



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2019 00337

(22) Data de depozit: 05/06/2019

(41) Data publicării cererii:
30/04/2020 BOPI nr. 4/2020

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

(72) Inventatori:
• GANCIU PETCU MIHAI, STR. BÎRNOVA
NR.6, BL. M111C, SC. 1, ET. 4, AP. 23,
SECTOR 5, BUCUREȘTI, B, RO;

• GROZA ANDREEA LILIANA,
STR.STÂNJENEILOR, NR.4, BL.62, SC.1,
ET.8, AP.52, SECTOR 4, BUCUREȘTI, B,
RO;
• STOICAN OVIDIU SORIN,
STR. FIZICIENILOR, NR. 6, BL.4, SC.2,
ET.2, AP.26, MĂGURELE, IF, RO;
• STANCU ELENA, SAȚ SLĂVEȘTI,
LOCALITATEA TĂTĂRĂȘTII DE JOS, TR,
RO;
• DREGHICI DRAGANA-BILIANA,
STR.FIZICIENILOR NR.1-9, CĂMIN G2,
MĂGURELE, IF, RO;
• CHIROȘCA ALECSANDRU VLADIMIR,
STR.PEȘTILOR NR.23, MĂGURELE, IF, RO

(54) METODĂ DE DETERMINARE A SPECTRULUI ÎN ENERGIE A
PROTONILOR FOLOSIND PACHETE DE FOLII DE PLASTIC

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă de determinare a distribuției energetice a unui fascicul de protoni, metoda putând fi folosită ca mijloc de diagnoză pentru protonii produși în instalațiile de confinare inerțială a plasmei sau de tip Z-pinch, rezultați ca urmare a interacției plasmă-fascicul laser de mare intensitate, existenți în radiația cosmică, generați de echipamentele medicale pentru terapie cu protoni, precum și monitorizării unor medii supuse radiațiilor ionizante, cum ar fi stațiile, navele și navele spațiale. Metoda conform invenției

constă în utilizarea unui pachet de folii, de preferință $C_{12}H_{18}O_7$, fără a se limita la acest tip de plastic, fiecare folie având grosimea mai mică decât lărgimea vârfului Bragg, definită ca diferența dintre distanța maximă și distanța minimă a parcursului protonului prin materie, la care energia pierdută este de 1/2 din valoarea maximă.

Revendicări: 13
Figuri: 3



OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI	
Cerere de brevet de invenție	
Nr. a	219 00337
Data depozit	05-06-2019

DESCRIEREA INVENȚIEI

METODĂ DE DETERMINARE A SPECTRULUI ÎN ENERGIE A PROTONILOR FOLOSIND PACHETE DE FOLII DE PLASTIC

Invenția se referă la o metodă de determinare a distribuției energetice a unui fascicul de protoni. Metoda la care face referire invenția poate fi folosită fără a se limita la aceasta, ca mijloc de diagnoză pentru protonii produși în instalațiile de confinare inerțială a plasmei sau de tip Z-pinch, rezultați ca urmare a interacției plasmă-fascicul laser de mare intensitate, existenți în radiația cosmică, generați de echipamentele medicale pentru terapie cu protoni precum și monitorizării unor medii supuse radiațiilor ionizante, cum sunt stațiile, navele și navele spațiale. Una din metodele folosite pentru detecția protonilor este aceea a utilizării anumitor medii solide, special destinate acestui scop, realizate sub forma unor folii ce sunt expuse acțiunii fluxului de protoni. În prezent, cea mai răspândită substanță utilizată în acest scop este *poly allyl diglycol carbonate* ($C_{12}H_{18}O_7$) având denumirea comercială CR-39. Protonii care traversează aceste folii deteriorează structura materialului din care este confecționată folia lăsând urme fizice sub forma unor zone sensibilizate de electroni energizați care iau naștere în urma interacției protonului cu materia. Sunt electroni scoși din atomi având o anumită energie care se disipă în regiunile din imediata apropiere și sensibilizează structura fizică a materialului prin distrugerea anumitor legături și care devine astfel mai ușor de corodat în procesul specific de dezvoltare. Pentru dezvoltare, în cele mai frecvente cazuri, folia este supusă acțiunii unei soluții de NaOH sau KOH pentru un anumit interval de timp. Soluția respectivă corodează suprafața foliei, rata de coroziune fiind mai mare în zonele sensibilizate care, în urma corodării, devin cratere ce se pot vizualiza și număra cu ajutorul unui microscop. În "*T. W. Jeong et al., CR-39 track detector for multi-MeV ion spectroscopy, Scientific Reports, 7:2152 (2017)*" se descrie o metodă de determinare a spectrului energetic al protonilor care cad la incidență normală pe o placă de CR-39, supusă corodării în condiții optime, prin numărarea craterelor de diferite diametre, făcându-se o corelație cu energia protonilor care sunt la originea acestor cratere. Se observa că pentru o grosime de 1 mm a plăcii de CR-39 există o limită a energiei maxime determinate de 7.5 MeV, energie de la care urma lăsată pe fața anterioară numai poate fi pusă în evidență datorită neuniformităților suprafeței în urma procesului de corodare. Analiza craterelor de pe spatele foliei indică prezența protonilor având energia de circa 10 MeV. Datorită variației poziției de oprire a protonilor cu zeci de microni, datorate fluctuațiilor statistice ale transferului energetic

al protonilor către materialul parcurs, se obțin cratere de dimensiuni diferite la o corodare de 20 μ m, deși acestea provin de la protoni cu aceeași energie. Prezența acestor cratere poate dovedi că protonii au avut și energii mai mari de 10 MeV. Protonii care trec în al doilea detector CR-39 pot să lase urme decelabile numai pe suprafața posterioară a primului detector CR-39, dar pot fi analizați pe baza diametrelor urmelor de pe fața celui de al doilea CR-39, conform cu metoda descrisă în "*A. Groza et al, Advances in Spectral Distribution Assessment of Laser Accelerated Protons using Multilayer CR-39 Detectors, Appl. Sci. 9, 2052 (2019)*". De asemenea în acest articol se pune în evidență dificultatea determinării spectrului energetic în intervalul 7.5-10 MeV. Efectul de coroziune datorat soluției depinde de timpul de aplicare, natura, concentrația și temperatura soluției. Ca urmare pentru a obține rezultate reproductibile, condițiile enumerate anterior trebuie să fie identice. Din analiza formei și dimensiunilor urmei fizice lăsate de protoni pot fi determinate energia și direcția de mișcare a protonilor incidenti. De exemplu, conform lucrării "*N. Sineanian et al., The response of CR-39 nuclear track detector to 1-9 MeV protons, Rev. Sci. Instrum., 82, 103303 (2011)*", folosindu-se folii de tip CR-39 cu grosimea de 1500 μ m este posibilă determinarea distribuției energetice a protonilor în domeniul 0.92-9.28 MeV. Conform cu "*Y. Zhang et. al, Energy calibration of a CR-39 nuclear-track detector irradiated by charged particles, Nucl. Sci. Tech., 30:87 (2019)*", în prealabil este necesară o operație de calibrare. Determinarea cu precizie a spectrului energetic al protonilor și în particular energia maximă a acestora, în urma interacției puls laser-țintă solidă, permite de asemenea estimarea temperaturii electronice în conformitate cu referința "*M. Tampo et al., Correlation between laser accelerated MeV proton and electron beams using simple fluid model for target normal sheath acceleration, Phys. Plasmas, 17, 073110 (2010)*". Acest aspect este deosebit de important pentru dezvoltarea de aplicații de interes pentru teste de rezistență la radiații prin simularea mediului de radiații din spațiul cosmic folosind acceleratoare laser de particule ionizante conform "*T. Koenigstein et al., Design considerations for the use of laser-plasma accelerators for advanced space radiation studies, Journal of Plasma Physics, 78, 4, 383–391 (2012)*". Metoda furnizează detalii asupra caracteristicilor unor protoni individuali iar rezultatul determinărilor nu este afectat de acțiunea pulsurilor electromagnetice intense, fasciculelor de electroni sau ale radiației X. Dezavantajele acestei metode, așa cum este aplicată în prezent sunt următoarele:

- Determinarea caracteristicilor protonilor incidenti se poate face numai pentru aceia a căror energie aparține unui anumit interval de valori.

-Pentru a putea vizualiza și măsura dimensiunile urmelor fizice în interiorul foliei este necesar să se efectueze în mai multe etape operația de corodare, la intervale regulate de timp, după fiecare etapă suprafața foliei este examinată optic apoi reluată operația de corodare, conducând în final la creșterea timpului total de procesare, fiind necesare precauții suplimentare în vederea păstrării unor condiții identice (temperatură, compoziție și concentrație solvent) în care se desfășoară corodarea.

Conform invenției, metoda de determinare a spectrului în energie a protonilor constă în utilizarea unui pachet de folii, de preferință CR-39, fără a fi limitați la acest tip de plastic, fiecare folie având grosimea mai mică decât lărgimea peak-ului Bragg. *Curba Bragg* descrie dependență pierderii energiei cinetice a unei particule funcție de distanța parcursă în materie. Curba Bragg este caracterizată printr-un vârf pronunțat denumit *peak Bragg* a cărui localizare indică poziția particulei în timpul parcursului prin materie unde aceasta pierde cea mai mare parte din energia sa cinetică. În cazul protonilor peak-ul Bragg apare imediat înainte de oprire. Considerăm lărgimea peak-ului Bragg sau lungimea zonei de depozitare majoră a energiei unui proton ca fiind diferența dintre distanța maximă și distanța minimă a parcursului protonului prin materie, la care energia pierdută este 1/2 din valoarea maximă a pierderii de energie, corespunzătoare peak-ului Bragg. După ce pachetul de folii a fost expus fluxului de protoni, fiecare folie este supusă procesului de corodare și analizată separat.

Metoda de determinare a distribuției energetice a unui fascicul de protoni la care face referire invenția înlătură dezavantajele menționate mai sus prezentând în schimb următoarele avantaje:

-Îmbunătățește rezoluția cu care este determinată energia protonilor și lărgeste intervalul de valori ale energiei acestora pentru care metoda poate fi folosită. Această caracteristică este utilă în cazul fasciculelor compuse din protoni a căror energie este împrăștiată într-un domeniu larg de valori.

-Procesul de corodare se efectuează simultan pentru toate foliile. Ca urmare procesarea se desfășoară mai rapid, iar procesul de corodare are loc în aceleași condiții pentru toate foliile, fiecare folie fiind corodată o singură dată.

Se dă în continuare un exemplu de realizare și aplicare a invenției, în legătură și cu figurile 1, 2, și 3 care reprezintă:

-Figura 1, diagramă prezentând pierderea de energie a protonilor funcție de distanța parcursă pentru diverse valori ale energiei acestora;

-Figura 2, zone sensibilizate de electroni energizați apărute într-o folie CR-39 expusă unui flux de protoni cu diferite energii, folia având grosimea mai mare decât lungimea zonei de depozitare majoră a energiei unui proton care se găsește în jurul peak-ului Bragg.

-Figura 3, zone sensibilizate de electroni energizați apărute într-un pachet de folii CR-39 supuse acțiunii unui flux de protoni cu diferite energii, fiecare folie având grosimea mai mică decât lungimea zonei de depozitare majoră a energiei unui proton care se găsește în jurul peak-ului Bragg.

În figura 1 se prezintă dependența puterii de stopare în funcție de parcursul protonilor, la incidență normală pe o placa groasă de CR-39 acoperită cu o folie de aluminiu de 10 μ m, pentru diferite energii ale protonilor incidenti. S-au folosit rezultatele descrise în "*A.Groza et al., Advances in Spectral Distribution Assessment of Laser Accelerated Protons using Multilayer CR-39 Detectors, Appl. Sci., 9, 2052 (2019)*". Se observa că lărgimea peak-ului Bragg, ΔL , definită ca diferența dintre distanța maximă și distanța minimă a parcursului protonului prin materie, la care energia cinetică pierdută este 1/2 din valoarea maximă a pierderii de energie este aproximativ aceeași pentru toți protonii, corespunzând parcursului protonilor de 4 MeV, care ajung la 3 MeV după trecerea de folia de aluminiu de 10 μ m, în materialul plastic CR-39. Din figura 1 rezultă că lărgimea peak-ului Bragg ΔL care corespunde energiei protonilor în domeniul 3-14.8 MeV este de ordinul a 0.2mm. În acest caz, grosimea unei folii de CR-39, care să fie mai mică decât lărgimea peak-ului Bragg, trebuie să fie de aproximativ 0.2 mm.

În figura 2 sunt prezentate zonele sensibilizate de electroni energizați 4, 5, 6, 7, 8 apărute într-o folie CR39, 1, expusă unui flux de protoni cu diferite energii, folia 1 având grosimea mai mare decât lungimea zonei de depozitare majoră a energiei unui proton care se găsește în jurul peak-ului Bragg. Regiunile 2 și 3 aflate pe suprafața foliei 1 au fost supuse procesului de corodare. În exemplul din figura 2, protonii se deplasează de la stânga la dreapta, regiunea 2 este regiunea de intrare a protonilor în timp ce regiunea 3 este regiunea de ieșire a acestora. În urma procesului de corodare zona sensibilizată 4 devine vizibilă optic sub forma unui crater, craterul datorat zonei sensibilizate 6 începe să devină vizibil, în timp ce zonele sensibilizate 5, 7 și 8 sunt invizibile după prima etapă a procesului de corodare. Pentru a putea fi observate trebuie reluat procesul de corodare.

În figura 3 sunt prezentate zonele sensibilizate 14, 15, 16, 17 apărute într-un pachet format din 5 folii CR-39, 9, 10, 11, 12, 13, supuse acțiunii unui flux de protoni cu diferite energii, fiecare folie având grosimea mai mică decât lungimea zonei de depozitare majoră a energiei unui

proton care se găsește în jurul peak-ului Bragg. În exemplul din figura 3, protonii se deplasează de la stânga la dreapta, dinspre folia 9 către folia 13. În acest caz, după corodare, zona sensibilizată 14 devine vizibilă sub forma unor cratere pe foliile 9, 10 și 11, zona sensibilizată 15 devine vizibilă sub forma unor cratere pe foliile 10, 11, 12, zona sensibilizată 17 devine vizibilă sub forma unui crater pe foliile 12, 13 și începe să fie vizibilă pe folia 11, în timp ce zona sensibilizată 16 devine vizibilă pe foliile 9, 10 și 11. În cazul în care, în locul foliilor 9, 10, 11, 12 și 13 s-ar fi folosit o singură folie având grosimea egală cu suma grosimilor foliilor 9, 10, 11, 12 și 13, după prima etapă a procesului de corodare, ar fi fost vizibilă numai zona sensibilizată 17 iar zona sensibilizată 16 ar fi început să fie vizibilă, în timp ce zonele sensibilizate 14 și 15 ar fi fost invizibile.

Într-un exemplu de aplicare a metodei de determinare a spectrului în energie protonilor, se utilizează un pachet de 10 folii de CR-39 cu o grosime de 200 μ m fiecare. Acesta se protejează cu o folie de aluminiu cu grosimea de 10 μ m. În prealabil se efectuează operația de calibrare folosind fascicule de protoni cu energie cunoscută. O soluție constă în utilizarea acceleratoarelor de la IFIN-HH (<http://www.nipne.ro/>) care pot genera protoni cu energia de 2, 3 și 5 MeV. De asemenea se poate folosi un accelerator care generează protoni cu energia de 12 MeV. Folosind o sursă de protoni monoenergetici, se poate obține un spectru în energie a protonilor de formă exponențială, sau orice altă formă convenabilă pentru calibrare, prin dispunerea unor filtre formate din folii din diverse materiale, având diferite grosimi pe un disc rotitor plasat în fața pachetului de detectoare, astfel încât succesiv între partea anterioară a pachetului și sursa de protoni se interpun aceste filtre. Energia maximă a protonilor care cad pe pachetul de detectoare se obține atunci când acesta este expus direct acțiunii protonilor produși de către sursa de protoni, în absența oricărui filtru. Energii mai mici ale protonilor se obțin prin trecerea protonilor produși de către sursă prin diferite filtre, care se interpun succesiv între sursa de protoni și pachetul de detectoare, cu ajutorul unui sistem mecanic, de preferință rotitor. Detectoarele pasive, nu sunt influențate de momentul în care interacționează cu protonii incidenți iar dacă fluxul nu este suficient de intens astfel încât să apară efecte neliniare, acestea se vor comporta ca și cum toți protonii sosesc în același timp. În aceste condiții, pentru calibrare, se expune pachetul de folii CR-39 acțiunii unui flux de protoni, la incidență normală și se reglează fluența astfel încât craterele formate să nu se suprapună. Se dezvoltă foliile printr-o procedură clasică ("*A.Groza et al., Advances in Spectral Distribution Assessment of Laser Accelerated Protons using Multilayer CR-39 Detectors, Appl. Sci.,9, 2052 (2019)*") și se analizează prin microscopie urmele fizice atât pe fața

anterioară a fiecărei folii (în raport cu sursa de protoni) cât și pe fața posterioară a acestora. Se determină numărul de cratere pe fiecare folie. Pentru o energie dată craterile formate trebuie să fie de diametre aproape identice pe fața anterioară, spre deosebire de urmele de pe fața posterioară unde craterile formate trebuie să prezinte o dispersie mare a diametrelor. Se determină prin măsurători succesive pe mai multe pachete de folii, dispersia numărului de cratere pe fețele anterioare pentru aceeași fluență a fluxului de protoni. Se determină pragul minim al diametrelor, pentru care protonii sunt opriți în folia pentru care s-a făcut această determinare. Se verifică rezultatele, prin comparație cu cele raportate în "*T. W. Jeong et al., CR-39 track detector for multi-MeV ion spectroscopy, Scientific Reports, 7:2152 (2017)*", ce conține grafice ale variației diametrelor urmelor funcție de energie, pentru condiții de dezvoltare date, și unde se evidențiază dependența puternică în domeniul 2-4 MeV, corespunzător lărgimii peak-ului Bragg, conform definiției de mai sus. Se ia în considerație că protonii pierd circa 1 MeV la trecerea prin foaia de aluminiu.

După efectuarea calibrării și determinarea dispersiei de măsură, se utilizează o sursă de protoni accelerați laser, similară cu cea descrisă în "*A. Groza et al., Advances in Spectral Distribution Assessment of Laser Accelerated Protons using Multilayer CR-39 Detectors, Appl. Sci., 9, 2052 (2019)*", realizându-se o corodare similară, simultană, pe toate foliile, și asigurându-se o corodare uniformă a fiecărei folii, de 10 μm pe fiecare față a fiecărei folii. Se numără craterile de pe fața anterioară a fiecărei folii, luând în considerare doar cratere având diametrul mai mare decât cel determinat prin calibrare. Se determină numărul corespunzător opririi în fiecare folie și pe baza figurii 1 se determină distribuția în energii pe eșantioane cu lărgimea de circa 3 MeV. Analizând dimensiunile diametrelor craterelor de pe fața anterioară a fiecărei folii, se determină distribuția energetică în interiorul fiecărui eșantion mai sus definit. Se determină erorile de măsură luând în considerație calibrările făcute anterior.

REVENDICĂRI

1. Metodă de determinare a spectrului în energie a protonilor **caracterizată prin aceea** că utilizează pachete de folii de plastic, de preferință CR-39, fără a fi limitată la aceasta, grosimea fiecăreia din folii fiind mai mică decât lungimea zonei de depozitare majora a energiei unui proton care se găsește în jurul peak-ului Bragg.
2. Metodă de determinare a spectrului în energie a protonilor **caracterizată prin aceea** că utilizează pachete de folii de plastic conform cu cele descrise în revendicarea 1 pentru care corodarea se face pe fiecare față pe o distanță mai mică de 20 μm evitându-se afectarea caracteristicilor mecanice ale foliei.
3. Metodă de determinare a spectrului în energie a protonilor **caracterizată prin aceea** că utilizează pachete de folii de plastic conform cu cele descrise în revendicarea 1 iar determinarea numărului de protoni opriți în fiecare folie, se face prin analiza numărului de cratere corespunzătoare protonilor stopați pe fiecare folie de pe suprafața anterioară luându-se în considerare doar craterele cu un diametru mai mare decât cel al urmelor induse de protoni care sunt la limita de stopare la trecerea printr-o singură folie.
4. Metodă de determinare a spectrului în energie a protonilor **caracterizată prin aceea** că utilizează pachete de folii de plastic, de preferință CR 39, fără a fi limitată la aceasta, având grosimea astfel încât un număr de folii plasate la capătul pachetului să fie de grosime mult mai mare, restul având grosimea conform celei descrise în revendicarea 1, dacă se dorește doar punerea în evidență a protonilor având energia mai mare decât o valoare dată.
6. Pachete de folii de plastic realizate conform cu revendicările 1, 2, 3 sau 4 **caracterizate prin aceea** că se utilizează pentru determinarea spectrului de energie al protonilor atunci când se testează efectul fluxurilor de protoni asupra componentelor electronice.
7. Pachete de folii de plastic realizate conform cu revendicările 1, 2, 3 sau 4 **caracterizate prin aceea** că se pot utiliza atât pentru caracterizarea protonilor accelerați laser, cât și pentru aplicații medicale, de exemplu pentru protono- terapie, precum și a monitorizării unor medii supuse radiațiilor ionizante, cum sunt stațiile, navele și navetele spațiale, fără a se limita la acestea.
8. Pachete de folii de plastic realizate conform cu revendicările 1, 2, 3 sau 4 **caracterizate prin aceea** că se pot utiliza pentru monitorizarea protonilor din spațiul cosmic, în special pe timpul unor furtuni solare sau a trecerii unui vehicul spațial prin centurile de radiații ale unor planete din sistemul solar.

9. Pachete de folii de plastic realizate conform cu revendicările 1, 2, 3 sau 4 **caracterizate prin aceea** că calibrarea lor se face cu fluxuri de protoni cu distribuție în energie cunoscută, produse în acceleratoare de protoni, clasice sau moderne.

10. Metodă de determinare a numărului total de protoni incidenți pe suprafața anterioară a pachetului realizat conform cu revendicarea 1, **caracterizată prin aceea** că numărarea protonilor stopați în fiecare folie se face în conformitate cu revendicarea 3.

11. Metodă de determinare a spectrului în energie a protonilor **caracterizată prin aceea** că se bazează pe analiza numărului de protoni stopați în fiecare folie, căreia i se atribuie o energie a protonilor stopați după parcurgerea foliilor anterioare.

12. Metodă de creștere a rezoluției spectrului în energie a protonilor, determinat conform cu revendicarea 11, **caracterizată prin aceea** că este obținută prin analiza diametrelor craterelor de pe fiecare folie.

13. Metodă de calibrarea a metodei conform cu revendicarea 1, **caracterizată prin aceea** că se utilizează un dispozitiv mecanic, de preferință rotativ, care interpune rapid între sursa de protoni pentru calibrare și pachetul de folii, diverse filtre care reduc în mod cunoscut energia protonilor incidenți pe pachetul de folii de plastic.

DESENE EXPLICATIVE

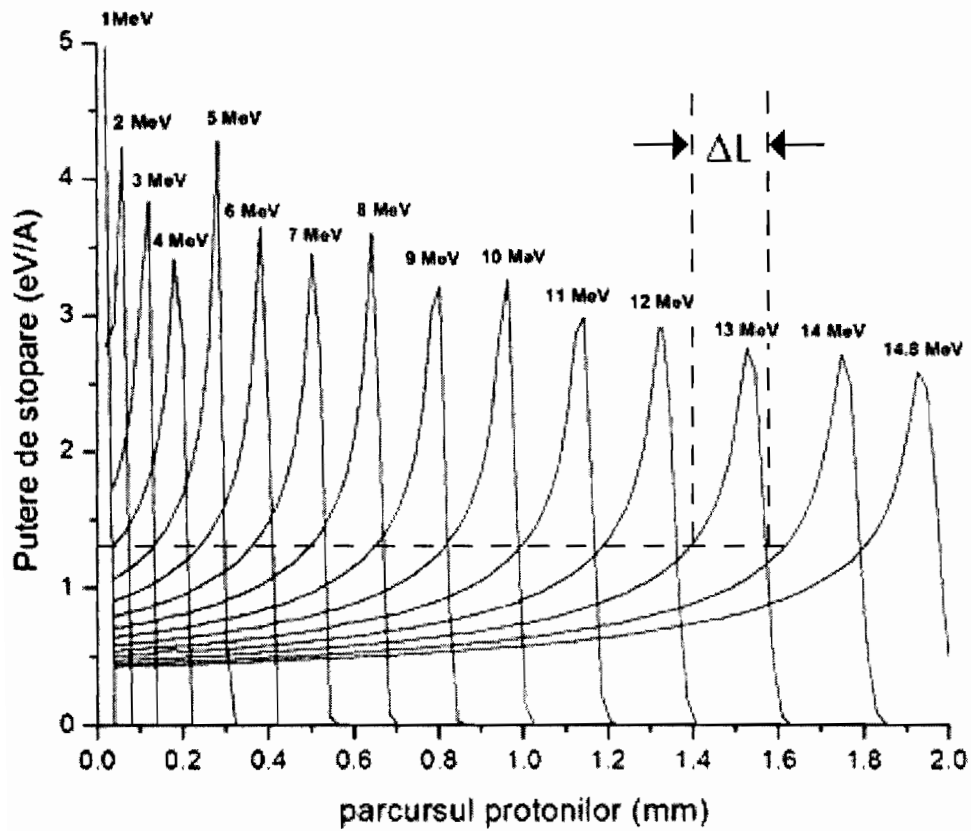


Figura 1

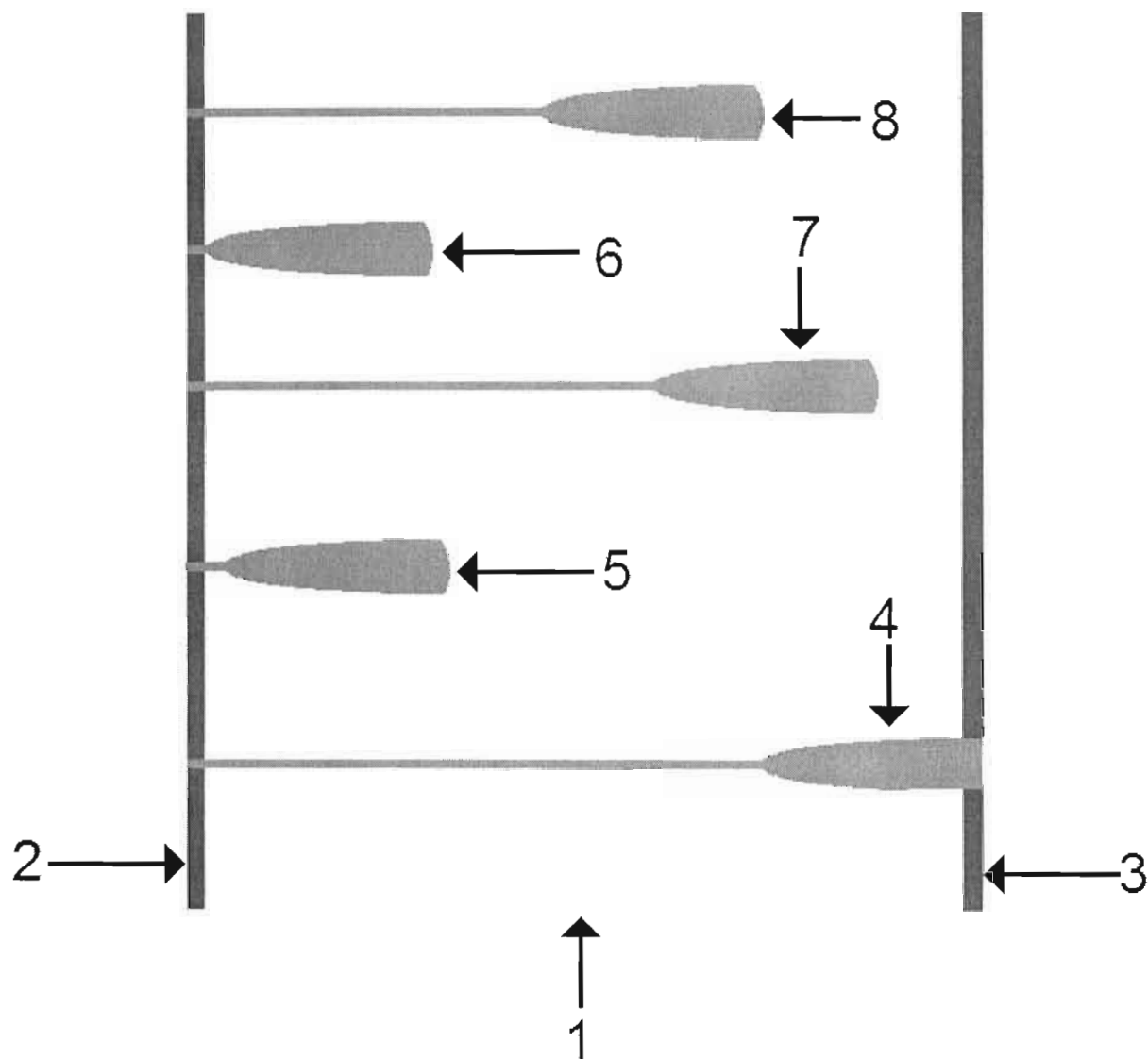


Figura 2

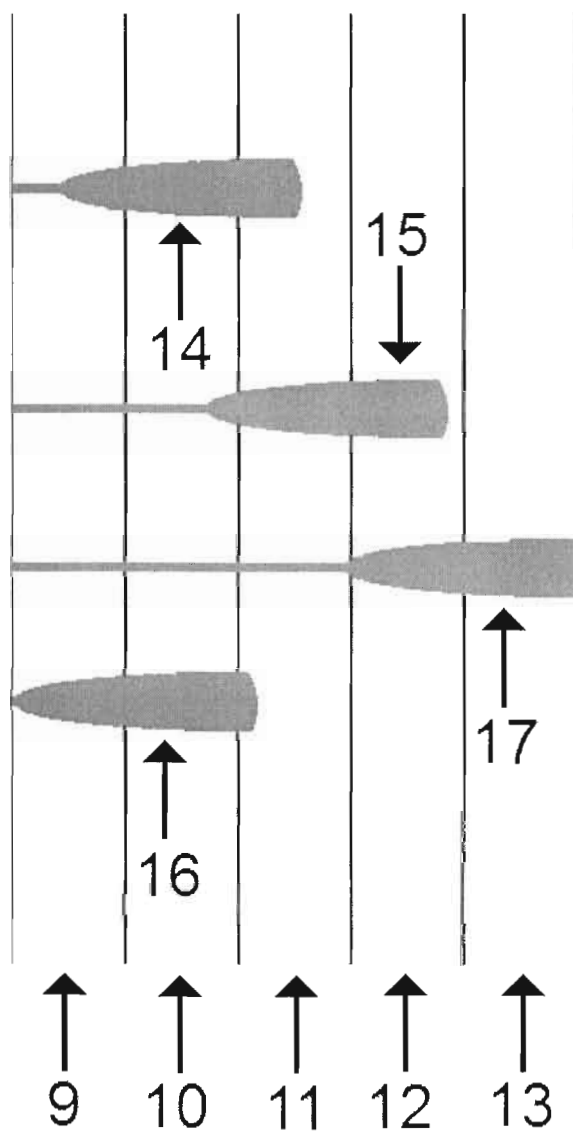


Figura 3