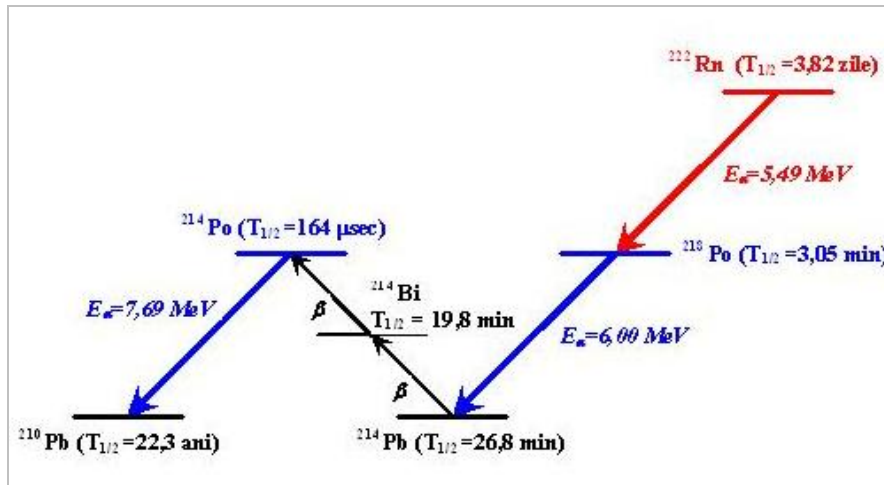
capi de serie împreună cu nucleul stabil rezultat, precum și timpul de înjumătățire al capului seriei.

Tabelul 1. Serii radioactive naturale

Numele Seriei	Tipul	Capul seriei	$T_{1/2}$ (ani)	Nucleul final
Thoriul	4n	^{232}Th	$1.41 \cdot 10^{10}$	^{208}Pb
Uraniul	4n+2	^{238}U	$4.47 \cdot 10^9$	^{206}Pb
Actiniul	4n+3	^{235}U	$7.04 \cdot 10^8$	^{207}Pb
Neptuniul	4n+1	^{237}Np	$2.14 \cdot 10^6$	^{209}Bi

Pe lângă izotopii radioactivi naturali ai seriilor radioactive în scoarța terestră se găsesc și alte elemente cu viață lungă. Printre aceștia amintim ^{40}K ($T_{1/2} = 1,28 \cdot 10^9$ ani).

Obiectul acestei lucrări este studiul radioactivității aerosolilor atmosferici, unde componenta principală sunt cei doi izotopi, radonul, (^{222}Rn ; $t_{1/2} = 3,82$ zile) și toronul (^{220}Rn ; $t_{1/2} = 55,6$ sec), care apar în seria de dezintegrare a uraniului și thoriului. Izotopii acestor serii se găsesc în toate materialele din jurul nostru și în special în roci și minerale condensate o dată cu formarea pământului. Studiul dezintegrării lor poate conduce la o tehnică de determinare a vârstei rocii respective sau chiar a vârstei planetei.



Scheme de dezintegrare a radonului (^{222}Rn) și a toronului (^{220}Rn)

De asemenea, radonul format în sol precum și în materialele de construcție ale cladirilor poate să ajungă prin difuzie sau anumite procese de convecție (forțe cauzate de diferențele de temperatură din sol și suprafață) și advecție (forțe cauzate de diferențele de presiune din sol și suprafață) la suprafața solului, și în atmosferă. El poate ajunge uneori în cantități mari în aerul din interiorul locuințelor, iar inhalarea lui poate fi responsabilă de apariția cancerului de plămâni (tumori bronho-pulmonare) mai ales în combinație cu fumatul activ sau pasiv.

În vederea înțelegerii experiențelor propuse, trebuie să cunoaștem câteva proprietăți ale radonului: este un gaz inert, deci nu intră în reacții chimice cu alți atomi și are moleculă monoatomică. Are un timp de înjumătățire de 3.82 de zile, se depune pe aerosoli cu dimensiunile de ordinul $0.5 \mu\text{m}$, astfel putând fi reținut pe filtre, se dizolvă în apă și în solvenți organici (sânge și grăsime).

Prin inhalare radonul ajunge în plămâni de unde împreună cu sângele ajunge în toate organele corului, reprezentând astfel o sursă radioactivă importantă din punct de vedere al dozei radioactive acumulată de om în cursul unui an.

Studiul concentrației de radon din aerul încăperilor și aerul liber a devenit un subiect de studiu în întreaga lume, promițând totodată realizarea unor experiențe în laborator, care vin să completeze cunoștințele acumulate în cadrul cursului de radioactivitatea mediului.

Pentru experiențele propuse se folosește ca detector pentru radiațiile provenite din ^{222}Rn , ^{220}Rn și descendenții lor, un detector Geiger-Muller, care se află în dotarea laboratorului de Radioactivitatea Mediului, iar ca sursă radioactivă, radioactivitatea atmosferei.

1.2. Principiul de funcționare al numărătorului Geiger-Muller

Numărătorul Geiger-Muller este cel mai răspândit tip de detector, și poate detecta radiațiile α , β și γ . Structura detectorului seamănă cu structura unui condensator cilindric (fig.3). Forma tubului metalic este cilindrică (cu raza de $\sim 1 \text{ cm}$), astfel încât peretele metalic este catodul, iar firul subțire de pe axa cilindrului este anodul (cu raza de sutimi de mm). Pe aceste două armături se aplică o diferență de potențial (tensiune de 300–500 V) care în jurul anodului creează un câmp electric de intensitate mare. Intensitatea câmpului electric în tub are simetrie cilindrică. Dacă folosim argon ca gaz de umplere pentru tubul G-M la presiunea de 10^5 Pa , drumul liber mediu al moleculelor de argon la temperatura camerei va fi de $2 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$. Astfel, dacă în interiorul tubului pătrunde o particulă încărcată electric (particulă α sau β), acesta va interacționa (se va ciocni) cu moleculele de gaz din interior și prin ionizare se vor crea perechi de ion-electron. Aceasta

se numește ionizare primară. Din cauza intensității mari al câmpului electric în apropierea firului anod, energia cinetică a electronilor (între două ciocniri) se poate mări în așa măsură, încât acestea vor avea capacitatea la noi procese de ionizare prin interacțiune (ionizare secundară). Astfel, numărul de perechi electroni ioni astfel creați se poate mări, și apare un fenomen de avalanșă prin ionizare. În jurul anodului se va forma un nor de ioni pozitivi, având o mobilitate mai mică decât electronii negativi. Astfel, electronii având o mobilitate mai mare, vor putea ajunge pe anod mai repede decât ionii pe catod. Producerea de electroni și neutralizarea acestora produce în circuitul electronic al detectorului un impuls electric bine sesizabil. Fenomenul însă are și alte urmări. În urma neutralizării, proporțional cu valoarea impulsului scade rezistența tubului și tensiunea pe acesta. Astfel, câmpul electric existent nu mai poate întreține avalanșa de ioni și nu este suficient nici pentru accelerarea unei particule nou sosite pentru a produce aceste noi ionizări.

Timpul care se scurge de la pornirea impulsului și atingerea tensiunii de funcționare se numește timpul mort al detectorului. Pe perioada timpului mort detectorul nu sesizează particulele sosite, deci numărătorul nu le înregistrează. Numărul de particule nesesizate este în funcție de intensitatea radiației și de timpul mort. De fapt, timpul mort determină și viteza de numărare maximă a detectorului. Astfel, timpul mort este o caracteristică a tubului G-M.

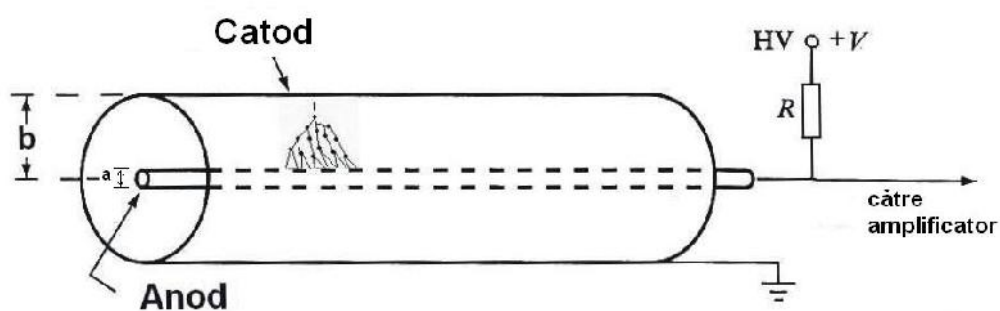


Figura 3. Schema detectorului Geiger-Müller

1. Modul de lucru:

Lucrarea are ca scop punerea în evidență a radioactivității atmosferice, folosindu-se de proprietatea descendenților radonului de a se depune pe aerosoli.

2.1. Realizarea unei surse radioactive de aerosoli

Pentru aceasta, vom utiliza următoarele instrumente: tifon (formă rotundă, diam. de 5 cm), filtru de hârtie (formă rotundă, diam. de 5 cm), aspirator, suport filtru, detector Geiger-Muller și cronometru.

Mersul lucrării:

- se măsoară radiația de fond cu detectorul G-M, timp de 5 minute, după care se calculează valoarea de fond F [imp/min];
- se aspiră prin tifon aer timp de 15-30 min;
- se pune tifonul cu partea prăfuită în fața tubului G-M, astfel încât acesta să fie cât mai strâns pe tub;
- se măsoară impulsurile (provenind din radiația de pe tifon) timp de 5 minute, după care se calculează viteza de numprare cu banda de tifon G [imp/min],
- se repetă experiența cu filtrul de hârtie.

Analiza rezultatelor:

Se va observa că G este mai mare decât F , ceea ce se datorează prafului de pe tifon (filtru). Din studiul proprietăților radonului, pe tifon (filtru) este radon. Se va observa că inegalitatea $G > F$ este mai evidentă în cazul filtrului, randamentul de filtrare fiind mai mare.

2.2. Determinarea activității unei surse necunoscute de aerosoli. Determinarea factorului de detecție al detectorului.

Lucrarea își propune studiul a două mărimi fizice care caracterizează pe de o parte sursa radioactivă, pe de altă parte detectorul. Ca și în cazul punctului 2.1, ne propunem realizarea unei surse tot cu ajutorul radonului din atmosferă. Determinând activitatea filtrului pe care am reținut aerosolii cu descendenții radonului, vom avea o valoare „etalon” pe care o vom folosi în calculul factorului de detecție.

Pentru aceasta, vom utiliza următoarele instrumente: filtru de hârtie, suport filtru, aspirator, cronometru, balanță de precizie.

Mersul lucrării:

- înainte aspirării se determină masa m_1 al filtrului, după care se introduce filtrul în suport;
- se aspiră prin filtru timp de 30 de min;
- se măsoară masa m_2 a filtrului după aspirare;
- se determină $m_2 - m_1$, ceea ce reprezintă masa aerosolilor reținuți pe filtru,
- se determină numărul de atomi de radon de pe filtru. Pentru aceasta se dau:

$$N_A = 6,023 \cdot 10^{26} \text{ molec/kmol}, A = 222. \text{ Astfel: } N = \frac{N_A}{A} \cdot (m_2 - m_1).$$

- din studiul schemei de dezintegrare ajungem la concluzia că ^{222}Rn emite trei radiații alfa și două beta $n=5$.
- cunoscând timpul de înjumătățire $T_{1/2} = 3,82$ zile, constanta de dezintegrare este: $\lambda = 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$,
- cunoscând aceste date, activitatea se calculează după relația: $A = N \cdot n \cdot \lambda$ [Bq],
- se determină viteza de numărare netă $R = G - F$ [imp/min], unde G este viteza de numărare cu filtrul, iar F este fondul.
- se calculează factorul de detecție după relația: $f = R / A$ [imp/min/Bq].

Analiza rezultatelor:

Masa descendenților radonului obținută pe filtru este mai mică decât $(m_2 - m_1)$. Valorile obținute pentru activitate și factor de detecție au caracter orientativ căci nu s-a luat în considerare o serie de factori, a căror discuție depășește limitele lucrării. Relațiile folosite și metodele sunt autentice și erorile sunt relativ mari datorită deficiențelor sistemului de detecție și de măsură.

2.3. Studiul legii de dezintegrare radioactivă. Determinarea timpului de înjumătățire.

Se pornește cu legea dezintegrării radioactive, care ne arată câți atomi dintr-o substanță emițătoare de radiații, ce conține inițial un număr de N_0 atomi mai există după timpul t :

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}, \text{ unde: } \lambda \text{ este constanta de dezintegrare.}$$

Se vede că relația rămâne valabilă și dacă $N(t)$ respectiv N_0 reprezintă viteze de numărare, pe care să le numim intensități de particule $I(t)$ respectiv I_0 , unde :

$$I(t) = I_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}, \text{ de unde prin logaritmare: } \ln I(t) = \ln I_0 \cdot (-\lambda \cdot t).$$

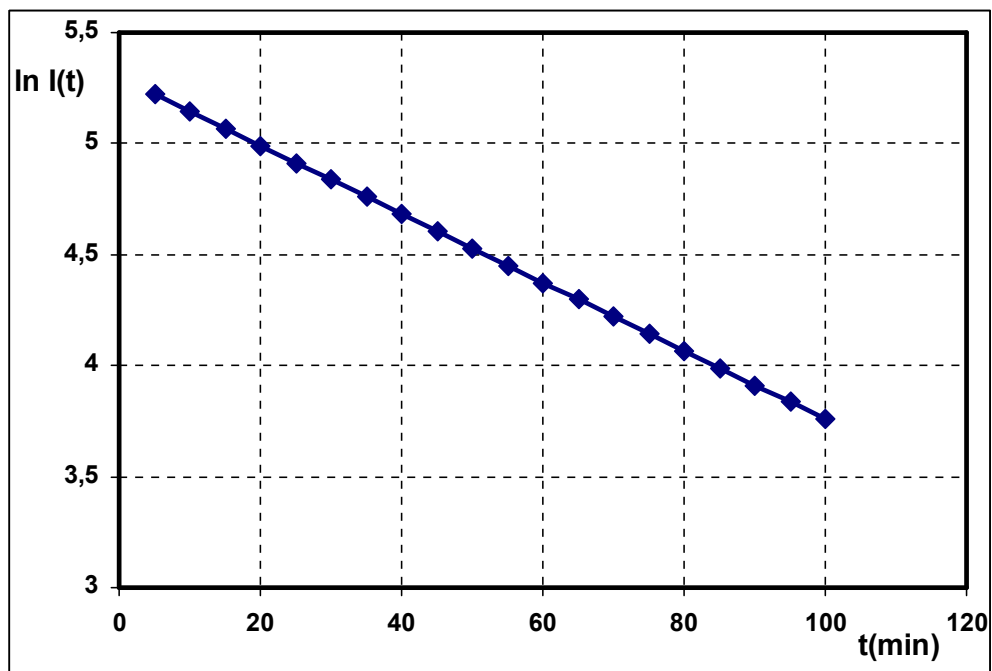
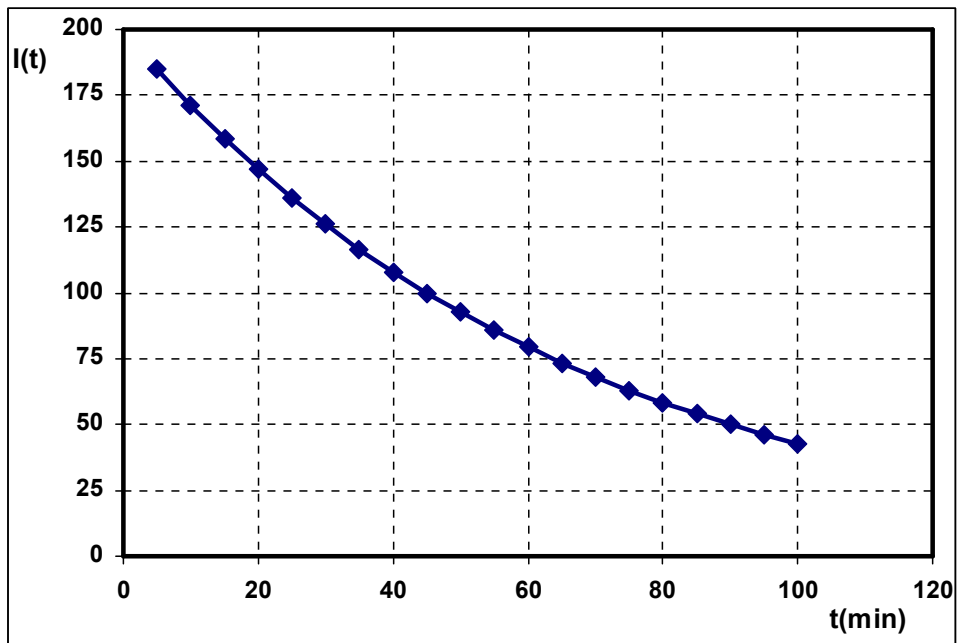
Instrumente necesare: filtru, suport filtru, aspirator, cronometru, hârtie milimetrică și calculator cu logaritm.

Mersul lucrării:

- Se măsoară radiația de fond F [imp/min], timp de 5 minute;
- Se aspiră aer prin filtru timp de 30 de min;
- Se măsoară numărul de imp/min (de 20 ori a câte 5 minute), astfel ca la fiecare 300 de sec se înregistrează o valoare de impulsuri, și calculează viteza de numărare G [imp/min];
- Se calculează intensitatea de particule netă, pentru fiecare măsurătoare: $I = G - F$;
- Se calculează $\ln I$, pentru fiecare I ;
- Rezultatele se introduc în tabelul următor:

Nr.	t (min)	I (imp/min)	ln I (imp/min)	Nr.	t (min)	I (imp/min)	ln I (imp/min)
1	5			11	55		
2	10			12	60		
3	15			13	65		
4	20			14	70		
5	25			15	75		
6	30			16	80		
7	35			17	85		
8	40			18	90		
9	45			19	95		
10	50			20	100		

- Se reprezintă grafic $I = f(t)$, și $\ln I = f(t)$;



- Pe baza celui de al doilea grafic:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\ln I_1 - \ln I_2}{t_1 - t_2} = \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}},$$

de unde se determină timpul de înjumătățire $T_{1/2}$ [min] a sursei radioactive de aerosoli, provenită din dezintegrarea totală a radonului și a descendenților de pe filtru.

Analiza rezultatelor:

- a. Din primul grafic se observă dependența exponențială a numărului de dezintegrări în funcție de timp.
- b. Din măsurătorile făcute rezultatul este diferit de cel scontat, datorită erorilor de măsură și datorită neglijării unor termeni, avându-se în vedere condițiile de laborator.

LABORATOR 12

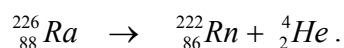
RADONUL ȘI FLUXUL DE RADON DIN SOL

1. Generalități

O componentă importantă a radioactivității naturale ai scoarței terestre este **radonul**. Fiind un gaz nobil și neparticipând la reacții chimice, radonul este prezent peste tot (în roci, în sol, în apele de suprafață și de adâncime, se emană din materialele de construcție, fiind prezent atât în interiorul locuințelor cât și în atmosfera exterioară și deasemenea, în gazele naturale în concentrații foarte diferite). Se creează în continuu din radiu, care este izolat în grăunțele mineral din roci și sol. În multe ape și gaze naturale ajunge chiar fără prezența radiului părinte, datorită procesului de difuzie sau transport, prin crăpăturile și fisurile rocilor, dizolvându-se în apele subterane. În atmosferă ajunge difuzând din sol spre suprafață, această exhalatie formând fluxul de radon al scoarței terestre.

În toate cele trei serii de dezintegrare al uraniului apare radonul. **Radonul** (^{222}Rn) cu un timp de înjumătățire de **3.82 zile** face parte din seria uraniului (^{238}U ; $t_{1/2} = 4.47 \cdot 10^9$ ani; abund. relativă 99,37 %) și se creează prin dezintegrarea alfa a ^{226}Ra ($t_{1/2} = 1600$ ani). **Thoronul** (^{220}Rn) cu un timp de înjumătățire de **55.6 sec** face parte din seria thoriului (^{232}Th ; $t_{1/2} = 1.41 \cdot 10^{10}$ ani; abund. relativă 100 %) și se creează prin dezintegrarea alfa a ^{224}Ra ($t_{1/2} = 3.66$ zile). La expunerea la doza de radiații naturală, procentajul cel mai mare provine de la ^{222}Rn (~60%). Astfel, o importanță deosebită trebuie acordată acestuia. Thoronul, având timpul de înjumătățire mult mai scurt decât al radonului, el se dezintegrează mai repede, astfel încât nu mai ajunge în atmosferă și deci doza de radiații este neglijabilă.

În timpul dezintegrării ^{226}Ra , nucleul atomic emite o particulă alfa (^4_2He) de energie 4,79 MeV, după relația următoare:



În roci și în sol radiul este prezent în concentrații variate. Concentrația de radon a unei formațiuni geologice depinde de cantitatea de radiu și de caracteristicile fizice și

proprietățile fizice și chimice locale ale rocilor respectiv solului. Cantitatea de radium și astfel concentrația de radon din sol poate să varieze radical din loc în loc (și în funcție de adâncime) datorat structurilor variate ale formațiunilor geologice locale. Granitele, rocile vulcanice au cantități mari de radium. Rocile sedimentare și metamorfice sunt de radioactivitate medie. Rocile bazaltice și calcaroase au cantitate de radium mic. Caracteristicile geologice ale unor zone geografice (ca sedimentare, fracturi, falii, etc.) ajută la acumularea locală a radonului, deoarece influențează migrarea radonului în sol, și către atmosferă.

Migrarea sau transportul radonului și thoronului de la locul de formare, adică grăunțele mineral din sol, rocă sau materialul de construcție spre aerul atmosferic sau aerul din interiorul locuințelor depinde în principal de următorii factori: porozitatea mediului, umiditatea solului, diferența de presiune dintre aerul din sol și cel din afară, și temperatură.

Ca factori secundari, dar care pot juca un rol deosebit de important în unele cazuri, amintim: viteza vântului, curenții ascendenți determinați de inversiunea de temperatură, variațiile rapide ale presiunii atmosferice.

Înțelegerea acestor procese este esențială în determinarea nivelului radonului în locuințe, mine, depozite subterane, descoperirea materialelor fisionabile și, de asemenea, în prognoza cutremurelor de pământ.

Procesele implicate în transportul izotopilor radonului spre suprafață sunt legate de mărimea și configurația spațiilor libere din sol. Aceste spații pot varia de la dimensiuni foarte mici (interstii moleculare) la mari caverne subterane. De asemenea spațiile pot fi izolate, interconectate sau închise. Volumul porilor nu poate varia și el în limite foarte mari.

În solul de la suprafață procesele de transport pot fi divizate în două mari categorii:

- a. procese microscopice în care predomină difuzia și curgerea vâscoasă,
- b. procese macroscopice în care apare un flux prin spărturi fisuri și canalele subterane.

2. Estimarea potențialului de radon din sol

Radiația produsă de dezintegrarea radonului și a descendenților, care sunt deasemenea elemente radioactive creează un risc semnificativ de expunere la populație. Comisia Internațională de Radioprotecție (ICRP) a recomandat anumite nivele de activitate și limitele acestor nivele au fost stabilite în multe țări. Orice program național de radon trebuie să ia în considerare trei aspecte principale:

- depistarea zonelor cu un posibil potențial crescut de radon,
- efectuarea de măsurători sistematice în aceste zone, asupra unui număr cât mai mare de locuințe,
- recomandarea, ca la terminarea studiilor, a unor măsuri de reducere a nivelului de radon din locuințele existente și stabilirea unui program cu măsuri suplimentare care trebuiesc avute în vedere la construirea de noi locuințe.

Transferul radonului din sol în construcții depinde de concentrația de radon din solul pe care se află construcția și de permeabilitatea solului. Aceste estimări conduc la determinarea potențialului de radon al solului. Pentru aceasta, se obișnuiește a se măsura concentrația de radon din sol și în același timp și permeabilitatea solului. Măsurătorile de concentrații și permeabilitate se efectuează de obicei la o adâncime de 80 cm.

Permeabilitatea este un parametru important în procesele de transport al gazelor în sol, care influențează în mare măsură fluxul sau exhalția de radon din sol. Permeabilitatea solurilor și a rocilor pentru gaze este unul dintre principalii parametrii pentru clasificarea finală a riscului de radon a locurilor construcțiilor.

În conformitate cu concentrația de radon măsurată în sol, solurile pot fi clasificate în trei categorii:

1. Zone cu risc ridicat, unde concentrația de radon al solului $> 50 \text{ kBq.m}^{-3}$; aici se pot clasifica acele zone în care subsolul este bogat în uraniu respectiv radium, sau solurile cu permeabilitate ridicată;
2. Zone cu risc mediu, unde concentrația de radon al solului este între $10\text{-}50 \text{ kBq.m}^{-3}$; aici se pot clasifica acele zone unde concentrația de uraniu respectiv radium nu depășesc “valoarea normală” pentru soluri, și permeabilitatea solurilor este medie.

3. Zone cu risc mic, unde concentrația de radon al solului este $< 10 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$; aici pot fi clasificate zonele unde concentrația de uraniu respectiv radu este mai mică decât valoarea medie; de ex. solurile calcaroase și nisipoase.

În ceea ce privește evaluarea valorilor de permeabilitate măsurată, în cadrul clasificării riscului de radon, este posibilă obținerea unor categorii de permeabilitate pentru gaze, utilizând limitele specifice pentru:

- permeabilitate mare: $k > 4.0 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$;
- permeabilitate medie: $4.0 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2 > k > 4.0 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$;
- permeabilitate mică: $k < 4.0 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$.

Această clasificare din punct de vedere a criteriilor geologice poate servi ca bază pentru cartografierea radonului unei zone geografice, precum și pentru proiectarea fundației și structurilor caselor.

3. Metode de măsurare

3.1. Metoda de măsurare a concentrației de radon din sol

Măsurarea concentrației de radon din sol poate fi efectuat cu detectorul de radon și toron LUK3C (fig.1). Acest detector se bazează pe tehnica detecției cu scintilație, cu celule Lucas, și determină concentrația direct din dezintegrările alfa ale radonului și toronului. Pentru colectarea probei de aer din sol se folosește o seringă Janet cu volum de 150 ml, care este conectat la o sondă de extracție. Sonda (cu o lungime de $\sim 1 \text{ m}$) este înfipt în sol la o anumită adâncime. După două sau trei extracții preliminare (eliminate în atmosferă, pentru antrenarea radonului dizolvat în gazul din sol) proba de aer colectat se introduce în celula Lucas al detectorului LUK3C. Introducerea probei se efectuează cu ajutorul unui sistem de vidare preliminar. Imediat după acesta, detectorul pornește un protocol de măsurare automat, care constă din măsurarea fondului celulei, urmat de un timp de întârziere de 5 minute pentru dezintegrarea toronului, și în final 5-10 măsurători consecutive de activitate a radonului, fiecare cu o durată de 20 sec. Timpul total pentru măsurarea și determinarea concentrației de radon și toron a unei singure probe de aer nu este mai lung de 15 min.



Fig.1. Detectorul LUK3C folosit pentru măsurătorile de concentrații de radon și toron în sol

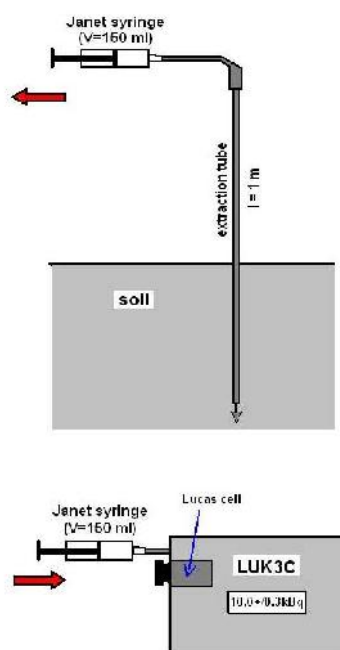


Fig.2. Schema pentru colectarea probei de aer din sol și măsurarea concentrațiilor de radon și toron cu LUK3C

3.2. Metoda de măsurare și determinare a permeabilității solului

Bazele teoretice ale măsurătorilor de permeabilitate se bazează pe legea lui Darcy. Considerăm solul un sistem omogen și izotrop, iar aerul din sol incompresibil (diferențele de presiune sunt cu puțin mai mici decât presiunea atmosferică). Debitul de aer extras din sol se poate determina cu relația următoare:

$$q = F \cdot \frac{k}{\mu} \cdot \Delta p,$$

unde, q este debitul volumic de aer ce trece prin sondă [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], F este factorul de formă al sondei [m] (ce depinde de geometria acestuia), k este permeabilitatea solului [m^2], μ

este vâscozitatea dinamică al aerului ($= 1.75 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, la 10°C), Δp este diferența de presiune între nivelul capătului de jos și capul sondei înfipt în sol [Pa].

Determinarea permeabilității solului poate fi efectuată printr-o metodă specială de extracție și măsurare a fluxului de gaz din sol. Pentru aceasta, se folosește un recipient de plastic, umplut cu apă, la care pe ambele capete este montat câte un robinet. Capărul superior (robinetul 1) este conectat la țeava de extracție a gazului din sol. Diametrul interior al tubul de conexie și cel al țevii de extracție sunt aceleași. Principiul măsurătorii de permeabilitate constă în curgerea unei coloane de apă din recipient, care înainte se umple cu o cantitate de apă (V). Sondă este introdusă în sol la o adâncime de 80cm, la fel ca și la măsurătorile de concentrații de radon. La capătul inferior al recipientului, robinetul (2) se va deschide atunci, când se pornește măsurătoarea de extracție și coloana de apă curge afară din recipient prin robinetul (2). Cu ajutorul acestui sistem se măsoară timpul (t) de curgere al apei din recipient. Debitul de curgere al apei (q) și se determină din raportul volumului apei (V) și timpul necesar curgerii apei (t) ($q = V / t$). Ulterior, debitul de curgere este proporțional cu permeabilitatea solului ($q \sim k$).

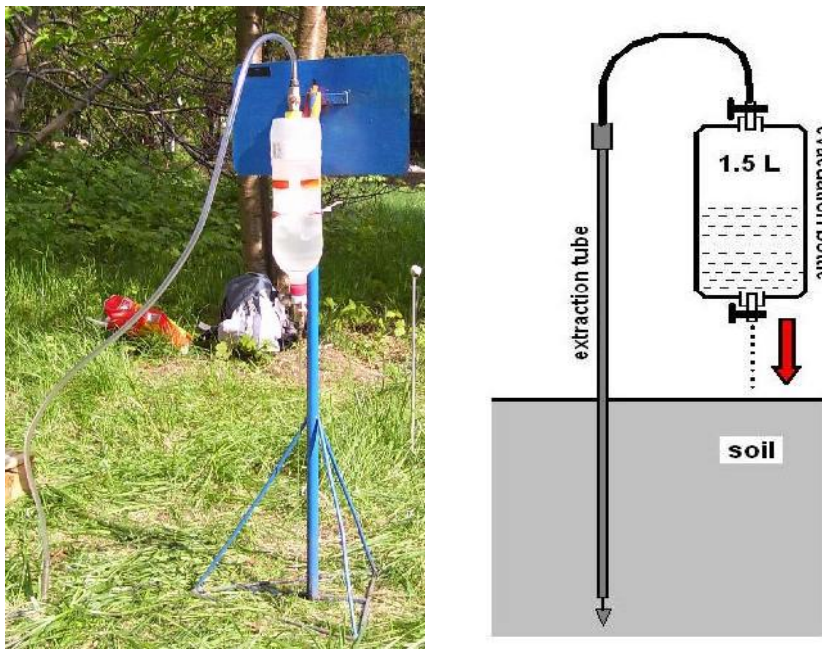


Fig.4. Schema pentru sistemul de măsurare a permeabilității solului

Punctul critic al acestei măsurători este în determinarea factorului de formă al sondei (F), care se poate determina din relația:

$$F = \frac{2 \cdot \pi \cdot l}{\ln \left(\frac{2 \cdot l}{d} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot D - 1}{4 \cdot D + 1}} \right)},$$

unde, l este lungimea capătului activ al sondei [m], d este diametrul capătului activ [m], iar D este adâncimea de la suprafața solului până la capătul activ al sondei [m].

4. Mod de lucru

4.1. Măsurarea concentrației de radon din sol

1. Din sertarul detectorului se alege o celulă Lucas, și se introduce în soclul celulei, în fața foto-multiplicatorului, după care se pune înapoi capacul soclului.
2. Se pornește detectorul, și cu ajutorul celor trei taste ($\leftarrow$, GO, $\rightarrow$) se caută protocolul de măsurare RT+ (radon, thoron, plus). Acest protocol de măsurare se folosește pentru măsurarea concentrațiilor ridicate de radon din sol, în prezența unei concentrații ridicate de toron. Protocolul de măsurare va efectua o durată de întârziere (120 s) pentru dezintegrări inițiale, după care va porni o măsurătoare de fond a celulei (120 s).
3. În acest timp de măsurare a fondului, simultan, se înfige țeava de extracție în sol (cu ciocanul), până la adâncimea de 80 cm, după care se scoate 5 cm din sol.
4. După terminarea măsurătorii de fond, se conectează pompa de vidare a celulei Lucas, și se pornește vidarea. Pentru aceasta se are în vedere ca robinetul de intrare să fie deschis, iar presiunea Phi (aprox. 950 hPa) să scadă până la valoarea minimă Plo (150 hPa). În momentul în care presiunea este mai mică de Plo, se închide robinetul.
5. Se conectează siringa Janet (cu un tub scurt de conexie) la tubul de extracție înfipt în sol. Se efectuează 2 extracții cu siringa, care se elimină în aer. La cea de a treia extracție, siringa va fi conectată la conexiunea de intrare a detectorului, după care

prin deschiderea robinetului gazul din seringă va fi absorbit în interiorul celului Lucas. Se are în vedere ca operația de extracție și introducerea gazului din sol, să se facă rapid, pentru a nu pierde toronul prin dezintegrare.

6. După introducerea gazului, detectorul va porni automat o măsurătoare de impulsuri provenind din dezintegrarea totală a Rn și Tn (20 s), după care un timp de întârziere pentru dezintegrarea Tn (300 s), și apoi 5-10 măsurători de impulsuri din dezintegrarea Rn (20 s). În final, pe afișorul detectorului va apărea valoarea concentrației medii de Rn și eroarea (OAR), și concentrația de Tn (OAT).
7. Rezultatele se introduc în următorul tabel:

Locul măsurătorii	D (cm)	OAR (C ²²² Rn) (kBq/m ³)	eroarea OAR (dC ²²² Rn) (kBq/m ³)	OAT (C ²²⁰ Rn) (kBq/m ³)	Observații
Punct 1					
Punct 2					
...					
...					
Punct n					

4.2. Măsurarea permeabilității solului

1. După terminarea măsurătorii de concentrație de radon din sol, aceeași țevă de extracție va fi folosită și pentru măsurătorile de permeabilitate, la aceeași adâncime (80 cm), și la aceeași scoatere a țevii (5 cm).
2. Se umple recipientul de plastic cu cei doi robineti cu o cantitate de apă de 1,5 l, și se înșurubează robinetul (1) pe el. Se are în vedere ca robinetul (2) ce se află în partea opusă a găurii recipientului să fie închis. Se conectează cu un tub de plastic robinetul (2) la țeava de extracție.
3. Se reglează cronometrul pe poziția de null.
4. Se răstoarnă recipientul de plastic cu gura în jos.

5. În momentul pornirii măsurătorii de curgere a apei din sticlă, se deschide robinetul (1) și se pornește cronometrul, pentru măsurătoarea de timp (t). Se are în vedere ca deschiderea robinetului și pornirea cronometrului să fie simultană și rapidă.
6. În momentul în care nivelul de apă ajunge la nivelul inferior, se oprește cronometrul.
7. Se calculează factorul de formă a sondei (F), după formula de mai sus, și după parametrii utilizați. Pentru metoda aplicată, valorile parametrilor utilizați sunt: $d = 12$ mm, $l = 45$ mm, iar adâncimea standard pentru măsurători $D = 0.825$ m.
8. Rezultatele se introduc în următorul tabel:

Locul măsurătorii	D (cm)	t (sec)	F (m)	Q (m ³ /s)	k (m ²)	Observații
Punct 1						
Punct 2						
...						
...						
Punct n						

8. Cu metoda descrisă mai sus, se efectuează măsurători în diferite puncte (pe un teren), la distanțe nu mai mari de 25 m.