



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2016 00465

(22) Data de depozit: 29/06/2016

(41) Data publicării cererii:
29/12/2017 BOPI nr. 12/2017

(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;
• HERMANN EDWARD, STR. UNIRII NR. 67,
ORĂȘTIE, HD, RO

(54) **PROCEDEU ȘI DISPOZITIV PENTRU DETERMINAREA
COMPOZIȚIEI ELEMENTALE A OBIECTELOR INVESTIGATE
PRIN RADIOGRAFIERE DIGITALĂ CU RAZE X**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un procedeu și la un dispozitiv pentru determinarea elementelor din compoziția unui obiect investigat prin radiografiere digitală cu raze X. Procedeu conform invenției constă în analiza dependenței atenuării razelor X ce străbat un obiect investigat, de energia radiației incidente, știind că modul în care atenuarea depinde de energie este diferit de la o substanță la alta și, astfel, analiza acestei informații poate fi utilizată la identificarea compoziției chimice a materialelor. Dispozitivul conform invenției cuprinde o sursă (5) de raze X și un lanț (2) de detectori (1) spectroscopici, ansamblul sursă-detectori putând fi rotit sub unghiuri diferite, în procesul de scanare a unui obiect (3) de investigat.

Revendicări: 4
Figuri: 4

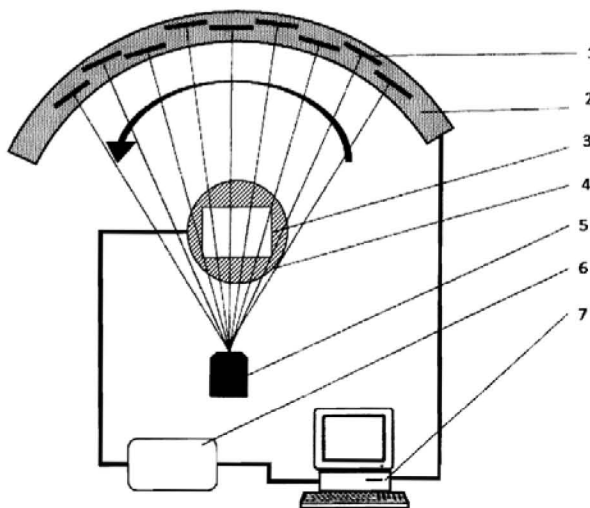
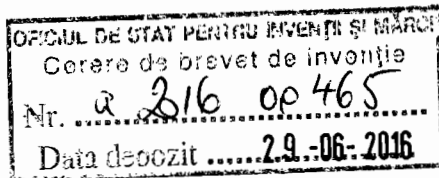


Fig. 4





36

Procedeu si dispozitiv pentru determinarea compozitiei elementale a obiectelor investigate prin radiografiere digitala cu raze X

Descrierea tehnica a inventiei

Inventia se refera la o metoda pentru determinarea compozitiei chimice elementale a unui material necunoscut prin masurarea coeficientilor de atenuare a razelor X la diferite energii. Inventia prezinta si modelul pentru un dispozitiv de scanare a bagajelor de mana care sa determine continutul acestora prin metoda descrisa.

Scanarea bagajelor in vederea detectarii automate a substantelor periculoase si explosive a devenit in ultima perioada o misiune importanta in contextul cresterii amenintarilor teroriste si al fluxului de pasageri in transportul aerian. In prezent sunt folosite pentru scanarea bagajelor si detectia obiectelor/substantelor periculoase dispozitive bazate pe principii diferite, precum: analiza chimica a urmelor de substante volatile, tehnici imagistice prin radiografie sau tomografie prin transmisie cu raze X, gama sau fascicule de neutroni, difractie raze X, etc.

Metoda prezentata se bazeaza pe analiza dependentei de energia radiatiei incidente a atenuarii razelor X ce strabat obiectul investigat. Modul in care atenuarea depinde de energie este diferit de la o substanta la alta, iar analiza acestei informatii poate fi utilizata la identificarea compozitiei chimice a materialelor.

Metoda are urmatoarele avantaje:

- Determinarea in mod direct a elementelor chimice prezente in materialului investigat cu ponderea masica corespunzatoare;
- Determinarea densitatii materialului studiat;
- Capacitatea de a analiza substante noi, fara a necesita informatii prealabile despre aceste substante;
- Rata redusa de alarme false in cazul detectarii substantelor periculoase.

Principiile metodei

In fig.1 este reprezentat un ansamblu sursa-obiect-detector:

1. Sursa de raze X;
2. Fascicul incident de raze X ;
3. Obiectul investigat care atenuaza radiatia incidenta si pentru care se doreste determinarea compozitiei elementale si a densitatii;
4. Fascicul emergent;
5. Detector spectroscopic care masoara intensitatea radiatiei;

Pentru un fascicul de raze X la o energie data, absorbția este descrisă de legea lui Beer :

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

Unde s-au folosit următoarele notații:

I_0 – intensitatea fascicolului incident la o energie data

I - intensitatea fascicolului emergent, după atenuarea selectivă prin obiectul investigat

x - grosimea materialului din care este făcut obiectul investigat

μ – coeficientul de atenuare linear al materialului din care este făcut obiectul investigat

Dupa cum se știe, coeficientul de atenuare linear depinde de energie și de materialul străbătut de razele X.

Coeficientul de atenuare masic se definește ca fiind raportul dintre coeficientul de atenuare linear și densitatea ρ a substanței $\mu_{masic} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\mu}{\rho}$.

Pentru o substanță compusă, la o energie data, coeficientul de atenuare masic al acesteia este media ponderată a coeficienților de atenuare masici ai atomilor constituenți, cu ponderile $C_{element}$ egale cu procentul masic al fiecărui element chimic din materialul scanat:

$$\frac{\mu_{substanta}}{\rho_{substanta}} = \sum_{elemente} \left[C_{element} \frac{\mu_{element}}{\rho_{element}} \right] \quad (2)$$

$$\sum_{elemente} C_{element} = 1 \quad (3)$$

Putem generaliza ecuațiile (2) și (3) considerând că sumarea se face peste toate elementele chimice cunoscute, cu ponderea masică nulă pentru elementelor care nu fac parte din componenta materialului:

$C_i = 0$ dacă elementul i nu apare în componenta materialului.

Lista elementelor care pot alcătui materialul scanat poate fi diminuată, excluzând gazele nobile, elementele chimice rare și alte elemente care sunt puțin probabil să apară în compoziția materialelor scanate. În continuare ne vom referi doar la elementele chimice a căror probabilitatea de a fi detectate în materialul scanat este acceptabilă.

Prin măsurarea intensității radiației incidente și a celei emergente la o energie data se poate determina din ecuația (1) produsul dintre coeficientul de atenuare și grosimea materialului.

$$\ln \left[\frac{I}{I_0} \right] = -\mu x \quad (4)$$

Înmulțind ecuațiile (2) și (3) cu densitatea substanței și grosimea materialului, și folosind notația $x\rho_{\text{substanta}}C_{\text{element}} \stackrel{\text{def}}{=} A_{\text{element}}$ obținem:

$$x\mu_{\text{substanta}} = \sum_{\text{elemente}} \left[A_{\text{element}} \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_{\text{element}} \right] \quad (5)$$

$$\sum_{\text{elemente}} A_{\text{element}} = x\rho_{\text{substanta}} \quad (6)$$

Sursa de raze X emite fotoni cu energii cuprinse în intervalul E_{minim} și E_{maximum} (un spectrul energetic tipic este reprezentat în figura 2).

Detectorii spectroscopici au capacitatea de a raporta intensitatea radiațiilor pentru intervale predefinite de energie, divizând intervalul $[E_{\text{minim}}, E_{\text{maximum}}]$ în intervale egale (canale) de largime ΔE denumite și binuri:

$$B_1 = [E_{\text{min}}, E_{\text{min}} + \Delta E]$$

$$B_2 = [E_{\text{min}} + \Delta E, E_{\text{min}} + 2\Delta E]$$

$$B_3 = [E_{\text{min}} + 2\Delta E, E_{\text{min}} + 3\Delta E]$$

...

$$B_n = [E_{\text{min}} + (n-1)\Delta E, E_{\text{max}}]$$

Intensitatea radiației incidente detectată în canalul B_n va fi notată $I_0(B_n)$ sau I_{0n} iar intensitatea radiației emergente detectată în canalul B_n va fi notată $I(B_n)$ sau I_n .

Coeficienții lineari de atenuare depind de energie deci vor avea valori diferite pentru fiecare canal, și vom nota cu μ_n coeficienții corespunzători canalului energetic B_n .

Ecuția (5) poate fi scrisă individual pentru fiecare canal energetic:

$$\begin{aligned}
 x\mu_{substanta,1} &= \sum_{elemente} \left[A_{element} \left(\frac{\mu_1}{\rho} \right)_{element} \right] \\
 x\mu_{substanta,2} &= \sum_{elemente} \left[A_{element} \left(\frac{\mu_2}{\rho} \right)_{element} \right] \\
 x\mu_{substanta,3} &= \sum_{elemente} \left[A_{element} \left(\frac{\mu_3}{\rho} \right)_{element} \right] \\
 &\dots \\
 x\mu_{substanta,n} &= \sum_{elemente} \left[A_{element} \left(\frac{\mu_n}{\rho} \right)_{element} \right]
 \end{aligned} \tag{7}$$

Pentru elemente densitățile și coeficienții de atenuare la energii diferite sunt marimi cunoscute iar produsele ($x\mu_{substanta}$) sunt derivate din intensitățile măsurate conform ecuației (4) pentru fiecare canal energetic.

Considerand necunoscute cantitățile $A_{element}$, ecuațiile (7) alcătuiesc un sistem de ecuații lineare, numărul ecuațiilor din sistem (numărul canalelor energetice) este în general mai mare decât numărul necunoscutelor $A_{element}$ (numărul de elemente posibile), sistemul astfel creat fiind supradeterminat.

Pentru găsirea soluțiilor se aplică prin metoda celor mai mici pătrate pentru valori pozitive (de exemplu metoda „Non Negative Least Squares”).

Rezolvarea sistemului de ecuații conduce la o soluție de forma $(A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, \dots)$ în care valorile $A_{element}$ nenule corespund elementele chimice detectate în compoziția materialului testat, iar rapoartele $C_i = \frac{A_i}{\sum_j A_j}$ reprezintă procentul masic al acestor elemente, unde indicii i și j corespund valorilor nenule ale coeficienților $A_{element}$, deci sunt indicii corespunzători elementelor chimice detectate în materialul investigat.

Înlocuind soluțiile sistemului (7) în ecuația (6) se determină produsul $\rho \cdot x$. După determinarea grosimii obiectului^{1*} se determină densitatea materialului.

* În cazul dispozitivului cu determinare directă a transmisiei (varianta 1), pentru măsurarea grosimii, se utilizează două lanturi de detectori dispuși în plane perpendiculare (fig. 3). Dimensiunile obiectului se determină în mod direct din cele două proiecții ortogonale generate de detectori. În varianta 2 (tomografie) grosimea este egală cu dimensiunea pixelului volumetric.

Descrierea dispozitivului

In figurile fig.3 si fig.4 sunt reprezentate doua arhitecturi propuse pentru dispozitivul de determinare a compozitiei chimice.

In varianta descrisa in fig.3, obiectul scanat (3) se deplaseaza rectiliniu , cu ajutorul benzii transportoare (4) ; radiatia emergenta este inregistrata de detectorii spectroscopici (1) care raporteza fluxul la diverse energii. Acest dispozitiv permite scanarea unor obiecte omogene cu o geometrie simpla.

In varianta descrisa in fig.4 ansamblul sursa(5)-detectori(1) se roteste sub unghiuri diferite in vederea realizarii tomografiei. Acest dispozitiv permite investigarea unor obiecte mai complexe, avand in componenta materiale diferite.

Elementele dispozitivului:***Varianta 1 - metoda determinarii directe prin transmisie - fig.3***

1. Detectori spectroscopici – capabili sa inregistreze fluxul de fotoni si enegia pentru canale energetice diferite.
2. Lant de detectie – sunt prezente doua lanturi de detectie lineare dispuse in unghi de 90 grade;
3. Obiectul scanat;
4. Banda transportoare care va asigura deplasarea obiectului scanat cu viteza constanta in zona activa de detectie;
5. Sursa de raze X care emite un fascicul in conic, multienergetic. Spectrul energetic prezentat in fig.2;
6. Modul pentru controlul mecanic al deplasarii obiectului;
7. Unitate de calcul;

Varianta 2 – metoda tomografica - fig.4

1. Detectori spectroscopici – capabili sa inregistreze fluxul de fotoni si enegia pentru canale energetice diferite;
2. Lant de detectie sub forma de arc de cerc;
3. Obiectul scanat;
4. Suportul fix pe care este asezat obiectul;
5. Sursa de raze X care emite un fascicul in conic, multienergetic. Spectrul energetic prezentat in fig.2;
6. Modul pentru controlul mecanic al rotatiei ansamblului sursa-detectori;
7. Unitate de calcul;

Descrierea metodei

- Se determina coeficientii de atenuare la energii diferite.
- Se rezolva sistemul de ecuatii (7) in care necunoscutele sunt termenii $A_{element}$.
- Se determina procentul masic al elementelor constituyente $C_{element}$.
- Cu ajutorul ecuatiei (6) se calculeaza densitatea substantei.

Fazele procedeului sunt urmatoarele:

Faza 1 – determinarea fluxului incident

Este necesara masurarea fluxului incident al sursei de radiatie X. In acest scop se efectueaza masuratori ale radiatiei care cade pe detectorii (1) fara obiect interpus pentru un interval de timp egal cu intervalul in care obiectul trece prin dreptul sursei. Detectorii (1) vor inregistra fluxul de fotoni care sosece pentru fiecare canal energetic distinct. Intensitatile determinate vor fi inregistrate si notate in continuare $I_0(E)$.

Faza 2 – determinarea coeficientilor de atenuare pentru un obiect compus dintr-o substanta necunoscuta

Obiectul este plasat intre sursa(5) si lantul de detectie(2) iar sistemul inregistreaza fluxul fotonilor care traverseaza obiectul si cad pe fiecare detector in fiecare canal energetic $I(E)$.

In varianta 2 (fig.4) ansamblul sursa-detectori este rotit in diverse unghiuri inregistrandu-se fluxul si energia radiatiei emergente in fiecare unghi scanat

In varianta 1 (fig.3) se determina fluxul si energia radiatiei emergente si din analiza geometrica a datelor se calculeaza dimensiunile obiectului. Apoi se calculeaza coeficientii de atenuare din formula (2).

In varianta (2) se realizeaza reconstructia tomografica, obtinandu-se coeficientii de atenuare la energii diferite pentru fiecare unitate de volum (voxel) din obiect.

Faza 3 – determinarea compozitiei chimice si a densitatii

Se rezolva sistemul de ecuatii (7) prin metoda celor mai mici patrate pentru sisteme lineare cu solutii pozitive (*Non Negative Least Squares*).

In sistemul de ecuatii necunoscutele sunt valorile $A_{element}$ iar pentru coeficientii $(\mu/\rho)_{element}$ se folosesc datele cunoscute disponibile in cataloagele de date publicate la National Institute of Technology (NIST).

Se determina ponderea masica $C_j = \frac{A_j}{\sum_i A_i}$ a elementelor constituyente in materialul investigat (i si j corespund valorilor nenule ale coeficientilor $A_{element}$), iar apoi, din ecuatia (6) se calculeaza densitatea substantei testate.

Revendicari

1. Procedeu de detectare a compozitiei elementale unui obiect penetrat cu un fascicul multienergetic de raze X prin masurarea atenuarii fascicolului de radiatii prin obiect la diferite energii, **caracterizat prin aceea ca** identificarea elementelor constituate se realizeaza prin analiza dependentei de energie a coeficientului de atenuare a razelor X, care difera de la un element chimic la altul.
2. Procedeu conform revendicarii 1 este **caracterizat prin aceea ca** exploateaza dependenta linara a coeficientului masic de atenuare al unei substante compuse de coeficientii masici de atenuare ai elementelor constituate. Metoda permite atat aflarea procentului masic al elementelor constituate cat si densitatea substantei testate.
3. Dispozitiv pentru detectia a compozitiei chimice a obiectelor utilizand procedeul descris in revendicarea 1, **caracterizat prin aceea ca** obiectul este scanat cu un fascicul de raze X conic multienergetic, radiatia emergenta fiind masurata cu ajutorul a doua lanturi de detectori spectroscopici dispuse perpendicular.
4. Dispozitiv tomografic pentru detectia a compozitiei chimice bazat pe tomografie, utilizand procedeul descris in revendicarea 1, **caracterizat prin aceea ca** ansamblul sursa-detectori se roteste sub unghiuri diferite. Cu ajutorul unui lanț de detectori spectroscopici se determina coeficientii de atenuare a razelor X la energii diferite în fiecare pixel volumetric, permitand detectarea compozitiei elementale pentru fiecare unitate de volum

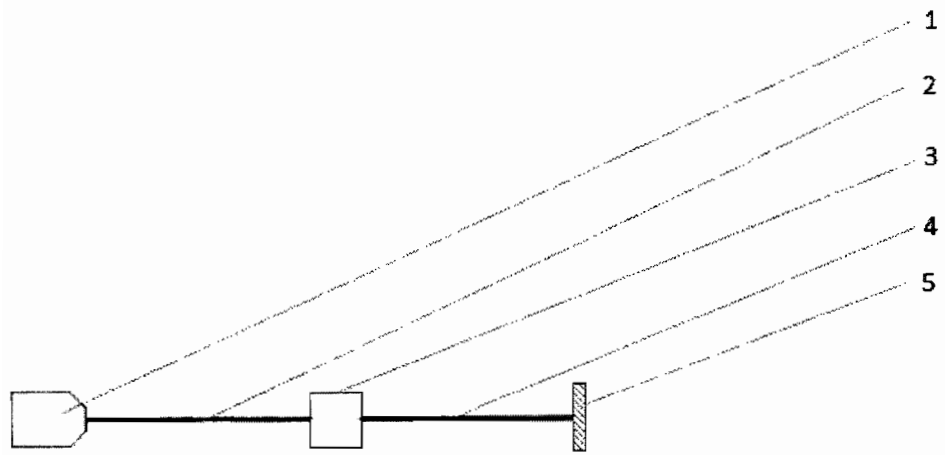


Fig. 1

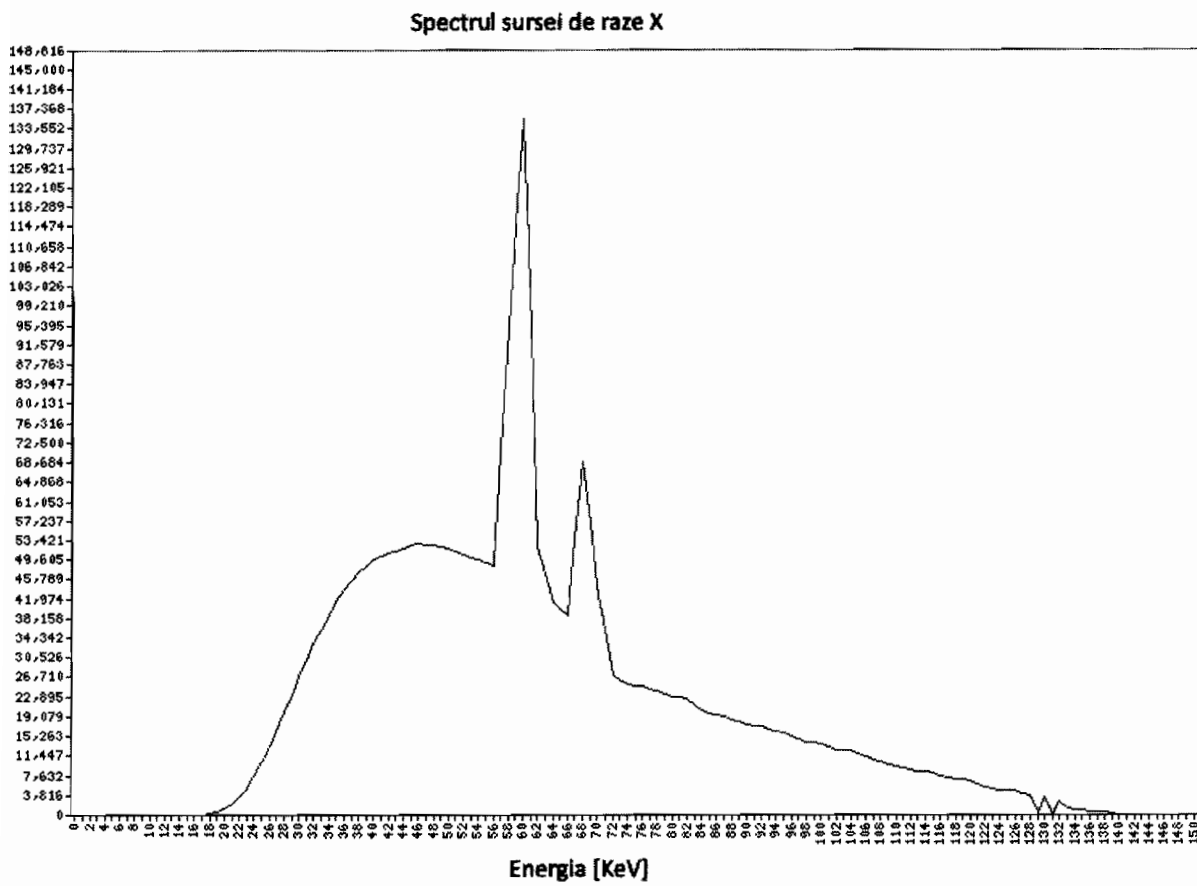


Fig. 2

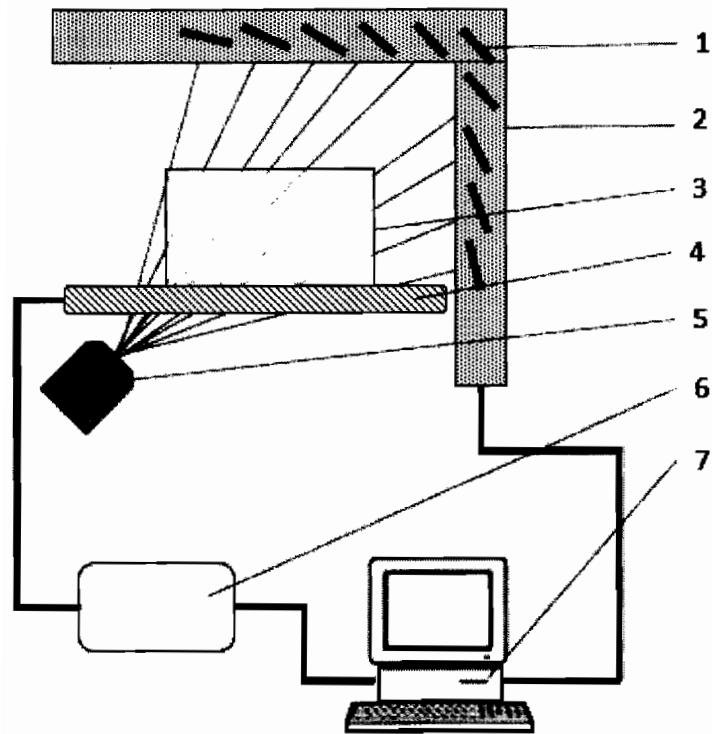


Fig. 3

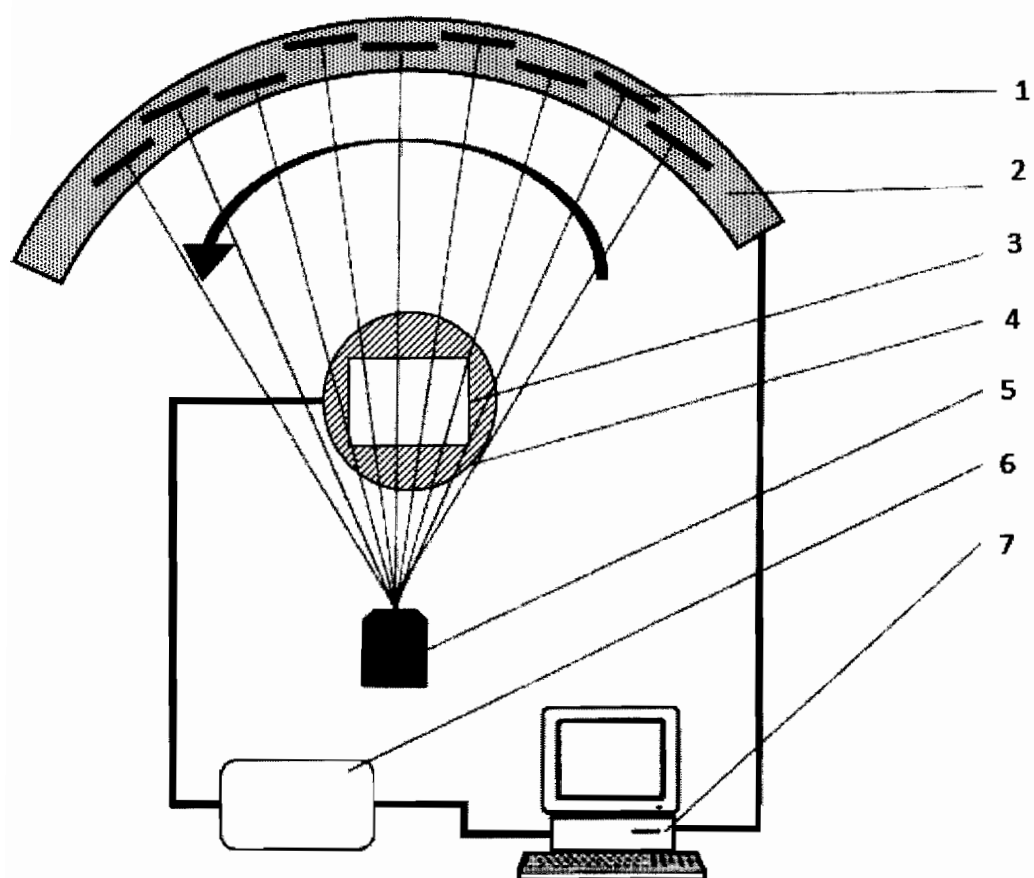


Fig. 4