

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2020 00077

(22) Data de depozit: 17/02/2020

(41) Data publicării cererii:
30/10/2020 BOPI nr. 10/2020

(71) Solicitant:
• ACCENT PRO 2000 SRL,
STR. NERVA TRAIAN NR.1, BL.K6, SC.1,
AP.26, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:
• IOVEA MIHAI, STR. NERVA TRAIAN NR.1,
BL.K6, SC.1, AP.26, SECTOR 3,
BUCUREȘTI, B, RO

(54) PROCEDURĂ DE DISCRIMINARE ȘI IDENTIFICARE
A MATERIALELOR DENUMITĂ "COMPORTAMENT
SPECTRAL" FOLOSIND O TEHNICĂ BAZATĂ
PE MĂSURAREA SPECTROSCOPICĂ A ATENUĂRII
RAZELOR X, CU APLICAȚII ÎN CONTROLUL
DE SECURITATE AL BAGAJELOR PENTRU IDENTIFICAREA
MATERIALELOR PERICULOASE

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă de discriminare și identificare a materialelor periculoase pe baza măsurării spectroscopice a atenuării razelor X, pentru controlul de securitate al bagajelor. Metoda, conform invenției, completează metoda de identificare bazată pe sisteme tomografice "multi-energie" prin considerarea spectrelor de transmisie ale unui material particular în raport cu spectrul de transmisie al apei, etapele cuprinzând scanarea apei ca referință de bază, scanarea unei multitudini de materiale etalon cunoscute ca fiind periculoase, dar și benigne, pentru fiecare material etalon calculându-se un parametru denumit comportament spectral; la măsurarea unui material necunoscut X, acesta este scanat și se calculează atenuarea relativă, comportamentul spectral pentru acest material necunoscut și, pentru fiecare element dintr-o bază de date cu elemente, se calculează o distanță relativă spectrală între un material necunoscut și fiecare element din baza de date.

Revendicări: 4
Figuri: 3

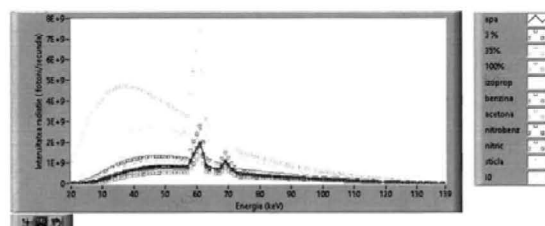


Fig. 1

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).



OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI
Cerere de brevet de invenție
Nr. a 2020 0077
Data depozit1.7.2020

36

Procedură de discriminare și identificare a materialelor denumite „comportament spectral” folosind o tehnică bazată pe măsurarea spectroscopică a atenuării razelor X, cu aplicații în controlul de securitate al bagajelor pentru identificarea materialelor periculoase

DESCRIERE

1. Domeniul tehnic la care se referă invenția

Invenția, a cărei brevetare o solicităm, se referă la o procedură originală privind identificarea materialelor prin măsurarea atenuării cu detectori spectroscopici și prin calcularea unei noi mărimi specifice fiecărui material denumite „comportament spectral” ce caracterizează modul de atenuare al radiației de către materialul considerat pe întreg domeniul spectral al sursei de raze X, util la identificarea materialelor periculoase din interiorul bagajelor, tehnica putând fi clasificată în categoria Securitate - Identificarea materialelor periculoase din bagaje.

2. Circumstanțele necesității unui control neinvaziv, rapid și eficient al bagajelor pentru identificarea materialelor periculoase

Creșterea continuă a traficului prin punctele de frontieră acompaniată cu riscul transportului materialelor periculoase, explosive sau interzise duc la necesitatea realizării unui control al bagajelor rapid, nedistructiv și cu o rată cât mai mică a erorilor de identificare a materialelor din bagaje.

Cele mai performante scanere și cele mai utilizate sunt cele cu raze X care la controlul de securitate al bagajelor trebuie să răspundă mai multor cerințe obligatorii, precum: să prezinte un număr redus de alarme fals pozitive și respectiv de alarme fals negative, să fie rapide și fiabile, să aibă un gabarit și un consum energetic cât mai redus, să permită control automat real, fără intervenția operatorului.

În funcție de tipul de detectorii de raze X care sunt utilizați în scanere la măsurarea radiației transmise prin bagajele scanate, instalațiile actuale de control al bagajelor, se împart în:

- de tipul clasic, ai căror detectori integrează energetic toată intensitatea radiației X transmise, și care pot realiza doar imagini radiografice digitale ale bagajului;

- cu detectori de tipul „doua-energii” ce permit măsurarea razelor X transmise în două zone spectrale de energii, și care pot realiza imagini radiografice ale bagajului în numerele atomice efective (Z_{eff}) ale materialelor scanate, permițând astfel o mai bună identificare a materialelor periculoase din acestea;
- cu detectori de tipul spectroscopic sau „multe-energii”, care măsoară spectrul radiației transmise prin bagaj în mai multe zone spectrale înguste energetic și distincte numite canale, ceea ce permit determinarea cu precizie și acuratețe mai bună a valorilor Z_{eff} și respectiv o mai bună identificare a materialelor componente.

De menționat că în funcție de modul în care este realizată scanarea și achiziția datelor 3D, tomografele cu raze X destinate controlului bagajelor, care pot măsura atât Z_{eff} cât și densitatea materialelor din bagaje, la rândul lor se împart în două mari categorii:

- tomografe mecanice clasice, derivate din soluția tehnică a celor medicale, în care sursa de raze X și șirul de detectori liniari sunt mecanic rotiți în jurul tunelului prin care bagajul este deplasat liniar pe banda de transport. Această soluție tehnică este din ce în ce mai puțin utilizată din cauza problemelor tehnice, al energiei electrice consumate ridicate, vitezei de control a bagajelor relativ mică și, nu în ultimul rând, costurilor ridicate de achiziție.
- tomografe statice, care utilizează mai multe surse de raze X și mai multe șiruri liniare de detectori montați în poziții fixe în jurul tunelului prin care bagajul este translatat de către conveier. Acest sistem de tomograf static este cel mai avansat concept tehnologic în domeniul controlului bagajelor și prezenta invenție se referă la o soluție tehnică nouă optimizată pentru un astfel de sistem de control bagaje.

Cele mai utilizate scanere cu raze X în prezent în aeroporturi sunt cele de tipul „doua-energii” și „doua-vederi” care scanează bagajele cu șiruri de detectori „doua-energii” după două unghiuri ortogonale față de banda de transport, pentru a evita să fie ascunse/suprapuse unele obiecte din bagaj. Însă, cele mai performante astfel de echipamente cu raze X pentru scanarea bagajelor sunt Tomografele cu raze X care realizează imagini ale bagajului scanat direct în trei dimensiuni (3D) și identifică materialele prin măsurarea valorilor Z_{eff} și ale densității materialelor investigate, la rate de

scanare de cca. 800-1800 bagaje pe ora (Alvarez and Macovski, 1074, Wells and Bradley, 2012, Mouton and Breckon, 2015).

Toate aceste dispozitive, pe lângă identificarea directă a explosivilor solizi, mai au încă o problemă delicată de rezolvat și anume identificarea precisă a lichidelor sau a emulsiilor semilichide din bagaje care, prin amestecare în avion, pot deveni explosive, numite generic precursori.

Problema principală este că multe alte materiale nepericuloase au caracteristici similare cu a celor periculoase, iar discriminarea lor pe această cale este incomplet rezolvată. Ceea ce face ca, la ora actuală, multe materiale solide, dar mai ales lichidele sau emulsiile cosmetice, acceptate chiar în cantitate mai mică de max. 100 ml, să nu poată fi păstrate în bagajele de mână la scanare, spre marea nemulțumire a pasagerilor care trebuie să le scoată din bagaje și să le prezinte separat la scanarea cu raze X.

De aceea, elaborarea unor tehnici de control a bagajelor care să permită păstrarea lichidelor sau a emulsiilor în bagajele de mână ale pasagerilor este extrem de actuală și se poate vorbi de un efort mondial în găsirea unor soluții eficiente și rapide.

3. Problema tehnică ce o rezolvă invenția în elaborarea unui criteriu original de discriminare în cadrul tehnici de control nedistructiv al bagajelor.

Pentru toate echipamentele de scanare bagaje de tipul „două-energii” sau „multe-energii” și pentru energii ale razelor X sub 1.022 MeV (pragul inferior pentru generarea de perechi), atenuarea razelor X este de tip exponențial:

$$I = I_0 \exp(-\mu d) \quad (1)$$

unde: I_0 este intensitatea radiației incidente, I este intensitatea radiației după atenuarea prin materialul considerat, d este grosimea materialului, iar μ este coeficientul liniar de atenuare al radiației pentru materialul considerat.

Dependența de tipul materialului a procesului de atenuare este descrisă simplificat prin intermediul coeficientului liniar de atenuare μ ce depinde, într-o formă simplificată, atât de energia razelor X, dar mai ales de densitatea ρ cât și de numărul de ordine Z_{eff} al materialului considerat:

$$\mu = \frac{\rho}{A} [a_1 Z_{eff}^k + a_2 Z_{eff}] = \rho \times \frac{Z_{eff}}{A} [a_1 Z_{eff}^{k-1} + a_2] \quad (2)$$

unde: ρ este densitatea materialului, A este numărul atomic de masă al materialului, Z_{eff} este numărul atomic efectiv sau numărul de ordine al materialului sau al mixturii de materiale considerate, iar Z_{eff}/A poate fi considerat constant pentru materialele organice de interes, k este o constanta cu valori între 3 și 4, iar a_1 și a_2 sunt două constante ale căror valori depind slab de energia razelor X și care, împreună cu valoarea lui k , pot fi determinate experimental folosind materiale cu ρ și Z_{eff} cunoscute, printr-un proces de etalonare.

Scriind ec. (2) pentru două energii diferite, se obține un sistem neliniar de ecuații ale cărui soluții reprezintă valorile densităților ρ și ale numerelor de ordine efective Z_{eff} ale materialului scanat se obțin ecuațiile

$$\mu_{Low} = \rho \times (a_1^{Low} Z_{eff}^{k-1} + a_2^{Low})$$

$$\mu_{High} = \rho \times (a_1^{High} Z_{eff}^{k-1} + a_2^{High})$$

care, după un proces de etalonare cu materiale ale căror valori ale ρ și Z_{eff} sunt cunoscute, se pot determina direct valorile Z_{eff} și ρ pentru un material necunoscut tomografiat cu raze X la două zone de energii, rezultând din etalonare valorile a_1^{Low} , a_1^{High} , a_2^{High} și a_2^{Low} .

Aceasta fiind tehnica de identificare a materialelor numita „doua-energii”, care este cel mai des utilizat în scanerile tomografice de bagaje actuale, este implementată fie prin programarea sursei de raze pentru a emite două spectre distincte de raze X, fie prin utilizarea unor detectori „doua-energii”.

Cei doi parametri mai sus menționați, densitatea ρ și numărul de ordine efectiv Z_{eff} , sunt în principiu suficienți pentru a distinge materiale având numerele de ordine destul de diferite, cum este cazul diferenței dintre materialele organice și cele de tipul celor metalice, de exemplu.

În cazul controlului bagajelor apare o problemă specifică și anume faptul că materialele de interes, în special explozive sau precursori de explozivi, aparțin clasei de materiale organice pentru care diferențele numerelor de ordine efective Z_{eff} și ale densităților acestora sunt extrem de mici și multe valori ale substanțelor periculoase se suprapun peste valori similare pentru materiale benigne, precum: brânza, ciocolata, creme, pudra, pasta de dinți, sau chiar apa, etc. Astfel, cu toată tehnologia tomografică

complexa implicata, scanerile de bagaje tomografice încă nu pot separa corect materialele din bagaje numai prin măsurarea densității și a Zeff a materialelor scanate, creându-se procente substanțiale de alarme fals pozitive sau fals negative greu de acceptat.

4. Procedul prin care, conform prezentei invenției, se adaugă un avantaj substanțial sistemelor actuale de scanare a bagajelor prin calcularea unui nou parametru specific fiecărui material numit „comportament spectral” .

Trebuie remarcat că în ultimele decade, pentru detecția radiațiilor X sunt mai des folosiți detectorii spectroscopici din CdTe sau CdZn ce permit determinarea spectrului energetic al razelor X transmise de materialele investigate. Acești detectori sunt cu atât mai utili în aplicațiile bazate pe atenuarea diferențiată a razelor X cu atât pot fi montați în număr foarte mare sub formă de șiruri de detectori, astfel încât prin translația bagajului pe banda de transport, se pot obține hărți 3D privind distribuția materialelor după valorile densității și ale Zeff.

Pentru toate sistemele tomografice „multe-energii” putem determina atenuarea unui material de grosime d pentru fiecare interval de energii egale succesive furnizate de detectorii spectroscopici. Lățimea unui astfel de interval este parametrul de interes ce caracterizează rezoluția energetică, iar fiecare astfel de interval poartă numele de „bin”, astfel ca putem discuta despre numărul de binuri ca fiind numărul de intervale energetice egale în care a fost împărțit întregul spectru emis de sursa de raze X.

Astfel, atenuarea A_i a radiației corespunzătoare bin-ului i care este legată de intensitatea radiației incidente corespunzătoare aceluiși bin i prin relația:

$$A_i = e^{-\mu_i d} = \ln \frac{I_{0,i}}{I_i} \quad (3)$$

unde m_i este coeficientul liniar de atenuare corespunzător energiei bin-ului i , d este grosimea materialului, $I_{0,i}$ este intensitatea radiației incidente corespunzătoare energiei bin-ului i , I_i reprezintă intensitatea radiației transmise corespunzătoare energiei bin-ului i . Astfel, la un sistem tomografic utilizând detectori spectroscopici, se poate măsura atenuarea corespunzătoare unui material printr-un sir de valori ale atenuărilor pentru fiecare diviziune/bin al spectrului energetic al razelor X.

Așa cum rezulta din relația (3), atenuarea corespunzătoare fiecărui bin depinde de grosimea d a materialului, ceea ce face ca relația să nu poată fi utilizată în această formă

la caracterizarea materialului. Pentru a elimina acest efect, mulțimea valorilor atenuărilor A_i este împărțit la valoarea tuturor atenuărilor de pe întreg domeniul de energie al spectrului, ceea ce conduce la un nou spectru numit „spectru relativ” specific fiecărui material, ce reprezintă distribuție după energie a atenuării relative A_i^r care acum poate fi considerata specifica fiecărui material considerat.

$$A_i^r = \frac{A_i}{\sum A_i} \quad (4)$$

unde A_i este intensitatea radiației transmise corespunzătoare bin-ului i , iar la numitor este sumarea după toate atenuările măsurate la toate intervalele energetice sau la toți bin-ii.

Din păcate, cu toate ca valorile din (4) sunt distincte pentru diferite materiale, totuși acestea sunt foarte apropiate și cu greu se poate realiza o discriminare eficientă, datorită faptului că materialele de interes sunt în general cele organice care sunt compuse din cam aceleași elemente (C, O, H, N, etc) având numere de ordine Z_{eff} mici.

Discriminarea poate fi crescută dacă se consideră spectrele de transmisie ale unui material față de spectrul de transmisie al apei, elementul care este foarte aproape de explozivii organici și de lichidele precursore de explozivi, creând cele mai mari confuzii privind identificare lichidelor potențial explosive. Astfel, definim un nou parametru ce caracterizează „comportamentul spectral” a unui material denumit coeficientul CS, calculat astfel :

$$CS_i^{material} (\%) = \frac{\left| (A_i^r)_{apa} - (A_i^r)_{material} \right|}{(A_i^r)_{apa}} \times 100 \quad (5)$$

Unde, $CS_i^{material} (\%)$ este un sir de numere în % pentru fiecare bin de energie ce caracterizează diferența spectrală relativă dintre materialul considerat și apa luată ca referință, $(A_i^r)_{material}$ este distribuția spectrală relativă a unui material calculată cu (4); $(A_i^r)_{apa}$ este distribuția spectrală relativă a apei calculate cu (4).

Formula (5) se poate utiliza ca atare în identificare materialelor prin utilizarea detectorilor „multe-energy”, astfel:

- Se scanează întâi apa ca referința de baza și se calculează $(A_i^r)_{apa}$ cu ecuația (4);
- Se scanează multiple materiale etalon cunoscute periculoase dar și benigne în număr de j și la fiecare se calculează $(A_i^r)_{material}$ cu ecuația (4)
- Pentru fiecare material etalon din cele j existente se calculează $CS_i^{material}(\%)$ cu ecuația (5) și aceste valori spectrale se păstrează într-o baza de date $CS_i^{j(bazadedate)}(\%)$;
- La măsurarea unui material necunoscut X , acesta se scanează și se calculează $(A_i^r)_X$ cu ecuația (4);
- Se calculează $CS_i^X(\%)$ cu ecuația (5) pentru materialul necunoscut;
- Pentru fiecare material din baza de date cu j elemente se calculează

$$D_X^j(\%) = \frac{\sum |CS_i^{j(bazadedate)}(\%) - CS_i^X(\%)|}{CS_i^{j(bazadedate)}(\%)} \times 100 \quad (6)$$

unde $D_X^j(\%)$ poate fi interpretat ca o distanță relativă spectrală între un material necunoscut față de fiecare element din baza de date;

În funcție de valoarea procentuală minimă obținută pentru $D_X^j(\%)$, dacă aceasta este pentru un material din baza de date în intervalul, de exemplu, de 0-3 %, se poate spune că materialul necunoscut este foarte probabil să fie precum cel din baza de date. Dacă valorile distanței relative sunt mult mai mari atunci probabilitatea de a identifica materialul este mai mică și probabil materialul investigat nu este în baza de date.

5. Avantajele procedurii ce face obiectul invenției

Procedura pe care o propunem spre brevetare permite obținerea unei noi metode de identificare a tipului de material de interes bazat pe măsurarea spectrală a atenuării materialului, în condițiile în care în prealabil există o baza de date cu materiale cunoscute conținând spectrele de absorbție ale razelor X la mai multe energii produse de sursa de raze X folosită.

Metoda propusă, spre deosebire de utilizarea tehnicii „două-energii” clasice, care identifică materialele doar după valorile densității și ale Zeff, metoda noastră completează

metoda clasica „doua-energii” prin adăugarea unui noua caracteristici de material, numita comportament spectral, prin calcularea valorilor conform formulei (5). Identificarea suplimentara prin comportamentul spectral fata de tehnica clasica „doua-energii” este deosebit de sensibilă la compoziția chimica a materialelor investigate, micile modificări ale spectrului coeficienților relativi de atenuare a radiației ducând la variații mari ale parametrului $D_X^j(\%)$, reducându-se substanțial numărul de alarme fals pozitive sau fals negative in procesul de scanare a bagajelor cu raze X .

6. Rezultate ilustrative

Din baza de date de la NIST (4) au fost preluate datele coeficienților de atenuare liniara a radiației X pentru următoarele materiale: apa, apa + peroxid 3%, apa + peroxid 30%, peroxid 100%, alcool izopropilic, gazolina, acetona, nitrobenzen, acid azotic si sticla.

Utilizând programul SpekCalc (5) s-a generat un spectru de raze X corespunzător energiei mine de 20kV si energiei maxime de 140 kV, generându-se un număr de 120 de bin-uri, fiecare cu lățime de 1 keV.

Utilizând formula (3) s-au calculat atenuările pentru diferite grosimi de lichide de la 1cm la 3 cm si de 4 mm pentru sticla. La fiecare atenuare calculata s-a adăugat aleator o valoare intre zero si $\pm 2\%$ din intensitatea inițiala, pentru a simula distribuția statistica normala specifica surselor de radiații. Datele sunt prezentate in Figura 1 unde se remarca atenuările diferite ale diferitelor materiale analizate

Apoi, s-a calculat spectrul relativ conform formulei (4) iar rezultatul este prezentat in Figura 2, unde se poate deja remarca o buna discriminare a diferitelor lichide care sunt discriminate prin procente semnificative.

S-au calculat apoi distantele relative fata de apa $D_X^j(\%)$ pentru fiecare element, rezultatele finale fiind prezentate in Figura 3. Se remarca proprietatea parametrului $D_X^j(\%)$ de a discrimina materiale testate, in special fata de apa +3% peroxid, care in măsurătorile de transmise cu raze X este posibila doar prin metoda descrisa mai sus.

Din datele prezentate în tabelul din Figura 3 se evidențiază capacitatea de diferențiere foarte mare a metodei aplicata lichidelor, precum peroxidul de hidrogen în diferite concentrații dar si a alte lichide organice analizate. Evident ca distanta $D_X^j(\%)$ devine extrem de mare în cazul corpurilor minerale solide cum este sticla.

Procedură de discriminare și identificare a materialelor denumita „comportament spectral” folosind o tehnică bazată pe măsurarea spectroscopică a atenuării razelor X, cu aplicații în controlul de securitate al bagajelor pentru identificarea materialelor periculoase

REVENDICARI

1. Revendicăm prioritatea privind metoda de calcul a unei noi proprietăți fizice a materialelor numita „comportament spectral” notată cu $CS_i^{material}(\%)$ care este specifică fiecărui material a cărui atenuare la raze X este măsurată spectral și care se calculează conform formulei (5).
2. Revendicăm prioritatea faptului că metoda de calcul a „comportamentului spectral” definită conform formulei (5) nu depinde de grosimea materialului, putând fi aplicată atât la radiografierea „multe-energii” cât și la topografierea „multe-energii”.
3. Revendicăm prioritatea metodei care, prin aplicarea simultană determinării „comportamentului spectral” notat cu $CS_i^{material}(\%)$ a unui material împreună cu metoda clasică „două-energii”, care determină Densitatea și Numărul Atomic efectiv Zeff al materialului considerat, reduce substanțial numărul de alarme fals pozitive și fals negative ale scanerelor de bagaje cu raze X.
4. Revendicăm prioritatea care, prin calcularea în prealabil a „comportamentului spectral”, notat cu $CS_i^{material}(\%)$, al mai multor materiale cunoscute se creează o bază de date care permite identificarea materialelor prin calcularea tuturor distanțelor $D_X^j(\%)$ definite de formula (6) pentru materialul necunoscut față de toate materialele din baza de date, după care, prin selectarea celei mai mici astfel de distanțe obținute pentru un anumit material din baza de date acesta se identifică cu materialul necunoscut, cu o anumită probabilitate dată de valoarea distanței dintre materiale date în procente.

Procedură de discriminare și identificare a materialelor denumita „comportament spectral” folosind o tehnică bazată pe măsurarea spectroscopică a atenuării razelor X, cu aplicații în controlul de securitate al bagajelor pentru identificarea materialelor periculoase

DESENE

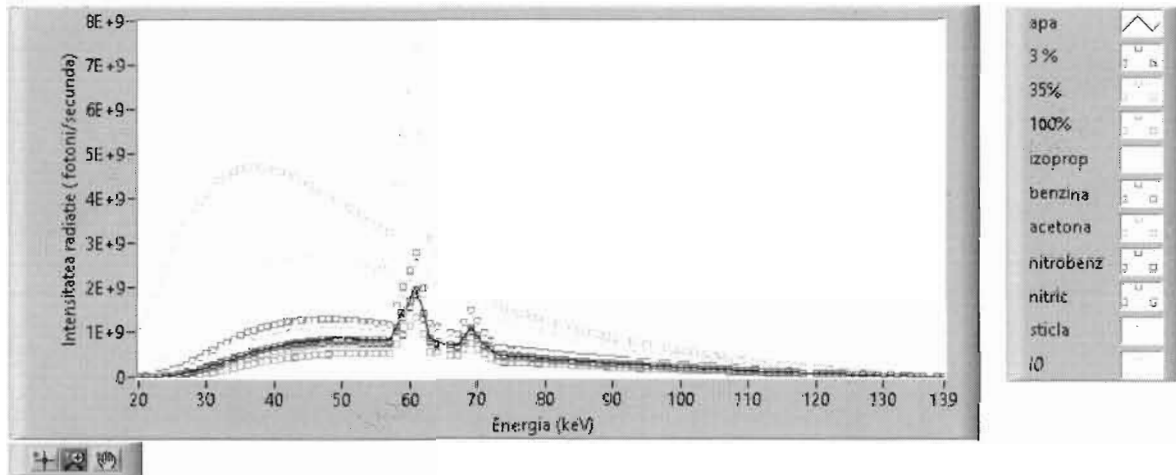


Figura 1

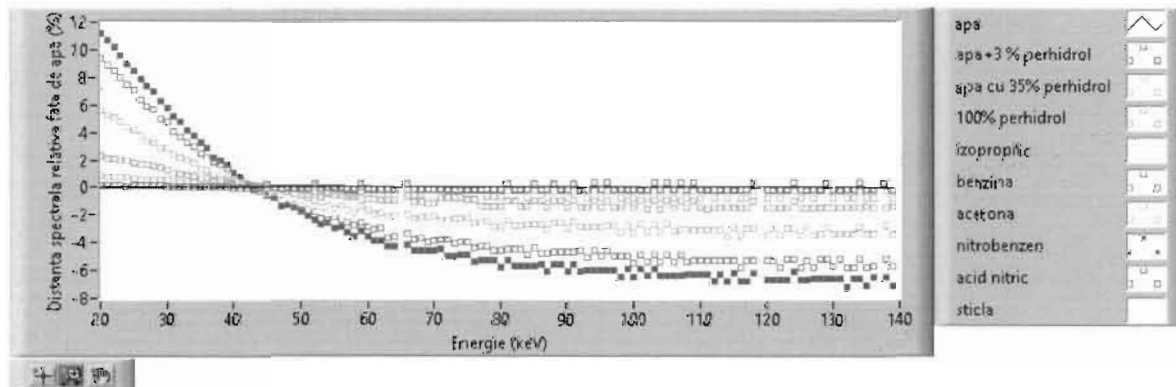


Figura 2

Material	D_X^j (%)	Material	D_X^j (%)
Apă	0.0	Gazolină	494.8
Peroxid de hidrogen 3 %	8.77	Acetonă	290.9
Peroxid de hidrogen 33 %	48.8	Nitrobenzen	605.4
Peroxid de hidrogen 100 %	127.3	Acid azotic	134.3
Alcool izopropilic	369.1	Sticlă	3533.1

Figura 3