



(12) **CERERE DE BREVET DE INVENȚIE**

(21) Nr. cerere: **a 2023 00663**

(22) Data de depozit: **08/11/2023**

(41) Data publicării cererii:
30/07/2024 BOPI nr. **7/2024**

(71) Solicitant:
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE
- DEZVOLTARE PENTRU FIZICĂ ȘI
INGINERIE NUCLEARĂ "HORIA HULUBEI"
(IFIN-HH), STR.REACTORULUI, NR.30,
MĂGURELE, IF, RO**

(72) Inventatori:
• **RĂDULESCU ILEANA, STR.UIOARA,
NR.12, BL.35, SC.2, AP.39, SECTOR 4,
BUCUREȘTI, B, RO;**
• **ANDREI RADU FLORIN, STR.FLORILOR,
NR.38, BL.C2, ET.2, AP.17, MĂGURELE, IF,
RO;**
• **ANTOHE ANDREI, ȘOS.IANCULUI, NR.21,
BL.106A, SC.B, ET.8, AP.78, SECTOR 2,
BUCUREȘTI, B, RO**

(54) **METODĂ DE ETALONARE ÎN EFICACITATE A UNUI SISTEM
SPECTROMETRIC GAMA FOLOSIND FANTOME TIROIDIENE
PRINTATE 3D**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă de etalonare în eficacitate a unui sistem spectrometric gama folosind fantome tiroidiene 3D, cu utilizare în domeniul măsurărilor spectrometrice și în domeniul nuclear și de protecție radiologică a personalului expus profesional și a populației. Metoda conform invenției constă în realizarea unei fantome tiroidiene 3D, fabricată utilizând acid polilactic, polietilenă tereftalată-glicol și poliuretan termoplastic, injectarea în fantoma tiroidiană 3D a unei soluții etalon constând dintr-un amestec de ^{133}Ba , ^{137}Cs și ^{60}Co , măsurarea fantomei tiroidiene cu un sistem spectrometric, în cazul de față un detector de scintilație NaI(Tl), cu sistem cilindric de ecranare a fondului detectorului NaI(Tl) cu colimator și realizarea curbei de etalonare în eficacitate.

Revendicări: 1
Figuri: 3

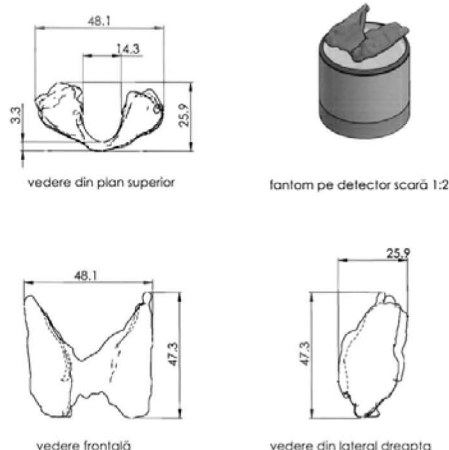


Fig. 1

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



Metodă de etalonare în eficacitate a unui sistem spectrometric gama folosind fantome tiroidiene printate 3D

Descriere

Invenția se refera la o metodă de etalonare în eficacitate a unui sistem spectrometric gama folosind fantome printate 3D tiroidiene și se încadrează în domeniul tehnic de măsurări spectrometrice și de cercetare/aplicare a tehnologiilor de măsurare în domeniul nuclear și de protecție radiologică a personalului expus profesional și a populației în cazul unui risc nuclear.

Stadiul actual al tehnici, la nivelul României, nu cunoaște o metodă de etalonare în eficacitate a unui sistem spectrometric gama folosind fantome printate 3D tiroidiene.

Stadiul actual a tehnici, la nivel internațional, cunoaște modele de fantome printate 3D tiroidiene, însă acestea au fost concepute pentru a fi utilizate în medicina nucleară, radiologie diagnostică și radioterapie pentru dozimetrie și calitatea imaginii în tomografia computerizată (CT) și rezonanță magnetică (MRI). Există, totuși, modele de fantome tiroidiene printate 3D ce sunt utilizate în calibrarea unor sistemelor spectrometrice, însă acestea folosesc doar ^{131}I . Dezavantajele soluțiilor deja existente constau în faptul că metodele și modele actuale internaționale nu asigură trasabilitatea în domeniul tehnic de măsurări spectrometrice și de cercetare/aplicare a tehnologiilor de măsurare în domeniul nuclear. Domeniul tehnic de măsurări spectrometrice acoperă o plajă mai largă de energii ale radionuclizilor utilizați astăzi în tehnologiile de măsurare în domeniul nuclear. Fantomele tiroidiene actuale, printate 3D, asigură strict domeniul medicinei nucleare și investigațiilor ce folosesc doar ^{131}I , și nu asigură domeniul tehnic de măsurări spectrometrice și de cercetare/aplicare a tehnologiilor de măsurare în domeniul nuclear.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția de față constă în etalonarea în eficacitate a unui sistem spectrometric gama folosind fantome tiroidiene printate 3D, ce conțin izotopi de ^{133}Ba (81 keV, 302,8 keV, 356,0 keV), ^{137}Cs (661,7 keV) și ^{60}Co (1173,2 keV, 1332,5 keV) pe domeniul de energie 30 keV – 1500 keV.

Metoda de etalonare a unui sistem spectrometric gama folosind fantome tiroidiene printate 3D ce conțin izotopi de ^{133}Ba , ^{137}Cs și ^{60}Co pentru domeniul de energie 30 keV – 1500 keV, înlătură dezavantajele de mai sus, prin aceea că:

- se pretează suprafața exterioară a tiroidei 3D folosind o imprimantă 3D termică cu filament plastic, în modul vază utilizat pentru printarea de suprafețe neregulate. Au fost utilizate trei materiale: Acid Polilactic (PLA), polietilenă tereftalată – Glicol (PET-G) și respective Poliuretan Termoplast (TPU). Aceste materiale au fost selectate datorită caracteristicilor lor, PET-G fiind potrivit pentru recipiente închise și păstrarea soluțiilor lichide. Iar TPU având o elasticitate sporită, permite astfel manipularea și testarea fantomului la stres mecanic și etanșietate. Filamentul din PLA a fost utilizat la printarea primelor variante datorită hidratării în timp a acestui material. Pentru printarea volumelor tiroidelor testate s-au utilizat temperaturile indicate pentru materialele utilizate 242°C pentru TPU și respectiv 248°C pentru PET-G. Rezoluția de printare verticală a fost de 0.2 mm pentru asigurarea adeziunii etanșe a straturilor depuse. Modelele au fost scalate la 105% din dimensiunile inițiale ale modelului 3D (Figura 1).

-se etanșează suprafața exterioară, ce a fost realizată folosind un amestec de silicon bicomponent ZT45 transparent (Zhermack), utilizat în realizarea matrixelor elastice atât în prototiparea industrială cât și în domeniul medical și de protezare dentară, amestecul de 70/30 bază-catalizator fiind potrivit printr-o aderență mai bună la suprafețele printate.

-se realizează o soluție de amestec etalon din radionuclizii $^{133}\text{Ba}+^{137}\text{Cs}+^{60}\text{Co}$ injectată în fantomele tiroidiene printate 3D astfel: două surse etalon sub forma de tiroida (fantoma de tiroida 3D) au fost preparate prin cântărire gravimetrică din soluție etalon amestec de $^{60}\text{Co} + ^{133}\text{Ba} + ^{137}\text{Cs}$ uniform distribuită în masa lichidului. Pentru cântărire s-a folosit balanța analitică Mettler Toledo tip XS204 etalonată conform certificatului de etalonare nr. 02.01-7032/2017 eliberat de BRML-INM București. Fiecare fantomă a fost umplută cu o masă din soluția etalon amestec. Pentru asigurarea radioprotecției din punct de vedere al contaminării exterioare, cele două fantome au fost etansate și închise. Valorile celor două fantome tiroida printate 3D sunt date în certificatul de etalonare nr. 374/03.11.2022.

Avantajele invenției sunt următoarele:

- asigură trasabilitatea rezultatelor în domeniul tehnic de măsurări spectrometrice și de cercetare/aplicare a tehnologiilor de măsurare în domeniul nuclear (centrale nucleare, situații de urgență nucleară);

- produce un model 3D (fantomă) real al tiroide umane (scara 1:1);
- crește sensibilitatea de detecție a sistemelor spectrometrice;
- crește numărul de radionuclizi și domeniul de energie ;
- diminuează incertitudinea de măsurare a radionuclizilor detectați;
- asigura intercompararea rezultatelor pentru diverse sisteme spectrometrice (prin realizarea a două fantome tiroide 3D (denumite Tir 1 și Tir 2).

Se dă, în continuare, un exemplu de realizare a invenției, în legătură cu Figura 1 - 2, care reprezintă:

- Figura 1, desenul tehnic după care a fost realizată fantoma de tiroida 3D, la scara 1:1, utilizând materialele din descrierea de mai sus;

- Figura 2, schema de etalonare a unui spectrometru, conform invenției.

Invenția de față propune o metodă de etalonare în eficacitate a unui sistem spectrometric gama folosind fantome printate 3D tiroidiene injectate cu o soluție de amestec etalon din radionuclizii $^{133}\text{Ba}+^{137}\text{Cs}+^{60}\text{Co}$, în domeniul de energii 30 keV - 1500 keV.

Metoda de etalonare în eficacitate se aplică pe un sistem spectrometric gama folosind fantome printate 3D tiroidiene și soluția de amestec etalon din radionuclizii $^{133}\text{Ba}+^{137}\text{Cs}+^{60}\text{Co}$ injectată în fantomele tiroidiene printate 3D. Pe acest sistem spectrometric se efectuează următoarele operații (Figura 2):

- se fixează o fantoma tiroidiana (ce conține soluția de amestec etalon din radionuclizii $^{133}\text{Ba}+^{137}\text{Cs}+^{60}\text{Co}$) în fața sistemului spectrometric;

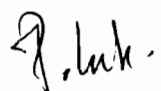
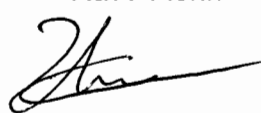
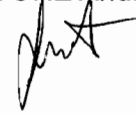
- se pornesc calculatorul și modulul DspecPro. Se deschide programul Gamma Vision -32;

- din meniul principal se accesează funcția „Acquire”, se selectează opțiunea MCB Properties>Presets> Live Time. Se setează 600 secunde;

- din meniul principal se accesează funcția „Acquire”>Start;

- la terminarea timpului de achiziție, spectrul se salvează, din meniul principal se accesează funcția „File”>Save as> Nume fișier;

- în următorul pas se realizează calibrarea în energie a spectrometrului gama în domeniul de energie 30-1500 keV pentru radionuclizi prezentați în Tabelul următor:

Ba-133	81,0	32,9	1650 ± 50	2258 ± 68
Ba-133	302,85	18,34		
Ba-133	356,0	62,05		
Cs-137	661,6	85,00	435 ± 13	596 ± 18
Co-60	1173,2	99,85	1044 ± 31	1430 ± 43
Co-60	1332,5	99,98		

- din funcția „Analyse” se selectează comanda „Peak Search”, pentru selectarea picurilor de energie ale surselor folosite;

- se selectează un pic de energie provenit de la fantoma tiroidiană 3D prin poziționarea cursorului pe acesta;

- se selectează Opțiunea „Energy” din funcția „Calibrate” a meniului principal și se introduce energia cunoscută a picului selecționat prin cursor; Se repetă acest pas pentru toate picurile de energie;

- în acest fel, se stabilește o relație între energiile radionuclizilor și canalele în care se achiziționează picurile de energie ale acestora;

- se selectează opțiunea „Save” din fereastra „Energy Calibration”, pentru a salva calibrarea în energie realizată într-un fișier, ce va avea extensia ENT.

Etalonarea în eficacitate a spectrometrului gama se efectuează după calibrarea în energie a acestuia. Se vor utiliza datele din certificatul de etalonare ale aceleiași fantome 3D tiroidiene ce conține Ba-133, Cs-137, Co-60, și anume activitatea radionuclizilor, factorul de schemă, data când a fost etalonată conform certificatului de etalonare;

- se deschide spectrul cu liniile de energie ale surselor utilizate pentru calibrarea în energie, în care sunt marcate zonele de interes ale acestora;

- se selectează funcția „Calibrate” din meniul principal și apoi opțiunea „Efficiency” care deschide fereastra „Efficiency calibration”;

- se selectează pentru funcția „Mode”, opțiunea „Polynomial”;

- se selectează funcția „Library” și apoi opțiunea „Select Peak” pentru a deschide Libraria cu datele din certificat pentru fiecare radionuclid;

- în librărie se selectează linia de 81.0 keV a 133Ba. Cursorul se va muta automat pe picul corespunzător acestei linii de energie, iar valoarea liniei energetice se inserează automat în fereastra „Efficiency Calibration” (Pasul 1);

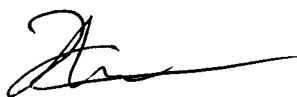
- se selectează comanda „Calc...” și se deschide o altă fereastră „Efficiency calculation worksheet” unde se completează din certificatul de etalonare în formatul cerut, data când a fost calibrată fantoma 3D tiroidiană și activitatea în Bq (Pasul 2);

- se selectează și comanda „From Library” și apare în mod automat, importată din librărie, valoarea timpului de înjumătățire a radionuclidului selectat (Pasul 3);

- se selectează comanda OK și apare valoarea calculată a eficienței sistemului care se inserează automat în fereastra „Efficiency Calibration” și în fereastra „Efficiency Table” (Pasul 4);

- se repetă pașii anteriori (1-4), pentru toate liniile de energie a unui radionuclid și pentru ceilalți radionuclizi;

- în acest fel, se stabilește o relație între punctele de eficacitate găsite și liniile de energie ale radionuclizilor, curba de etalonare în eficacitate apare automat în fereastra „Efficiency Graph”(Fig. 3);


- din fereastra „Calibrate”, se selectează comanda „Save Calibration” pentru salvarea funcțiilor de calibrare în energie și eficacitate rezultând un fișier cu extensia CLB;

Metoda descrisă mai sus se poate aplica pe orice alt sistem spectrometric, în orice configurație și cu orice alt tip de detector.

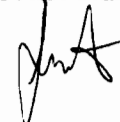
Lanțul spectrometric gama pe care s-a aplicat metoda de etalonare în eficacitate folosind fantoma tiroidiană printată 3D are următoarele componente:

- Detector de scintilație NaI(Tl) ORTEC de dimensiuni 51 mm x 51 mm;
- Sistem cilindric de ecranare a detectorului NaI(Tl) cu colimator
- Electronica asociată detectorului NaI(Tl): tub fotomultiplicator cu preamplificator și modul de tensiune înaltă, integrate în sistemul Scintipack-ORTEC (ScintiPack Photomultiplier Base - Model 296, necesar conversiei semnalelor luminoase în semnale electrice;
- Calculator personal în care este instalat programul specializat ORTEC: Gamma Vision 32 v-6 Software pentru achiziția și analiza spectrelor de amplitudine.

Condiții de referință: Temperatura: $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$; Presiunea: $1013,25 \pm 0.2 \text{ hPa}$

Condiții de mediu: Temperatura: $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$; Presiunea: $1013,25 \pm 0.2 \text{ hPa}$

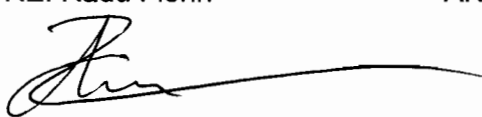
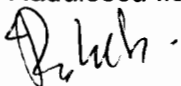
Printre domeniile de utilizare și aplicare imediată se pot enumera: domeniul de măsurării spectrometrice a personalului ce lucrează în secțiile de radioterapie în spitale, clinici; măsurarea spectrometrică a personalului autorizat în cazul intervențiilor radiologice în caz de urgențe nucleare - atacuri teroriste; domeniul nuclear și de protecție radiologică a personalului expus profesional și a populației în cazul unui risc nuclear cu scopul de a evalua contaminarea internă a tiroidei cu radionuclizi.

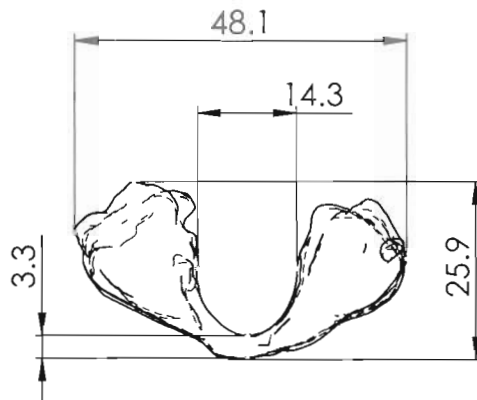


Revendicare

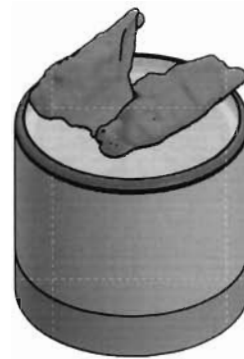
Metoda de etalonare în eficacitate a unui sistem spectrometric gama folosind fantome printate 3D tiroidiene în vederea utilizării în domeniul tehnic de măsurări spectrometrice și de cercetare/aplicare a tehnologiilor de măsurare în domeniul nuclear și de protecție radiologică a personalului expus profesional și a populației în cazul unui risc nuclear **caracterizată prin aceea că** metoda constă în următoarele etape:

- realizarea în modul vază a tiroidei 3D folosind o imprimantă 3D termică cu filament utilizată pentru printarea de suprafețe/volumele neregulate. Au fost utilizate trei materiale: Acid Polilactic (PLA), polietilenă tereftalată – Glicol (PET-G) și respectiv Poliuretan Termoplast (TPU). Aceste materiale au fost selectate datorită caracteristicilor lor, fiind potrivite pentru recipiente închise și păstrarea soluțiilor lichide;
- realizarea unei soluție de amestec etalon din radionuclizii $^{133}\text{Ba} + ^{137}\text{Cs} + ^{60}\text{Co}$, ce acoperă domeniul de energii 30 keV - 1500 keV, soluție ce este injectată în tiroida 3D;
- măsurarea acestei tiroide cu un sistem spectrometric, în cazul de față, detector de scintilație NaI(Tl) ORTEC de dimensiuni 51 mm x 51 mm, cu sistem cilindric de ecranare a fondului detectorului NaI(Tl) cu colimator;
- realizarea curbei de etalonare în eficacitate.

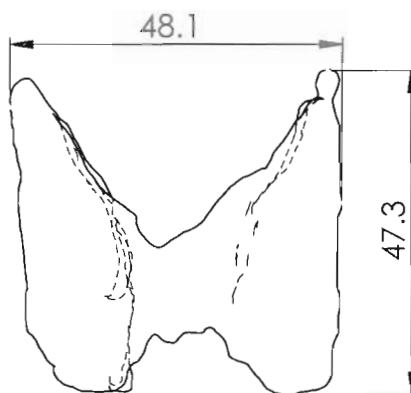




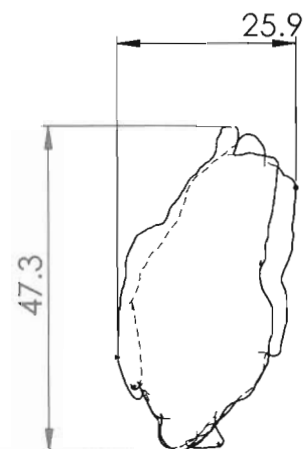
vedere din plan superior



fantom pe detector scară 1:2



vedere frontală



vedere din lateral dreapta

dimensiunile sunt în milimetri					
Nume	Semnătură	Data	TITLU:		
		01.11.2023	fantom glandă tiroidă printată 3D		
		MATERIAL: bistrat compozit			
		PoliEtilena Tereftalată Glycol			
		Silicon ZT45		A4	
		Scara: 1:1		foia 1 din 1	

RADULESCU Ileana

ANDREI Radu Florin

ANTOHE Andrei

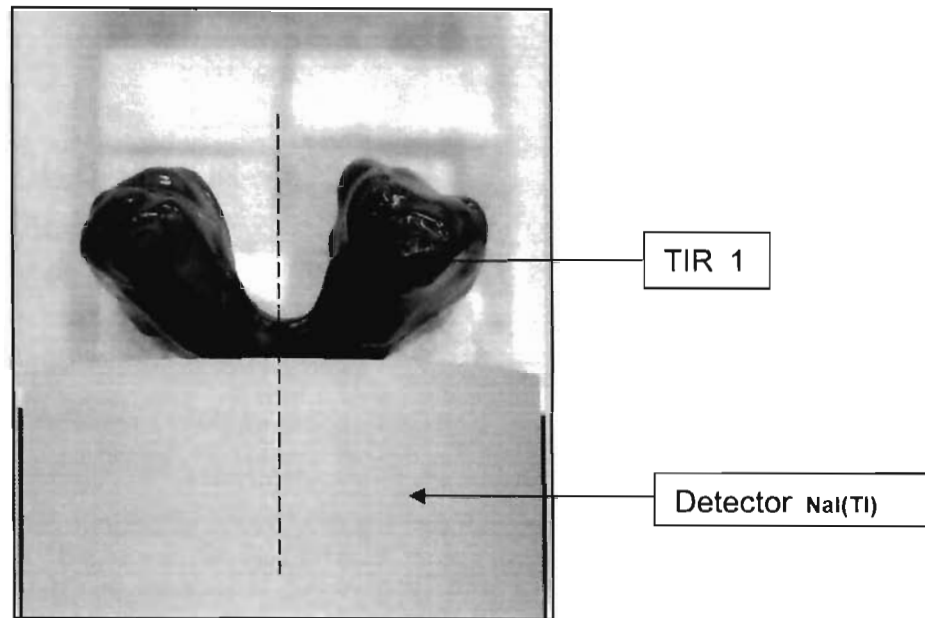


Figura 2.

Etalonarea în eficacitate a unui sistem spectrometric bazat pe detector de NaI(Tl)

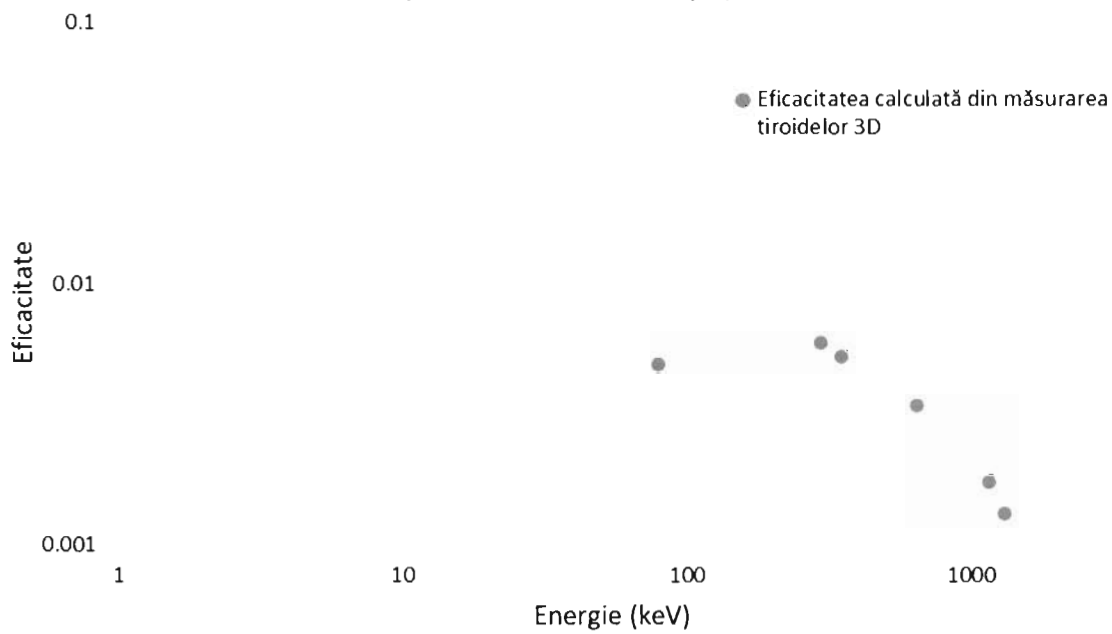


Figura 3.

Rădulescu Ileana

2
ANDREI Radu Florin

ANTOHE Andrei