

(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2013 00554**

(22) Data de depozit: **24.07.2013**

(41) Data publicării cererii:
30.03.2015 BOPI nr. 3/2015

(71) Solicitant:
• INSTITUTUL NAȚIONAL PENTRU FIZICA
LASERILOR, PLASMEI ȘI RADIAȚIEI -
INFLPR, STR. ATOMIȘTILOR NR. 409,
MĂGURELE, IF, RO

(72) Inventatori:
• SPOREA DAN, ȘOS. PANTELIMON
NR. 229, BL. 69, ET. 6, AP. 31, SECTOR 2,
BUCUREȘTI, B, RO;

• MIHAI LAURA, STR. SEISMOLOGILOR
NR. 23, MĂGURELE, IF, RO;
• SPOREA ADELINA, ȘOS. PANTELIMON
NR. 229, BL. 69, ET. 6, AP. 31, SECTOR 2,
BUCUREȘTI, B, RO;
• VĂȚĂ ION, ȘOS. IANULUI NR. 128, BL. G,
AP. 30, SECTOR 2, BUCUREȘTI, B, RO;
• RUSEN ION, STR. POET PANAIT CERNA
NR. 2, BL. M-53, SC. 2, ET. 7, AP. 49,
SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO

(54) **METODĂ ȘI APARAT PENTRU DETECȚIA FASCICULELOR
DE PARTICULE ÎNCĂRCATE ȘI MĂSURARE A DOZEI**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă și la un aparat pentru detecția fasciculelor de particule încărcate, și măsurarea dozei de radiație. Metoda conform invenției se bazează pe folosirea unei fibre optice de safir, care face posibilă dozimetria fasciculelor de particule încărcate, prin scăderea amplitudinii spectrului de emisie la lungimea de undă de 691 nm, corespunzătoare cromului cu care este dopată fibra optică, ca urmare a iradierii cu un fascicul de particule încărcate, scăderea acestui spectru de emisie fiind proporțională cu doza la care a fost iradiată fibra de safir. Folosind fenomenul descris anterior, este evaluat debitul dozei fasciculului, iar ca urmare a expunerii la un flux de radiații X moi (20...40 keV), este determinată doza totală integrală la care a fost expus elementul de fibră optică. Aparatul conform invenției este alcătuit dintr-o fibră optică (5) de safir, montată într-un conector (6) cu pensetă, fixat într-un sistem (8) de poziționare ce face posibilă expunerea unei zone (4) a fibrei optice (5) la un fascicul (7) de particule încărcate, astfel încât este generat un semnal (12) optic detectat cu ajutorul unui sistem de măsură care, într-o variantă de realizare, este alcătuit dintr-un minispectrometru (15) cu fibră optică, și un calculator (16) care determină, pentru diferite intervale de iradiere a fibrei optice (5), debitul dozei și doza totală integrală.

Revendicări: 16

Figuri: 7

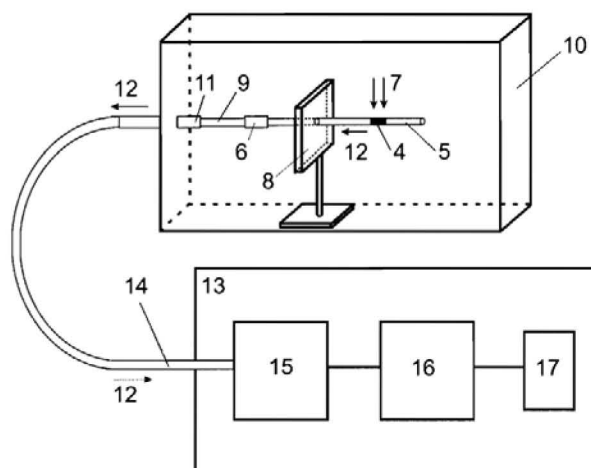


Fig. 5



METODA SI APARAT PENTRU DETECTIA FASCICULELOR DE PARTICULE INCARCATE SI MASURARE A DOZEI DESCRIERE

Invenția de referă la o metodă și un aparat pentru detecția fasciculelor de particule încărcate și măsurare a dozei. Metoda și aparatul sunt destinate detecției fasciculelor de particule încărcate și măsurării atât a debitului dozei, cât și a dozei totale integrale. Metoda și aparatul pentru detecția fasciculelor de particule încărcate și măsurarea dozei, conform invenției, trebuie să îndeplinească cel puțin una din următoarele condiții, dar poate satisface simultan mai multe dintre aceste condiții:

1. Să permită detecția în timp real a debitului dozei în cazul fasciculelor de particule încărcate.
2. Să permită detecția în timp real a dozei totale integrale în cazul fasciculelor de particule încărcate.
3. Să permită memorarea dozei totale integrale în vederea citirii ei ulterioare.
4. Să fie ușor de manipulat.

Sunt cunoscute mai multe echipamente folosite în detecția fasciculelor de particule încărcate și/ sau măsurarea dozei. În continuare vor fi prezentate câteva astfel de soluții.

Intr-o astfel de realizare, un detector cu scintilație este cuplat la un dispozitiv de multiplicare de electroni, astfel încât particulele încărcate incidente pe un dispozitiv de conversie sunt multiplicare și accelerate către un material scintilator producând o radiație optică care este transmisă prin intermediul unui ghid optic pentru a fi detectată de un fotomultiplicator [1,2]. Echipamentul permite detecția, atât de particule încărcate pozitiv, cât și de particule încărcate negativ, în funcție de semnul tensiunii înalte utilizate. Aceasta realizare are următoarele inconveniente:

- a. Necesită folosirea unor dispozitive scumpe și de mare tehnicitate cum ar fi multiplicatorul de electroni sau detectorul cu scintilație.
- b. Necesită utilizarea unor tensiuni înalte de ordinul kV.
- c. Implică cuplarea în vid a portului de ieșire a multiplicatorului de electroni la detectorul de scintilație.
- d. Realizarea echipamentului trebuie să considere tipul de sarcină, pozitivă sau negativă, a particulei care urmează a fi detectată.

O alta implementare propune realizarea unui dozimetru pentru neutroni și particule încărcate situație în care un material radiocromic, care își modifică proprietățile optice sub acțiunea iradierii, în cazul în speță prezintă luminescență, este expus la radiație [3,4]. Materialele utilizate pentru un astfel de dozimetru sunt cristale dielectrice anorganice, cum ar fi oxizi, sulfuri, halogenuri, nitrați și carburi metalice, materiale fosforescente, sticle organice și anorganice, polimeri organici, coloranți sau alte materiale organice care au centri de culoare și pot produce fluorescență în urma stimulării optice. Ca urmare a expunerii la radiație, materialul dozimetruului prezintă sarcini electrice "captive" în banda interzisă, citirea se realizează prin expunerea materialului la o radiație laser și citirea radiației de fluorescență emisă. Excitarea și citirea cu radiație laser se face prin intermediul unor fibre optice. Un astfel de detector are următoarele dezavantaje:

- a. Reprezintă un detector de radiație extrinsec cu fibre optice, necesitând o mare stabilitate mecanică în alinierea materialului radiocromic și sistemul de fibre optice de excitare, respectiv de citire.
- b. Necesită pentru "citirea" semnalului folosirea unui laser.

- c. Dozimetria folosind un astfel de aparat nu este de tip "timp real", astfel încât nu poate fi determinat debitul dozei, ci numai doza totală integrală.

O altă implementare sugerează utilizarea unor materiale termoluminescente tip fluoruri de Ca și Li (CaF_2, LiF), alumina având granulații de circa 400 μm care, în urma iradierii și încălzirii la o temperatură înaltă, emite o radiație optică a cărei intensitate poate fi corelată cu doza totală integrată primită de materialul termoluminescent [5]. Dezavantajele acestei abordări sunt:

- Necesitatea unei tehnologii speciale pentru realizarea materialului termoluminescent cu anumite dimensiuni ale granulelor.
- Nu permite măsurarea instantanee, în timp real a debitului dozei.
- Nu permite determinarea în timp real a dozei totale integrale.
- Implică folosirea unor instrumente suplimentare pentru "citirea" dozei totale prin generarea și detecția unui semnal optic.

O altă abordare a problemei propune realizarea unui detector de radiație care permite măsurarea dozei totale integrale prin utilizarea unei diode pin și a unor circuite electronice specializate (amplificator, integrator, circuit cu eșantionare și reținere) pentru generarea și menținerea pentru un interval de timp a unei tensiuni electrice proporționale cu doza totală la care a fost expusă dioda pin [6]. Acest dispozitiv prezintă următoarele limitări:

- Nu este posibilă măsurarea debitului dozei.
- Valoarea măsurată este afișată dar nu este memorată și nu este realizabilă stocarea automată a variației în timp a mărimii măsurate în vederea unor prelucrări ulterioare.
- Rezoluția spațială a măsurării dozei totale integrale este limitată la circa 3,5 mm, dimensiunea minimă a diodei pin.
- Detecția radiației este de tip activ, realizarea detecției necesită folosirea unor tensiuni înalte.

Un alt patent propune realizarea unui dozimetru pentru particule încărcate care utilizează emisia stimulată optic conform căreia într-un material fosforescent expus fluxului de particule încărcate sunt generate și stocate pe nivele energetice intermediare sarcini electrice, cantitatea de sarcini electrice generate și stocate fiind proporțională cu doza totală la care a fost expus materialul. Citirea acestor sarcini se face cu ajutorul unei radiații laser având o lungime de undă corespunzătoare nivelelor energetice pe care a fost realizată stocarea. La citirea sarcinii stocate cu o radiație laser are loc generarea unui semnal optic care este detectat cu un detector de radiație optică și convertit în semnal electric [7].

O variantă a acestei soluții utilizează sticle radioluminescente alcătuite dintr-o matrice formată din pământuri alcaline sulfuri (MgS , CaS , SrS , BaS) dopate cu o pereche de elemente tip activator/ coactivator formate din samariu și un al doilea pământ rar, sau în într-o variantă alternativă, include ZnS dopat cu Cu , Pb , Mg și Ce [8]. O altă variantă folosește pentru citire o radiație UV [9]. Dezavantajele acestor soluții sunt:

- Nu permit măsurarea debitului dozei.
- Necesita un monjat complicat cu laser pentru "citirea" dozei totale integrale.
- "Citirea" dozei totale integrale este distructivă.

O altă soluție propune construcția unui dozimetru pentru care un material scintilator este atașat unui ghid optic flexibil astfel încât radiația optică generată de materialul scintilator, atunci când este expus unui fascicul de radiație ionizantă, să fie condusă de către ghidul optic către un fotomultiplicator [10]. Semnalul electric generat de fotomultiplicator este proporțional cu debitul dozei la care a avut loc expunerea materialului scintilator. Valoarea semnalului electric astfel obținut poate fi afișată sau înregistrată. În paralel cu ghidul optic menționat este expus fasciculului de radiații ionizante un al doilea ghid optic conectat la un al doilea fotomultiplicator, astfel încât semnalul generat de radiația ionizantă în al doilea ghid optic să poată fi scăzut din semnalul electric generat de primul fotomultiplicator în vederea

introducerii unor corecții referitoare la efectele produse de radiația ionizantă în primul ghid optic. Această soluție are dezavantajele că:

- a. Face posibilă numai măsurarea debitului dozei radiației ionizante.
- b. Reprezintă un senzor cu fibre optice tip extrinsec pentru care ghidul optic este folosit numai la transmiterea semnalului optic generat ca urmare a expunerii la radiația ionizantă și în acest fel pot apărea probleme asociate alinierii materialului scintilator cu axul optic al ghidului optic, ca și erori datorate instabilității în timp a acestei alinieri.
- c. Necesită utilizarea unui al doilea ghid optic pentru compensarea efectelor produse de radiația ionizantă în primul ghid optic.

O variantă a soluției prezentate anterior include un material scintilator care este cuplat optic la o fibră optică care conduce semnalul optic generat ca urmare a iradierii către un detector tip CCD [11]. Dezavantajele acestei abordări sunt similare celor menționate mai sus la punctele **a** și **b**.

O implementare asemănătoare se referă la mai multe elemente formate din materiale scintilatoare care sunt cuplate la niște fibre optice, care au rolul de a conduce semnalul optic de radioluminescență către niște detectoare de semnal optic [12]. Si acest fel de detector este unul de tip extrinsec care face posibilă numai evaluarea debitului dozei.

Un alt patent propune folosirea unor cristale de Al_2O_3 dopate cu C și Mg, exploatând benzile de absorbție și emisie asociate centrilor F corespunzători lipsei oxigenului din rețea și ale centrilor F^+ și F_2^{2+} asociați dopanților folosiți [13-15]. În absența iradierii, concentrația centrilor de culoare este mai mare pentru un tip de centri decât pentru celălalt tip. În urma iradierii, concentrația acestor centri de culoare se modifică, în funcție de doza primită de specimenul iradiat. După iradiere, doza totală integrală se determină prin măsurarea luminescenței produse la iluminarea probei cu una din lungimile de undă corespunzătoare centrilor de culoare menționați. Această luminescență stimulată optic conduce la ștergerea informației asociate dozei totale integrate primită de probă. Dezavantajul acestei soluții constă în aceea că nu permite măsurarea in-situ a debitului dozei și faptul că “citirea” informației conduce la ștergerea acesteia.

Metoda și aparatul pentru detecția fasciculelor de particule încărcate și măsurarea dozei, conform invenției, se bazează pe folosirea unei fibre optice de safir, care face posibilă dozimetria fasciculelor de particule încărcate prin scăderea amplitudinii spectrului de emisie la lungimea de undă de 691 nm corespunzătoare Cr cu care este dopată fibra optică, ca urmare a iradierii cu un fascicul de particule încărcate. Scăderea acestui spectru de emisie este proporțională cu doza la care a fost iradiată fibra de safir. Folosind fenomenul descris anterior este evaluat debitul dozei fasciculului și este determinată, ca urmare a folosirii excitării cu radiații X moi, doza totală integrală la care a fost expus elementul de fibra optică.

Avantajul principal al metodei și aparatului pentru detecția fasciculelor de particule încărcate și măsurare a dozei, conform invenției, față de detectoarele descrise în conformitate cu stadiul tehnicii prezentat anterior, constă în faptul că permite determinarea în timp real, in-situ, atât a debitului dozei, cât și a dozei totale integrate, în cazul fasciculelor de particule încărcate, fără a necesita utilizarea unor sisteme suplimentare de citire. Un alt avantaj al metodei și aparatului pentru detecția fasciculelor de particule încărcate și măsurarea dozei îl constituie faptul că elementul folosit la detecția fasciculelor încărcate este integrat ghidului optic care conduce semnalul optic generat ca urmare a expunerii la un fascicul de particule încărcate, detectorul reprezentând în acest caz un senzor intrinsec. Acest fapt face ca erorile datorate dezalinierii dintre elementul detector și fibra optică sau cele produse de cuplajul optic imperfect dintre cele două elemente (materialul detector și fibra optică) să fie nule. Un avantaj important este conferit de memorarea semnalului asociat expunerii la un fascicul de particule încărcate, “citirea” ulterioară realizându-se prin expunere la radiații X moi și obținerea unui

semnal optic asociat dozei totale integrale. Un avantaj major al aparatului pentru detecția fasciculelor de particule încărcate și măsurarea dozei este acela că prin folosirea unei fibre optice este permis accesul pentru detecția particulelor încărcate în locuri dificil de accesat, determinările făcându-se în timp real, de la distanță. Un alt avantaj se referă la faptul că citirea semnalelor optice asociate debitului dozei sau dozei totale integrale se poate realiza cu echipamente comerciale, simple și având costuri reduse. Un alt avantaj al soluției propuse este conferit de folosirea unei fibre de safir care prin natura materialului rezistă la temperaturi ridicate, deci la densități volumice de energie mari. Un alt avantaj major al soluției propuse îl constituie faptul că metoda face posibilă măsurarea dozei totale integrale, atât în timp real, cât și după oprirea iradierii. Alt avantaj îl reprezintă faptul că fibra optică de safir poate fi folosită în mod repetat până la saturarea centrilor de culoare în zona expusă, după care ea poate fi folosită în altă zonă, până la expunerea întregii sale lungimi la o doză care conduce la saturarea centrilor de culoare. Un alt avantaj foarte important al soluției propuse îl constituie dimensiunile mici ale fibrei optice de safir, fapt ce face ca ea să poată fi utilizată și pentru măsurări în vivo, în timp real. Un alt avantaj al soluției propuse îl constituie faptul că, atât detectorul de radiație, cât și sistemul de transmitere a semnalului între detector și sistemul de detecție și prelucrare a semnalului sunt realizate cu fibre optice, deci sunt imune la perturbațiile electromagnetice.

Toate aceste avantaje vor fi ilustrate pe parcursul descrierii metodei și aparatului pentru detecția fasciculelor de particule încărcate și măsurare a dozei.

În figura 1 sunt prezentate spectrele de emisie optică ale fibrei optice de safir, în legătură cu care este prezentată metoda care face obiectul prezentei invenții, spectre de emisie generate atunci când fibra optică de safir este expusă la un fascicul de particule încărcate.

În figura 2 este reprodusă variația valorii maxime a spectrului de emisie la lungimea de undă de 691 nm pentru trei valori ale fluenței fasciculului de particule încărcate, rezultat care poate fi pus în corespondență cu debitul dozei și cu doza totală integrală la care a fost expusă fibra optică de safir.

Figura 3 reproduce modificarea în funcție de fluența fasciculului de particule încărcate a valorii maxime a spectrului de emisie, la lungimile de undă de 691 nm, în situația iradierii fibrei optice de safir cu un fascicul de particule încărcate.

În figura 4 este reprodus ca exemplu, modificarea spectrului optic de emisie, la lungimea de undă de 691 nm, generat de excitarea cu radiații X moi a zonei din fibra optică de safir expusă fasciculului de particule încărcate.

Figura 5 reproduce un exemplu de realizare a aparatului pentru detecția fasciculelor de particule încărcate și măsurare a dozei.

În figura 6 este indicat un alt exemplu de realizare a aparatului pentru detecția fasciculelor de particule încărcate și măsurare a dozei.

Figura 7 ilustrează montajul pentru "citirea" semnalului optic asociat dozei totale integrale la care a avut loc expunerea, prin excitare cu raze X moi.

Se dau în continuare câteva exemple de realizare ale invenției.

Fibra optică de safir folosită în aparatul pentru detecția fasciculelor de particule încărcate și măsurare a dozei conform prezentei invenții prezintă trei spectre de emisie în domeniul optic (figura 1), la: 331 nm (1), 428 nm (2) și 691 nm (3). Metoda de detecție a fasciculelor de particule încărcate descrisă în prezenta invenție folosește spectrul de emisie (3), prezentă în fibra optică de safir, la iradierea cu un fascicul de particule încărcate (figura 1). Ca urmare a expunerii unei porțiuni din fibra optică de safir la un fascicul de particule încărcate se produce scăderea amplitudinii semnalului asociat emisiei optice în banda (3) (figura 2). Această modificare poate fi corelată cu fluența fasciculului incident pe fibra optică de safir, deci cu debitul dozei primite. Dacă se menține constant curentul de fascicul se

constată scăderea valorii maxime a spectrului de emisie pentru lungimea de undă de 691 nm, până când aceasta ajunge la valori corespunzătoare saturării fenomenului (figura 3).

Pentru un interval de timp dat, această variație poate fi corelată cu doza totală integrală la care a fost expusă fibra de safir. Urmărirea în timp a modificărilor induse de iradiere se poate face in-situ, în timp real și în acest fel, se poate determina debitul dozei.

După încetarea iradierii modificările induse de aceasta în fibra optică de safir se păstrează, deci detectorul astfel realizat are memorie. Dacă ulterior expunerii la un fascicul de particule încărcate, porțiunea de fibra optică de safir este excitată cu o radiație X moale (20-40 keV), are loc generarea unui spectru de radioluminescență la lungimea de undă de 691 nm. Se constată că amplitudinea spectrului de emisie (3) este dependentă de doza de raze X (figura 4). Semnalul de luminescență se propaga în lungul fibrei optice de safir, deci poate fi citit cu un echipament adecvat, în sine cunoscut.

Un exemplu de realizare a invenției este prezentat în continuare în legătură cu figura 5. O zonă (4) a unei fibre optice de safir (5), montată într-un conector cu pensetă (6) este expusă unui fascicul de particule încărcate (7), fascicul a cărui doză urmează a fi măsurată. Pentru a fi iradiată, fibra optică de safir (5) este montată într-un sistem de poziționare XY (8) care permite deplasarea fibrei optice de safir (5) după două direcții, astfel încât diferite zone (4) ale fibrei optice de safir (5) să poată fi expuse fascicului de particule încărcate (7). Prin intermediul conectorului cu pensetă (6) fibra optică de safir (5) este cuplată la o fibră optică de conexiuni (9). În situația în care fasciculul de particule încărcate este generat într-o incintă vidată (10) (figura 5 a), fibra optică pentru conectare (9) se cuplează la un sistem de trecere pentru instalațiile de vid (11), sistem special construit pentru cuplarea fibrelor optice și în sine cunoscut. Sistemul de trecere pentru instalațiile de vid pentru cuplarea fibrelor optice (11) permite transmiterea unui semnal optic (12) generat în fibra optică de safir (5) în momentul iradierii sale într-o incintă vidată (10), către un sistem de măsură a semnalului optic (13) prin intermediul fibrei optice pentru conectare (9) aflată în incinta vidată (10) și o a doua fibră optică pentru conectare (14) aflată în exteriorul incintei vidate (10). În situația în care fasciculul de particule încărcate (7) nu este generat într-o incintă vidată (10) ci în aer (figura 5 b), un semnal optic (12) generat în fibra optică de safir (5), la iradierea acesteia cu un fascicul de particule încărcate (7), este cuplat direct la un sistem de măsură a semnalului optic (13) prin intermediul unei singure fibre optice pentru conectare (9).

Sistemul de măsurare a semnalului optic (13) este alcătuit dintr-un mini spectrometru cu fibră optică (15) și un calculator (16), în sine cunoscute. Sistemul de măsurare a semnalului optic (13) permite măsurarea și afișarea, pe monitorul (17) al calculatorului, a spectrelor de emisie care apar ca urmare a expunerii fibrei optice de safir (5) la un fascicul de particule încărcate (7). Sistemul de măsurare a semnalului optic (13) permite monitorizarea în timp real a maximului spectrului de emisie (3) și salvarea la anumite intervale de timp a valorilor măsurate. Din datele astfel colectate, valorile succesive ale maximelor de emisie ale spectrului de emisie (3) și a intervalului de timp înregistrat, este calculat de către calculatorul (16), prin metode în sine cunoscute, în conformitate cu principiul metodei prezentat anterior, debitul dozei la care a fost expusă fibra optică de safir (5). Din datele colectate pentru un anumit interval de timp, calculatorul (16) calculează, prin integrare, doza totală integrală, corespunzătoare intervalului de timp pentru care a fost realizată iradierea. În conformitate cu principiul metodei prezentate anterior, monitorizarea valorilor maximului spectrului de emisie (3) poate fi asociată sarcinii incidente pe fibra optică de safir (5), deci fluenței fascicului și implicit debitului dozei.

Un alt exemplu de realizare a prezentei invenții este prezentat în continuare în legătură cu figura 6. În acest caz, o zonă (4) a unei fibre optice de safir (5), montată într-un conector cu pensetă (6) este expusă unui fascicul de particule încărcate (7), fascicul a cărui doză urmează a fi măsurată. Pentru a fi iradiată, fibra optică de safir (5) este montată într-un sistem de

poziționare XY (8) care permite deplasarea fibrei optice de safir (5) după două direcții, astfel încât diferite zone (4) ale fibrei optice de safir (5) să poată fi expuse fascicului de particule încărcate (7). Prin intermediul conectorului cu pensetă (6) fibra optică de safir (5) este cuplată la o fibră optică pentru conectare (9). În situația în care fasciculul de particule încărcate este generat într-o incintă vidată (10) (figura 6 a), fibra optică pentru conectare (9) se cuplează la un sistem de trecere pentru instalațiile de vid (11), sistem special construit pentru cuplarea fibrelor optice și în sine cunoscut. Sistemul de trecere pentru instalațiile de vid pentru cuplarea fibrelor optice (11) permite transmiterea unui semnal optic (12) generat în fibra optică de safir (5) în momentul iradierii sale într-o incintă vidată (10), către un sistem de măsură a semnalului optic (18) prin intermediul fibrei optice pentru conectare (9) aflată în incinta vidată (10) și o a doua fibră optică pentru conectare (14) aflată în exteriorul incintei vidate (10). În situația în care fasciculul de particule încărcate (7) nu este generat într-o incintă vidată (10) ci în aer (figura 6 b), un semnal optic (12) generat în fibra optică de safir (5), la iradierea acesteia cu un fascicul de particule încărcate (7), este cuplat direct la un sistem de măsură a semnalului optic (18) prin intermediul unei singure fibre optice pentru conectare (9).

Sistemul de măsurare a semnalului optic (18) este alcătuit dintr-un detector tip multi-pixel photon counter (MPPC) (19) conectat la un calculator (20). Conform soluției din figurile 6 a și 6 b, calculatorul (20) achiziționează date de la detectorul MPPC (19) la care este montat un filtru optic “trece bandă” (21), care permite detecția numai a spectrului de emisie (3). Detectorul (19) este cuplat fie la fibra optică pentru conectare (9), fie la fibra optică pentru conectare (14), după caz, achiziția semnalului optic realizându-se pentru spectrul de emisie (3), generat la lungimea de undă de 691 nm. Sistemul de măsurare a semnalului optic (18) permite măsurarea și afișarea, pe un sistem de afișare a datelor (22) al calculatorului (20), rezultatele calculate ca urmare a expunerii fibrei optice de safir (5) la un fascicul de particule încărcate (7).

În conformitate cu principiul metodei expuse anterior și cu exemplele de implementare prezentate, aparatul pentru detecția fasciculelor de particule încărcate și măsurare a dozei, conform invenției, permite măsurarea în timp real a debitului dozei și a dozei totale integrale. Fibra optică de safir (5) prezintă memorie, valoarea minimă la care a scăzut spectrul de emisie (3), la lungimea de undă de 691 nm rămâne aceeași și după ce fibra optică de safir (5) nu mai este expusă fascicului de particule încărcate (7). În acest fel, și după ce expunerea fibrei optice de safir (5) la un fascicul de particule încărcate (7) a încetat, informația referitoare la doza totală integrală se păstrează sub forma amplitudinii spectrului de emisie (3).

Dacă zona (4) a fibrei optice de safir (5) expusă fascicului de particule încărcate (7) este excitată cu radiație X moale (20-40 keV) are loc emisia unui semnal de radioluminescență a cărui intensitate este corelată cu valoarea dozei totale integrale primită de fibra optică de safir (5). În figura 7 este prezentat un montaj pentru citirea semnalului “memorat” de fibra optică de safir (5) ca urmare a expunerii sale la un fascicul de particule încărcate (7). Zona (4) a fibrei optice de safir (5) care a fost expusă la un fascicul de particule încărcate (7) este excitată cu un flux de radiații X moi (23), emise de un generator de raze X (24). Un sistem optic de poziționare XY (25) permite deplasarea relativă a unei zone (4), a fibrei optice de safir (5) iradiată cu un fascicul de particule încărcate (7), față de un flux de radiații X moi (23). La excitarea cu fluxul de radiații X moi (23), fibra optică de safir (5) emite un semnal optic de radioluminescență (26). Fibra optică de safir (5) este montată într-un conector cu pensetă (27) și cuplată la o fibră optică pentru conectare (28). Fibra optică pentru conectare (28) face posibilă transmisia semnalului optic de radioluminescență (26) de la fibra optică de safir (5) la un sistem de măsurare a semnalului optic (29). Sistemul de măsurare a semnalului optic (29) este alcătuit dintr-un detector tip MPPC (30), cuplat la un calculator (31). Pentru a fi detectat numai semnalul optic asociat spectrului de emisie (3) se utilizează un filtru optic

“trece bandă” (32), care lasă să treacă numai radiația optică având lungimea de undă de 691 nm. În această situație, calculatorul (31) achiziționează, afișează la un sistem de afișare a datelor (33) și salvează informația asociată semnalului de radioluminescență (26) emis în fibra optică de safir (5), semnal corelat cu doza totală integrală la care a fost expusă fibra optică de safir (5) la fasciculul de particule încărcate (7).

Prin metode de comparare, în sine cunoscute, aparatul pentru detecția fasciculelor de particule încărcate și măsurare a dozei poate fi etalonat în raport cu un dozimetru etalon.

Referințe bibliografice:

1. L. A. Dietz and L. R. Hanrahan, "Electron multiplier–scintillator detector for pulse counting positive or negative ions", Rev. Sci. Instrum., Vol. 49, pg. 1250 (1978); <http://dx.doi.org/10.1063/1.1135590> (7 pages).
2. EP0278034A1.
3. EP2413161A2.
4. US4999504.
5. US3600579.
6. US4381450.
7. US5015855.
8. US5811822.
9. US20120292532A1.
10. US5006714.
11. US8080801B2.
12. WO2013040646A1.
13. US7902525B2.
14. US7943911B2.
15. US7964854B2.

REVENDICĂRI

1. Metodă pentru detecția fasciculelor de particule încărcate și măsurare a dozei, **catacterizată prin aceea că**, pentru detecția particulelor încărcate și pentru evaluarea în timp real, in-situ, a debitului dozei și a dozei totale integrate ale unui fascicul de particule încărcate (7), utilizează scăderea în raport cu doza primită, într-o zonă (4) a unei fibre optice de safir (5), a maximului unui spectru de emisie (3), spectru de emisie (3) generat la lungimea de undă de 691 nm, pe durata expunerii zonei (4) la fasciculul de particule încărcate (7).
2. Metodă pentru detecția fasciculelor de particule încărcate și măsurare a dozei, **caracterizată prin aceea că**, utilizează, pentru măsurarea post iradiere a dozei totale integrate la care a fost iradiată o zonă (4) a unei fibre optice de safir (5), expunerea zonei (4) a fibrei optice de safir (5) la un flux de radiații X moi (22) (20-40 keV), fapt ce determină creșterea maximului unui spectru de emisie (3) al fibrei optice de safir (5) cu o valoare dependentă de doza totală integrată cu care a fost iradiată zona (4) cu un fascicul de particule încărcate (7).
3. Aparat pentru detecția fasciculelor de particule încărcate și măsurarea dozei, **caracterizat prin aceea că**, este alcătuit dintr-o fibra optică de safir (5) montată într-un conector cu pensetă (6) care permite propagarea, de la o zonă (4) a fibrei optice de safir (5), expusă unui fascicul de particule încărcate (7), către un sistem de măsurare a semnalului optic (13) sau (18), prin intermediul unor pentru conectare (9, 14), a unui semnal optic (12) generat în fibra optică de safir (5) în momentul iradierii acesteia cu un fascicul de particule încărcate (7), semnal optic (12) asociat emisiei spectrale (3) la lungimea de undă de 691 nm și utilizat pentru măsurarea în timp real, on-line, a debitului dozei și a dozei totale integrale.
4. Aparat pentru detecția fasciculelor de particule încărcate și măsurarea dozei, **caracterizat prin aceea că**, este alcătuit dintr-o fibra optică de safir (5) montată într-un conector cu pensetă (6) care permite propagarea, de la o zonă (4) a fibrei optice de safir (5), care a fost expusă unui fascicul de particule încărcate (7), către un sistem de măsurare a semnalului optic (28), prin intermediul unei fibre optice pentru conectare (27), a unui semnal optic de radioluminescență (25) generat în fibra optică de safir (5) în momentul excitării acesteia cu un flux de radiații X moi (22), semnal optic de radioluminescență (25) asociat emisiei spectrale (3) la lungimea de undă de 691 nm și utilizat pentru măsurarea post iradiere a dozei totale integrale primite de zona (4) a fibrei optice de safir (5).
5. Aparat pentru detecția fasciculelor de particule încărcate și măsurarea dozei conform revendicărilor 1 și 3, **caracterizat prin aceea că**, folosește într-unul din exemplele de realizare, un mini spectrometru cu fibră optică (15) cuplat la un calculator (16) pentru detecția în timp real a variației maximului unui spectru de emisie (3) generat într-o fibră optică de safir (5) când aceasta este expusă unui fascicul de particule încărcate (7).
6. Aparat pentru detecția fasciculelor de particule încărcate și măsurarea dozei conform revendicărilor 1 și 3, **caracterizat prin aceea că**, folosește într-unul din exemplele de realizare, un detector tip multi-pixel photon counter (MPPC) (19) cuplat la un calculator (20) pentru detecția în timp real a variației a maximului unui spectru de emisie (3) generat într-o fibră optică de safir (5) când aceasta este expusă unui fascicul de particule încărcate (7).
7. Aparat pentru detecția fasciculelor de particule încărcate și măsurarea dozei conform revendicărilor 1, 3 și 6, **caracterizat prin aceea că**, este prevăzut cu un filtru tip "trece bandă" (21) montat în fața unui detector tip MPPC (19), astfel încât detectorul tip MPPC (19) să detecteze numai spectrul de emisie (3) corespunzător lungimii de undă de 691 nm.
8. Aparat pentru detecția fasciculelor de particule încărcate și măsurarea dozei conform revendicărilor 1 și 3, **caracterizat prin aceea că**, permite detecția unui fascicul de

- particule încărcate (7) și măsurarea de la distanță a unui semnal optic (12) generat într-o fibra optică de safir (5), la iradierea acesteia în aer cu fasciculul de particule încărcate (7), prin intermediul unei fibre optice pentru conectare (11), fapt ce conferă imunitate la perturbații electromagnetice, permițând evaluarea în timp real a debitului dozei și a dozei totale integrale.
9. Aparat pentru detecția fasciculelor de particule încărcate și măsurarea dozei conform revendicărilor 1 și 3, **caracterizat prin aceea că**, permite detecția unui fascicul de particule încărcate (7) și măsurarea de la distanță, prin intermediul a două fibre optice pentru conectare (9, 14) și a unui sistem de trecere pentru instalații de vid pentru cuplarea fibrelor optice (11), a unui semnal optic (12) generat într-o fibra optică de safir (5), la iradierea acesteia într-o incintă vidată (10) cu fasciculul de particule încărcate (7) fapt ce conferă imunitate la perturbații electromagnetice, permițând evaluarea în timp real a debitului dozei și a dozei totale integrale.
 10. Aparat pentru detecția fasciculelor de particule încărcate și măsurarea dozei conform revendicărilor 1 și 3, **caracterizat prin aceea că**, este alcătuit dintr-o fibra optică de safir (5) montată într-un conector cu pensetă (6), fixat într-un sistem de poziționare XY (8) care face posibilă deplasarea relativă a unei zone (4) a fibrei optice de safir (5) față de un fascicul de particule încărcate (7), astfel încât să fie modificată poziția zonei (4) în lungul fibrei optice de safir (5).
 11. Aparat pentru detecția fasciculelor de particule încărcate și măsurarea dozei conform revendicărilor 2 și 4, **caracterizat prin aceea că**, folosește un detector tip multi-pixel photon counter (MPPC) (30) cuplat la un calculator (31) pentru detecția unui semnal optic de radioluminescență (26) generat la excitarea cu un flux de radiații X moi (23) a unei zone (4) aparținând unei fibre optice de safir (5), zona (4) care a fost iradiată anterior cu un fascicul de particule încărcate (7).
 12. Aparat pentru detecția fasciculelor de particule încărcate și măsurarea dozei conform revendicărilor 2, 4 și 11, **caracterizat prin aceea că**, este prevăzut cu un filtru optic tip "trece bandă" (30) montat în fața unui detector tip MPPC (30), astfel încât detectorul tip MPPC (30) să detecteze numai un semnal optic de radioluminescență (26), corespunzător lungimii de undă de 691 nm.
 13. Aparat pentru detecția fasciculelor de particule încărcate și măsurarea dozei conform revendicărilor 2 și 4, **caracterizat prin aceea că**, este alcătuit dintr-o fibra optică de safir (5) montată într-un conector cu pensetă (27), fixat într-un sistem de poziționare XY (25) care face posibilă deplasarea relativă a unei zone (4) a fibrei optice de safir (5), care a fost iradiată cu un fascicul de particule încărcate (7), față de un flux de radiații X moi (23), astfel încât să fie generat un semnal optic de radioluminescență (26) pe durata expunerii zonei (4) a fibrei optice de safir (5) la fluxul de radiații X moi (23).
 14. Aparat pentru detecția fasciculelor de particule încărcate și măsurarea dozei conform revendicărilor 1, 3 și 5, **caracterizat prin aceea că**, este prevăzut, într-un exemplu de realizare, cu un calculator (16) și un monitor (17) pentru achiziția, prelucrarea și afișarea datelor provenind de la un mini spectrometru cu fibră optică (15), date asociate unui spectru de emisie (3).
 15. Aparat pentru detecția fasciculelor de particule încărcate și măsurarea dozei conform revendicărilor 1, 3 și 6, **caracterizat prin aceea că**, este prevăzut, într-un exemplu de realizare, cu un calculator (20) și un sistem de afișare a datelor (21) pentru achiziția, prelucrarea și afișarea datelor provenind de la un detector tip MPPC (19), date asociate unui spectru de emisie (3).
 16. Aparat pentru detecția fasciculelor de particule încărcate și măsurarea dozei conform revendicărilor 2, 4 și 11, **caracterizat prin aceea că**, este prevăzut cu un calculator (31) și un sistem de afișare a datelor (33) pentru achiziția, prelucrarea și afișarea datelor provenind

de la un detector tip MPPC (30), date asociate unui semnal optic de radioluminescență (26).

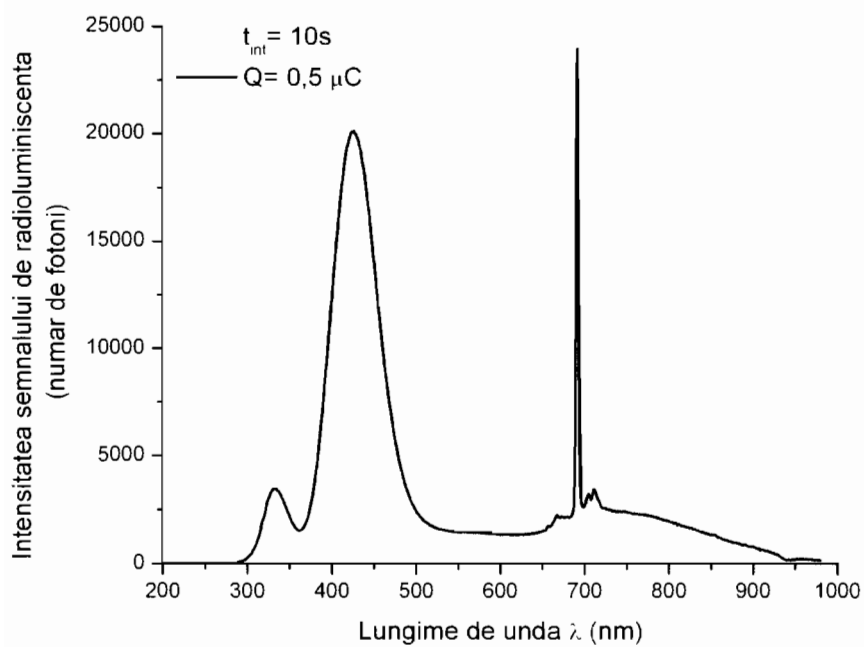


Figura 1

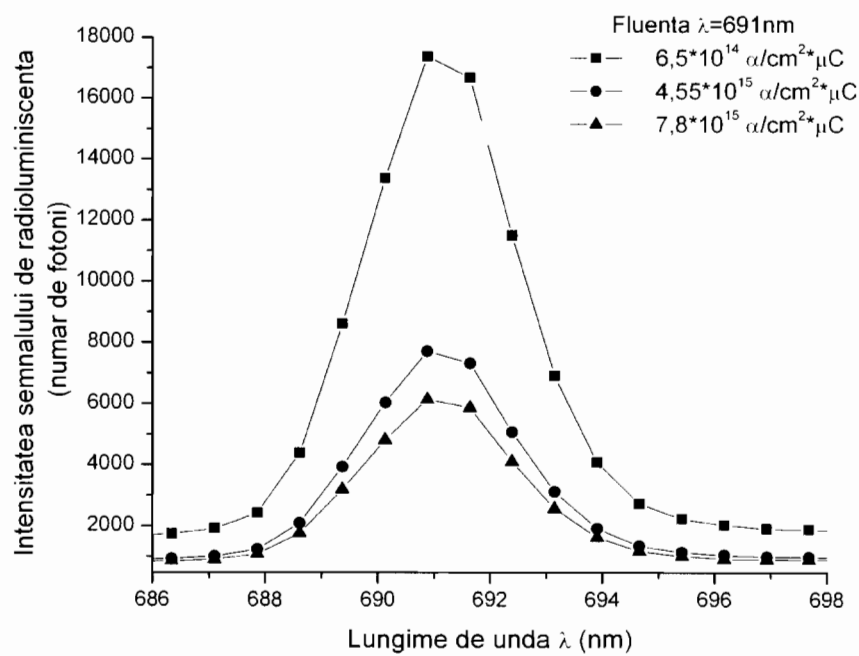


Figura 2

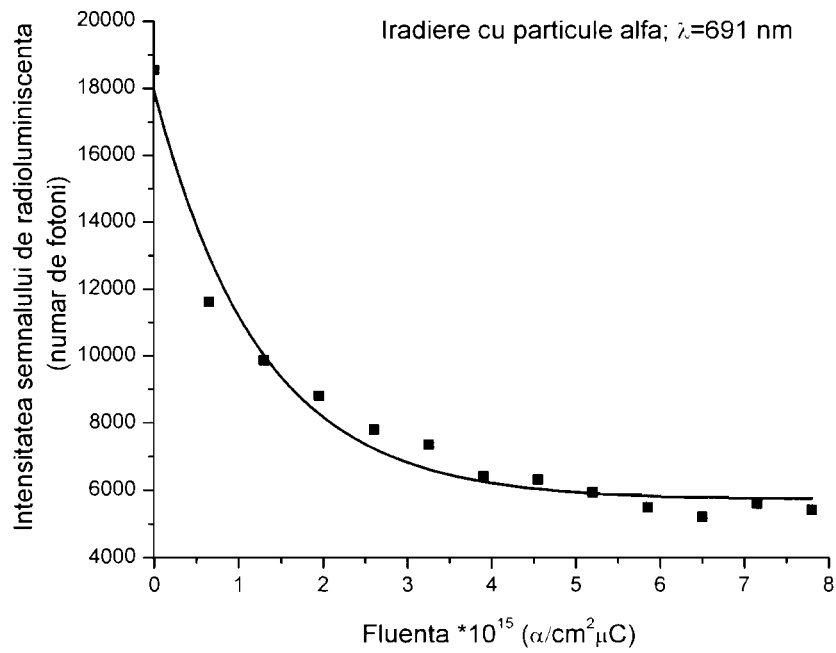


Figura 3

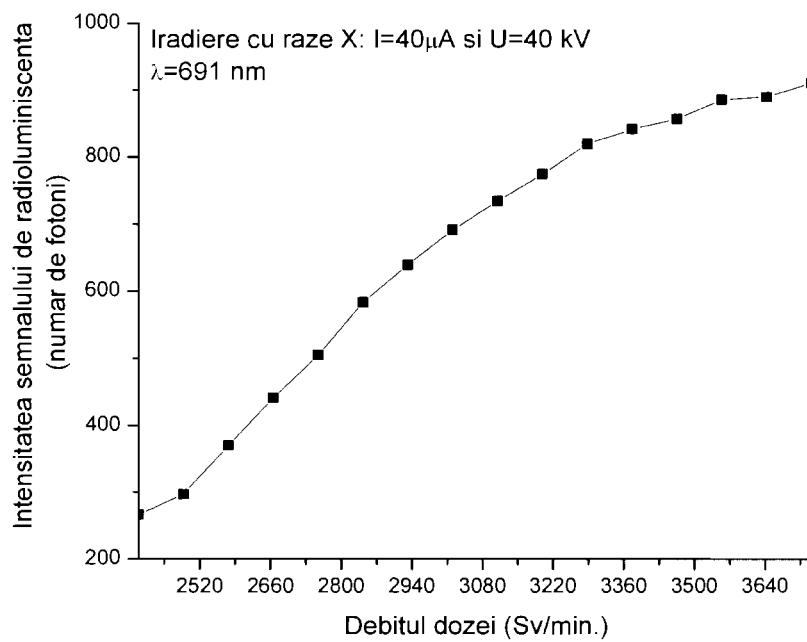


Figura 4

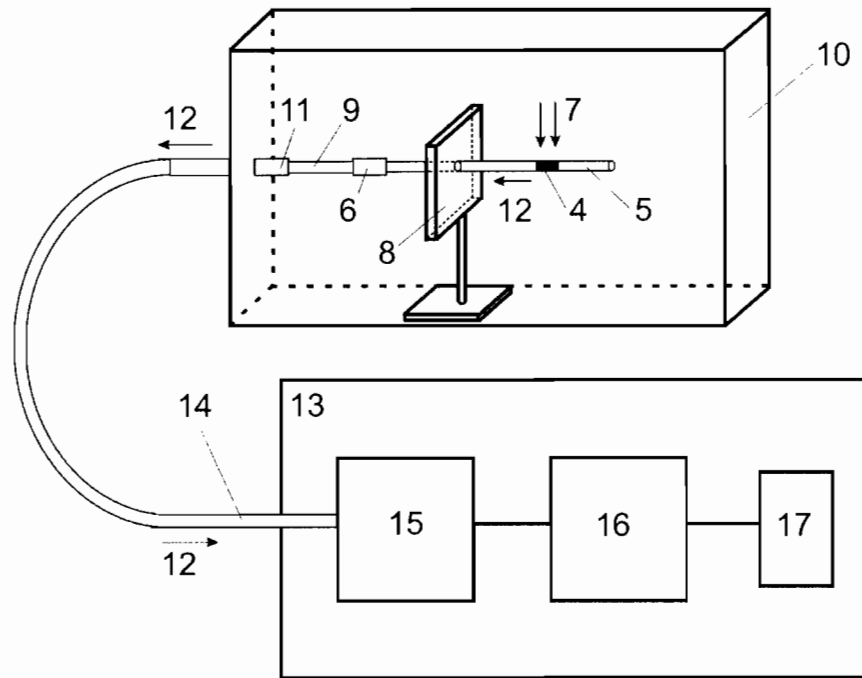


Figura 5 a

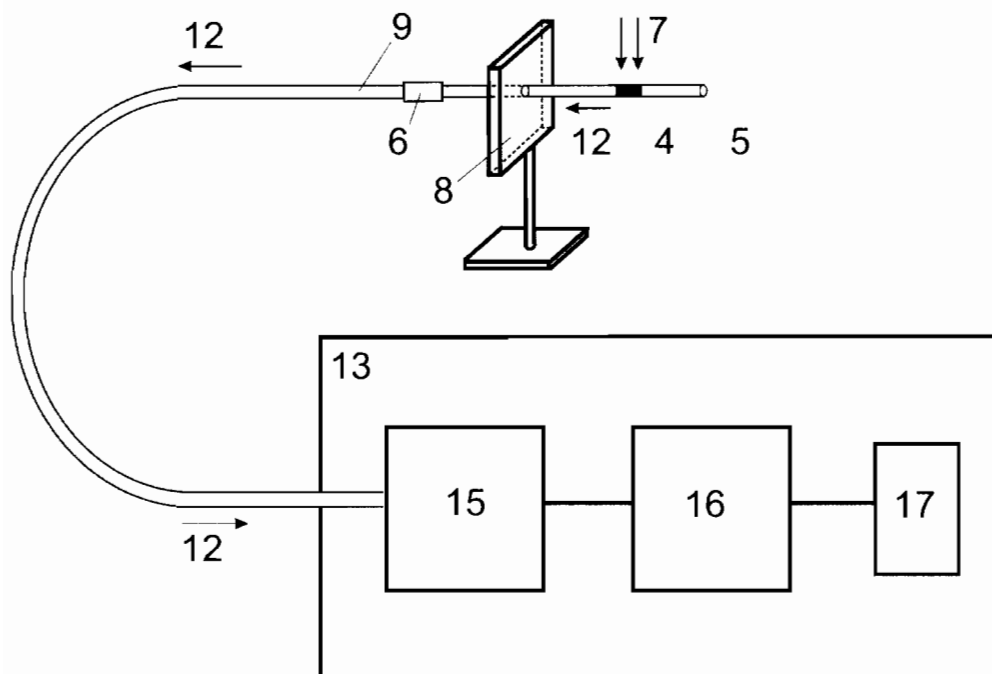


Figura 5 b

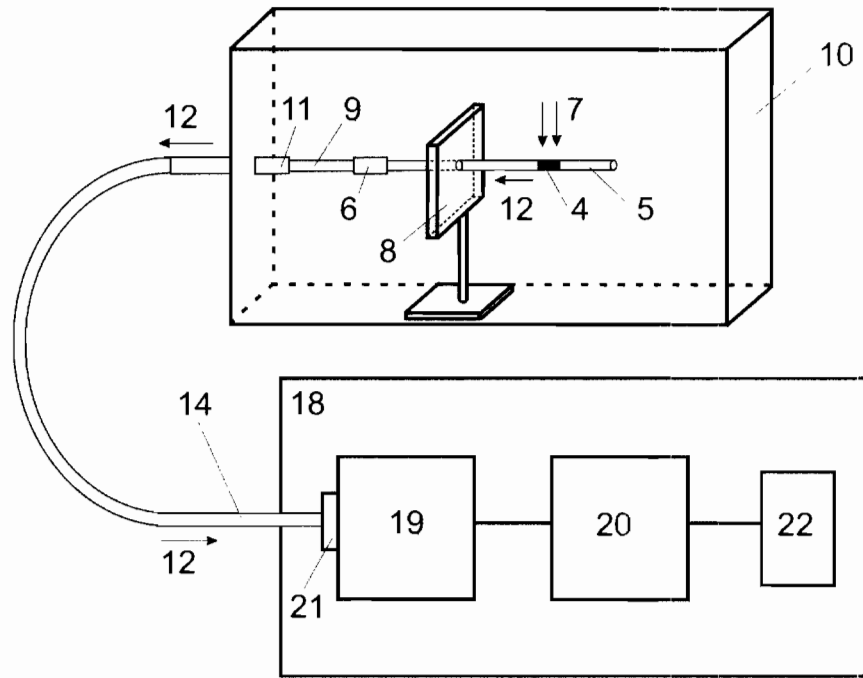


Figura 6 a

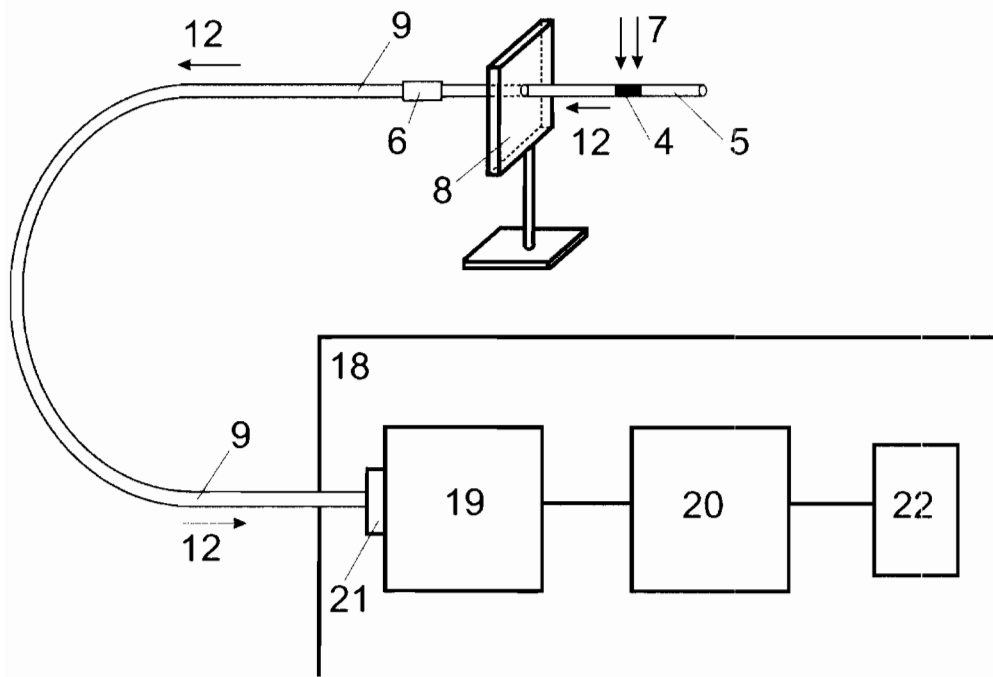


Figura 6 b

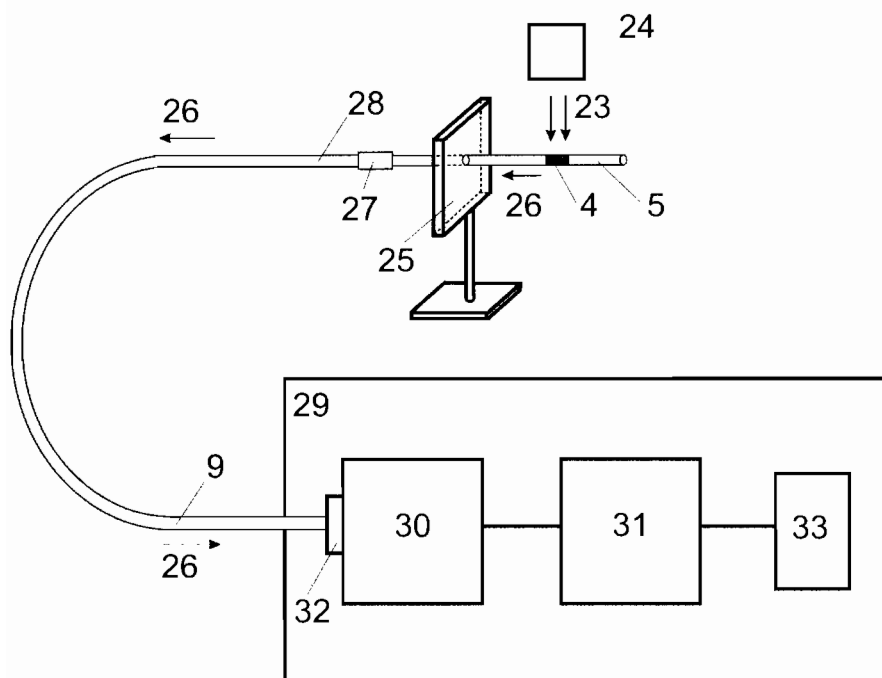


Figura 7